

Robust DOA Estimation in the Presence of Mutual Coupling effect with Application in Auxiliary Vehicle Positioning**Zahra Dehghani, *PhD. Student*, Naser Parhizgar, *Assistant Professor*, Hamid Azad, *Assistant Professor***Department of Electrical Engineering- Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
zdehghani87@yahoo.com, parhizgar@iaushiraz.ac.ir, azad@shirazu.ac.ir**Abstract**

As one of the most important branches of the Internet of Things (IoV), vehicle positioning has attracted a great deal of attention. Traditional positioning systems based on a global positioning system face long delays and may fail due to obstacles. In this paper, we propose an auxiliary positioning architecture whose core is the estimate the direction of arrival (DOA) of signals from Symptoms, such as wireless access points, using an in-vehicle sensor array. Due to space constraints, the array may be in an arbitrary geometry and suffer from the effects of mutual coupling, and the effect of mutual coupling between array elements may greatly reduce the independence of array elements. Mutual coupling in antenna arrays can critically degrade the performance of signal processing algorithms. In this paper, a new and accurate form of mutual impedance matrix (MIM) is used to compensate for the effect of mutual coupling in uniform linear arrays (ULA) by a new method based on solving the boundary value problem for all array elements. By using the MIM in the DOA estimation algorithms, these algorithms will be robust to the mutual coupling effect. The simulation results confirm the performance improvement of the proposed DOA estimation algorithm. The proposed architecture can obtain robust self-localization with existing vehicular ad hoc networks, and it can collaborate with other positioning systems to provide a safe driving environment.

Keywords: direction of arrival estimation, mutual coupling effect, mutual impedance matrix, vehicle of internet, vehicle positioning**Received:** 13 October 2021**Revised:** 18 November 2021**Accepted:** 22 December 2021**Corresponding Author:** Dr. Naser Parhizgar**Citation:** Z. Dehghani, N. Parhizgar, H. Azad, "Robust DOA estimation in the presence of mutual coupling effect with application in auxiliary vehicle positioning", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 14, no. 53, pp. 121-136, June 2023 (in Persian).

مقاوم‌سازی الگوریتم‌های تخمین زاویه ورود در حضور اثر تزویج متقابل با کاربرد در موقعیت‌یابی کمکی خودرو

زهرا دهقانی، دانشجوی دکتری، ناصر پرهیزگار، استادیار، حمید آزاد، استادیار

دانشکده مهندسی برق - واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
zdehghani87@yahoo.com, parhizgar@iaushiraz.ac.ir, azad@shirazu.ac.ir

چکیده: موقعیت‌یابی خودرو به‌عنوان یکی از شاخه‌های مهم اینترنت وسایل نقلیه، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. سیستم‌های موقعیت‌یابی سنتی بر پایه سیستم موقعیت‌یابی جهانی با تاخیرهای طولانی همراه هستند و ممکن است به دلیل موانع مختلف از کار بیفتند. در این مقاله، یک ساختار موقعیت‌یابی کمکی پیشنهاد می‌شود، که هسته اصلی آن تخمین زاویه ورود سیگنال‌ها (DOA) از نقاط مشخص، مانند نقاط دسترسی بی‌سیم، با استفاده از یک آرایه حسگر در خودرو است. به دلیل محدودیت فضا، آرایه ممکن است در یک هندسه دلخواه قرار گیرد و ممکن است اثر تزویج متقابل بین عناصر آرایه به شدت خاصیت استقلال عناصر آرایه را کاهش دهد و این اثر شامل برهم‌کنش هر یک از عناصر با اشیاء نزدیک خود می‌شود. در آنتن‌های آرایه‌ای تزویج متقابل بین عناصر آرایه یک اثر نامطلوب بوده که عملکرد الگوریتم‌های پردازش سیگنال را به شدت خراب می‌کند. در این مقاله یک شکل جدید و دقیق از ماتریس امیدانس متقابل (MIM) جهت جبران‌سازی اثر تزویج متقابل در آرایه‌های خطی (ULA) به‌وسیله یک روش جدید بر اساس حل مسئله مقادیر مرزی برای همه عناصر آرایه به کار می‌رود. با به کار گیری ماتریس امیدانس متقابل در الگوریتم‌های تخمین زاویه ورود باعث مقاوم‌سازی این الگوریتم‌ها نسبت به اثر تزویج متقابل خواهد شد. نتایج شبیه‌سازی، بهبود عملکرد الگوریتم تخمین DOA پیشنهادی را تأیید می‌کند. ساختار پیشنهادی می‌تواند موقعیت خودرو را بین شبکه‌های موقت موجود به‌صورت دقیق به‌دست آورد و می‌تواند با سایر سیستم‌های موقعیت‌یابی برای ایجاد یک محیط رانندگی ایمن همکاری کند.

کلمات کلیدی: آرایه یکنواخت خطی، اینترنت وسایط نقلیه، تزویج متقابل، ماتریس امیدانس متقابل، موقعیت‌یابی خودرو

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۰/۷/۲۱

تاریخ بازنگری مقاله: ۱۴۰۰/۸/۲۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۱

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر ناصر پرهیزگار

نشانی نویسنده‌ی مسئول: شیراز - ۵ کیلومتر شهر صدر - پردیس دانشگاه آزاد اسلامی شیراز - دانشکده مهندسی برق - گروه مخابرات

۱- مقدمه

تقاضا برای اینترنت و سایل نقلیه در دهه‌های اخیر به صورت چشم‌گیری افزایش یافته است. در عصر جدید اینترنت اشیاء^۱ (IoT)، وسایل نقلیه به‌طور فزاینده‌ای به شبکه IoT متصل می‌شوند و امکان دسترسی به اطلاعات رانندگان و مسافران در حال حرکت را می‌دهند. افزایش تعداد و سایل نقلیه متصل، باعث شده است شبکه‌های موقت و سایل نقلیه^۲ (VANET) تبدیل به شبکه‌های جدیدی به نام اینترنت وسایل نقلیه^۳ (IoV) شوند. در شبکه‌های IoV امکان تبادل اطلاعات از وسیله نقلیه به وسیله نقلیه^۴ (V2V)، از وسیله نقلیه به زیر ساخت‌های جاده‌ها و خیابان‌ها^۵ (V2I) و از زیر ساخت‌ها به وسیله نقلیه^۶ (I2V) به‌منظور افزایش سطح ایمنی جاده‌ها، کاهش تصادفات، کنترل ترافیک و ... فراهم می‌شود [۱-۳].

به‌طور کلی، اینترنت وسایل نقلیه به زیرساخت‌هایی اشاره می‌کند که وسایل نقلیه را به شبکه‌های بین خودرو [۴،۵]، شبکه‌های داخل خودرو و اینترنت موبایل خودرو متصل می‌کند. اینترنت و سایل نقلیه یک سیستم پیچیده است که فناوری خودرو را با تشخیص، شبکه‌ها، محاسبات ابری و کنترل ادغام می‌کند. هدف اینترنت وسایل نقلیه ارائه خدمات رانندگی ایمن و راحت است و ممکن است زندگی انسان را عمیقاً تغییر دهد. آگاهی از موقعیت مکانی وسیله نقلیه برای ظهور اینترنت وسایل نقلیه حیاتی است [۶] و کاربردهای گسترده‌ای از جمله در ناوبری، هشدار تصادف و نجات اضطراری پیدا کرده است [۷]. موقعیت وسیله نقلیه به‌خوبی از طریق سیستم‌های موقعیت‌یاب جهانی شده به دست می‌آید. با این حال، قابلیت اطمینان سیستم‌های موقعیت‌یابی جهانی^۷ (GPS) برای ایجاد یک محیط رانندگی ایمن بسیار ضعیف است (تأخیر طولانی و دقت ناکافی). علاوه بر این، سیستم‌های GPS ممکن است به دلیل محیط‌های ناقص مانند تونل‌ها و پوشش ابری کار نکنند. با وجود تکنولوژی نسبتاً جوان، مفهوم آن هنوز با چالش‌های بسیاری روبه‌رو است. هنگامی که هرگونه نگرانی امنیتی برطرف شود، اینترنت وسایل نقلیه به‌طور اساسی تجربه رانندگی را تغییر می‌دهد. پیاده‌سازی زیر ساختار شهر هوشمند و ارتباط آن با وسایل نقلیه ما از طریق اینترنت، آن را امن‌تر از همیشه خواهد ساخت. سنسورهای پیشرفته (به عنوان مثال، رادار، لیدار و دوربین) برای غلبه بر معایب فوق‌به‌طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در بین روش‌های مختلف موقعیت‌یابی، سیستم‌های موقعیت‌یابی مشارکتی به دلایل هزینه، تأخیر و قابلیت اطمینان رایج هستند [۸]. روش‌های موقعیت‌یابی مشارکتی از دستگاه‌های ارتباطی بی‌سیم مانند نقاط دسترسی بی‌سیم^۸ (WAP) و دستگاه‌های تلفن همراه برای تخمین موقعیت خودرو استفاده می‌کنند [۹]. موقعیت خودروها را می‌توان بر اساس چهار اصل قدرت سیگنال رادیویی^۹ (RSS)، زمان ورود^{۱۰} (TOA)، اختلاف زمان رسیدن^{۱۱} (TDOA) و جهت ورود^{۱۲} (DOA) به‌دست آورد. هماهنگ‌سازی کامل ساعت‌ها بین همه گره‌ها برای هر دو رویکرد ضروری است و دستیابی به این امر در عمل دشوار است. عملکرد آنها به اندازه‌گیری‌های تفاوت زمان بسیار حساس است و به دست آوردن موقعیت‌های دقیق خودرو را دشوار می‌کند. از این‌رو، رویکردهای DOA گزینه‌های خوبی هستند. عملکرد موقعیت‌یابی آنها فقط به دقت تخمین DOA بستگی دارد، که می‌تواند به راحتی از طریق آرایه رادیویی اندازه‌گیری شود. روش‌های DOA در مرجع‌های [۱۰] و [۱۱] پیشنهاد شد، که در آنها DOA سیگنال ورودی با استفاده از حداقل سه گره اندازه‌گیری می‌شود. وایمرش و همکاران [۱۲] و ابوشبان و همکاران [۱۳] رویکردهای موقعیت‌یابی که زاویه و تأخیر را ترکیب می‌کنند، که هزینه کمتری نسبت به روش‌های DOA دارند، مورد بحث قرار دادند، زیرا به گره‌های کمتری نیاز دارند. با این حال، مانند هم‌تایان TOA و TDOA، دقت موقعیت‌یابی روش‌های ترکیبی به تأخیر اندازه‌گیری حساس است. برای جلوگیری از اندازه‌گیری اطلاعات تأخیر، ما بر روی سیستم موقعیت‌یابی خودرو با آگاهی از DOA تمرکز می‌کنیم. تخمین DOA دارای سابقه غنی بیش از ۶۰ سال است. بسیاری از روش‌های تخمین عالی مانند روش تخمین پارامترهای سیگنال از طریق روش تغییر ناپذیری چرخشی^{۱۳} (ESPRIT)، طبقه‌بندی سیگنال چندگانه^{۱۴} (MUSIC) و تخمین گره‌های تانسور پیشنهاد شده‌اند [۱۴-۱۶].

تخمین زاویه ورود سیگنال وارد شده به آرایه عمل مهمی است که در آن مستقل بودن عناصر آرایه از یکدیگر در عملکرد الگوریتم پردازش سیگنال مربوطه نقش تعیین‌کننده‌ای دارد [۱۷،۱۸]. اثر تزویج متقابل بین عناصر آرایه به شدت خاصیت استقلال عناصر را کاهش می‌دهد و این اثر شامل برهم‌کنش هریک از عناصر با اشیاء نزدیک خود می‌شود. سیستم عملکرد تزویج متقابل در حالت گیرندگی در مقایسه با حالت فرستندگی، حتی برای آرایه یکسان، متفاوت است [۱۹]. به همین دلیل نیاز است تا تعریف و کاربردهای ماتریس تزویج متقابل و روش‌های جبران‌سازی آن، متفاوت با آنچه که در حالت آرایه‌های

مرسوم فرستنده وجود دارد، بیان شود. اخیراً روش‌های جدیدی برای جبران‌سازی اثر تزویج متقابل جهت تخمین DOA و کاربردهای مربوطه مورد توجه محققین قرار گرفته است. چندین روش جبران‌سازی اثر تزویج متقابل اغلب پیشنهاد شده و مورد بررسی قرار گرفته است. مهمترین این روش‌ها عبارتند از روش ولتاژ مدار باز [۲۰]، روش S-پارامتر [۲۱]، روش مممنت [۲۲]، تمام موج [۲۳]، روش کالیبراسیون [۲۴]، و در نهایت روش روش تزویج متقابل دریافت کنندگی [۲۵]. روش مممنت^{۱۵} (MOM) [۲۲]، برای حل مساله مقدار مرزی برای آنتن آرایه‌ای به کار برده می‌شود. در این روش با محاسبه جریان سطحی عناصر آرایه در حضور اثر تزویج متقابل، ماتریس تزویج متقابل مقدار دهی می‌شود. ولی در این روش به دانستن دقیق زاویه ورود نیازمندیم که در واقع نامشخص است. در حالت کلی جریان توزیع شده روی سطح آنتن و نیز تزویج متقابل، با تغییر زاویه ورود سیگنال، تغییر می‌کند. بنابراین ماتریس امپدانس متقابل به زاویه ورود سیگنال وابسته است. در روش ولتاژ مدار باز فرض می‌شود که آنتن مدار باز تشعشعی ندارد. واضح است که این فرض در ست نیست. یک تعریف متداول از تزویج متقابل که بر مشکلات روش مدار باز غلبه کرده و عملکرد خوبی از جبران‌سازی را نشان می‌دهد در مرجع [۲۵] ارائه شده است. عیب اصلی این روش این است که در آن تنها دو آنتن مورد بررسی قرار می‌گیرد. این روش جبران‌سازی تزویج متقابل دقیقاً درست نیست زیرا اثر تزویج خودی در آن در نظر گرفته نمی‌شود. این مورد در بخش‌های بعد به دقت توضیح داده می‌شود. در واقع بعضی از درایه‌های ماتریس تزویج متقابل وابسته به تزویج خودی هستند. با استفاده از روش جدید ارائه شده، که از روش مممنت استفاده می‌کند، شکل دقیقی از ماتریس امپدانس متقابل^{۱۶} (MIM) جهت جبران‌سازی اثر تزویج متقابل در یک ULA با N عنصر به کار می‌رود. در این مقاله نشان داده می‌شود که با استفاده از این روش جدید اثر تزویج متقابل به طور کامل کاهش جبران شده و الگوریتم تخمین DOA با دقت و درستی بالایی عمل می‌کند.

در این مقاله، یک چارچوب موقعیت‌یابی و سیله نقلیه مبتنی بر تخمین DOA مقاوم سازی شده پیشنهاد شده که به راحتی از طریق شبکه‌های موقت موجود وسایل نقلیه (VANET) اجرا می‌شود. علاوه بر این، ما سناریوی واقع بینانه‌تری را در نظر می‌گیریم که در آن آرایه حسگر در یک هندسه دلخواه توزیع می‌شود، اما از تزویج متقابل ناشناخته رنج می‌برد. یک الگوریتم تخمین سریع DOA مقاوم‌سازی شده با استفاده از ماتریس امپدانس متقابل آرایه شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در این مقاله نوآوری‌های زیر در الگوریتم پیشنهادی مورد توجه قرار گرفته است.

- یک ساختار موقعیت‌یابی و سیله نقلیه با تکیه بر VANETها و تخمین DOA مقاوم سازی شده ارائه شده است. در چارچوب پیشنهادی، APهای بی‌سیم با تأخیر کم، به عنوان مثال، ایستگاه‌های پایه نسل پنجم، به عنوان نقاط دسترسی دسترس‌یابی تفسیر می‌شوند. وسایل نقلیه مجهز به یک آرایه آنتن (برای ارتباطات بی‌سیم) هستند و DOA از نقاط دسترسی مختلف برای محاسبه موقعیت خودرو اندازه‌گیری می‌شود. علاوه بر این، نتایج اندازه‌گیری شده را می‌توان در یک بستر ابری بارگذاری کرد تا با سایر سیستم‌های موقعیت‌یابی همکاری کند تا یک محیط راندگی ایمن فراهم شود. از آنجا که APهای بی‌سیم و آرایه‌های آنتن زیرساخت‌های اساسی VANETها هستند، ساختار پیشنهادی به راحتی اجرا می‌شود. برخلاف رویکرد DOA در مرجع [۱۱]، ساختار پیشنهادی می‌تواند بدون سخت‌افزار اضافی به موقعیت‌یابی دست یابد.

- ما سناریوی کاربردی‌تری برای تخمین DOA در نظر می‌گیریم. آرایه حسگر در یک هندسه دلخواه در خودرو قرار می‌گیرد و سنسورها از تزویج متقابل رنج می‌برند. مدل داده برای تخمین DOA در سناریوی پیشنهادی به شکلی ارائه شده است، که در آن تزویج متقابل بین حسگرها به صورت یک ماتریس تزویج متقابل فرموله می‌شود.

- محاسبه یک شکل جدید و دقیق از ماتریس امپدانس متقابل جهت جبران‌سازی اثر تزویج متقابل در آرایه‌های خطی به وسیله یک روش جدید بر اساس حل مسئله مقادیر مرزی برای همه عناصر آرایه به کار می‌رود. در این روش هم اثر تزویج خودی و هم اثر تزویج متقابل در نظر گرفته شده و بررسی می‌شود. نشان داده می‌شود که روش ارائه شده در مقاله هم از لحاظ دقت و هم از لحاظ صحت در زمینه تخمین زاویه ورود در مقایسه با روش‌های ارائه شده در مقالات اخیر عملکرد بهتری دارد.

ادامه این مقاله به شرح زیر است. در بخش ۲، سیستم موقعیت‌یابی کمکی و تدوین مساله همچنین مدل ریاضی جبران‌سازی اثر تزویج متقابل در آرایه‌های خطی یکنواخت مبتنی بر محاسبه ماتریس امپدانس متقابل با کاربرد در الگوریتم‌های پردازش

آرایه‌ای همچون الگوریتم تخمین فرموله شده است. الگوریتم پیشنهادی در بخش ۳ توضیح داده شده است. نتایج شبیه‌سازی در بخش ۴ ارائه شده است. نتیجه‌گیری در بخش ۵ مورد بحث قرار گرفته است.

۲- سیستم موقعیت‌یابی کمکی و تدوین مساله

ساختار سیستم موقعیت‌یابی کمکی پیشنهادی، که در شکل (۱) نشان داده شده عمدتاً از سه ماژول تشکیل شده است: پایانه خودرو، بی‌سیم AP و دستر ابری. دستر ابری خدمات محاسباتی را ارائه می‌دهد. بی‌سیم AP در کنار جاده ثابت شده است. این دستگاه با استفاده از فیبر نوری با پلت فرم ابری متصل می‌شود و می‌تواند اطلاعات مکان را با فرکانس ثابت مانند ۲/۴ یا ۵ گیگاهرتز پخش کند. ترمینال خودرو مجهز به آرایه آنتن است و می‌تواند سیگنال‌ها را از بی‌سیم AP دریافت کند. DOAها در محل محاسبه می‌شوند و نتایج روی پلتفرم ابری بارگذاری می‌شوند تا تخمین DOA با دقت بالا، که برای کمک به مکان‌یابی خودرو استفاده می‌شود، محقق شود. علاوه بر این، فرض می‌کنیم که همه گره‌های یک ناحیه محلی به خوبی با یک ساعت هماهنگ شده‌اند. همگام‌سازی گره‌ها یک مسئله کلیدی در IOV است. در واقع، همگام‌سازی گره‌ها، حتی در یک منطقه محلی دشوار است. همگام‌سازی ناقص منجر به اندازه‌گیری زمان نادرست می‌شود. با این حال، تأثیر کمی بر رویکردهای DOA دارد. نحوه همگام‌سازی شبکه موضوعی است که مورد توجه است؛ اما از حوصله این مقاله خارج است.

برای ساده‌سازی تجزیه و تحلیل، ما یک وسیله نقلیه مجهز به آرایه آنتن (سنسور) عنصر M را در نظر می‌گیریم، سنسورها در فضای سه بعدی [۱۷] توزیع شده‌اند و مختصات سنسور m ام به‌ازای $m = 1, 2, \dots, M$ بر $P_m = [x_m, y_m, z_m]^T$ تنظیم شده است. فرض بر این است که سیگنال‌های منبع باند باریک ناهمدوس K در زمینه دور ظاهر می‌شوند. جفت DOA یا DOA منبع k امین برای $(k = 1, 2, \dots, K)$ نشان داده می‌شود، جایی که θ_k و ϕ_k به ترتیب زاویه ارتفاع k^{th} و زاویه افقی k^{th} سیگنال آرایه دریافتی می‌تواند به صورت زیر بیان شود [۱۷]:

$$X(t) = \sum_{k=1}^K a(\theta_k) S_k(t) + n(t) = A s(t) + n(t) \quad (1)$$

که در آن تابع $s_k(t)$ سیگنال پهنای باند k^{th} و $n(t)$ نویز آرایه است. بردار پاسخ مربوط به هدف k^{th} عبارت است از:

$$a(\theta_k) \in C^{M \times 1} = [\exp\{-j2\pi\tau_{1,k} / \lambda\}, \exp\{-j2\pi\tau_{2,k} / \lambda\}, \dots, \exp\{-j2\pi\tau_{M,k} / \lambda\}]^T$$

λ طول موج حامل است. رابطه زیر ماتریس جهت است:

$$A \in [a(\theta_1), a(\theta_2), \dots, a(\theta_K)] \in C^{M \times K} \quad (2)$$

ماتریس سیگنال منبع عبارت است از:

$$s(t) = [s_1(t), s_2(t), \dots, s_K(t)]^T$$



شکل (۱): تصویری از سیستم محلی سازی خودروی غیرفعال [۲۶]

Figure (1): Image of inactive vehicle localization system [26]

τ_{mk} به شکل زیر در می‌آید:

$$\tau_{m,k} = P_m^T r_k \quad (3)$$

که در آن Γ_k برابر است با:

$$r_k = [\cos(\phi_k) \sin(\theta_k), \sin(\phi_k) \sin(\theta_k), \cos(\theta_k)]^T$$

در صورت تزویج متقابل، مدل سیگنال (۱) معتبر نخواهد بود. اثر تزویج متقابل بین یک آرایه حسگر عنصر M را می‌توان با ماتریس امپدانس $M \times M$ توصیف کرد، که بصورت زیر است:

$$Z_m = \begin{bmatrix} Z_1 & Z_2 & Z_3 & \cdots & Z_M \\ Z_2 & Z_1 & Z_{M-3} & \cdots & Z_{M-1} \\ Z_3 & Z_{M-3} & Z_1 & \cdots & Z_{M-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_M & Z_{M-1} & Z_{M-2} & \cdots & Z_1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

جایی که Z_m در (p, q) مربوط به Z_m ضریب تزویج متقابل بین سنسور p^{th} و سنسورهای q^{th} است. به‌طور کلی، اندازه Z_m با فاصله بین سنسورها نسبت عکس دارد. در نتیجه، Z_m یک ماتریس متقارن است و برای هر $m > 1$ ، $|z_{11}| < |z_{1m}|$ است. بدیهی است که حداکثر $1 + [(M(M-1))/2]$ عنصر متمایز در Z_m وجود دارد. در واقع، اگر فاصله از آستانه معینی بیشتر باشد، ضریب تزویج متقابل به صفر نزدیک می‌شود. با توجه به قابلیت تشخیص (بخش چهارم)، فرض می‌شود که حداکثر $Q = M - K$ عنصر متمایز در Z وجود دارد. بر این اساس، مدل سیگنال در (۱) با تزویج متقابل به‌صورت زیر اصلاح می‌شود:

$$x(t) = Z_m m A s(t) + n(t) \quad (5)$$

اگر نویز $n(t)$ گوسین باشد و با سیگنال منبع $s(t)$ ارتباطی نداشته باشد، ماتریس کواریانس $x(t)$ به‌صورت زیر است:

$$R = Z_m A R_s A^H Z_m^H + \sigma^2 I_M \quad (6)$$

ماتریس کواریانس سیگنال‌های منبع (R_s) عبارت است از:

$$R_s = \text{diag}\{\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_K\}$$

که در آن δ_k قدرت منبع k^{th} است و σ واریانس نویز است. هنگامی که اسنپ‌شات‌های L در دسترس هستند، به‌عنوان مثال، $t = 1, 2, \dots, L$ آنگاه R می‌تواند به‌صورت زیر تخمین زده شود:

$$\hat{R} = \frac{1}{L} \sum_{t=1}^L x(t) x^H(t) \quad (7)$$

هدف نهایی تخمین DOA با استفاده از الگوریتم MUSIC مقاوم‌سازی شده با محاسبه ماتریس امپدانس متقابل از \hat{R} است.

۳- الگوریتم موقعیتی پیشنهاد شده

۳-۱- معرفی یک ماتریس امپدانس اصلاح شده و ارائه روشی به‌منظور محاسبه آن

روش‌های قبل که در آن ولتاژ تزویج (W_k) هر پایانه که از تزویج متقابل ناشی می‌شود بر حسب جریان پایانه‌های بقیه عنصرها یعنی I_i ($i=1, 2, \dots, k-1, k+1, \dots, N$)، نوشته شده و بر حسب خود I_k نیست. البته این مطلب خیلی دقیق نیست، چرا که بخشی از جریان پایانه I_k از میدان‌های منتشر شده از المان‌های دیگر آنتن ناشی می‌شود. در نتیجه، W_k باید شامل جمله‌ای باشد (I_k) که به جریان k امین عنصر مربوط شود. به‌منظور برطرف کردن این مشکل، معادله تزویج متقابل برای یک آرایه N عنصری به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$W_i = V_i - U_i = \sum_{k=1}^N I_k Z_{m(k,i)} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

که در آن، $Z_{m(k,k)}$ و $Z_{m(k,i)}$ به ترتیب بیانگر امپدانس‌های متقابل و خودی هستند. جمله امپدانس خودی $Z_{m(k,k)}$ اضافه شده است تا جریان القایی عنصر k ام که از میدان‌های ناشی از دیگر عناصر ناشی شده است را شامل شود. بنابراین ماتریس امپدانس متقابل نوشته شده در بالا شامل تعدادی جمله است که به امپدانس خودی مربوط می‌شوند. در آرایه‌های متناهی، امپدانس‌های خودی

$Z_m(k,k)$ به ازای $k=1,2,\dots,N$ لزوماً برابر نیستند و این به این خاطر است که فاصله نسبی عنصر k ام از عناصر دیگر مقدار امپدانس خودی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با نوشتن رابطه (۸) به فرم ماتریسی خواهیم داشت:

$$[W] = [V] - [U] = ([Z_n]^{-1} - I_{N \times N}) \quad (9)$$

که $[Z_n]$ یک ماتریس امپدانس نرمالیزه شده به ابعاد $N \times N$ است و $I_{N \times N}$ یک ماتریس واحد N بعدی است. اگر امپدانس‌های پایانه بار $Z_{L(i)}$ برای $i=1,2,\dots,N$ متفاوت باشند ماتریس $[Z_n]$ به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$[Z_n] = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{Z_t^{1,2}}{Z_L^1} & \dots & -\frac{Z_t^{1,N}}{Z_L^1} \\ -\frac{Z_t^{2,1}}{Z_L^2} & 1 & \dots & -\frac{Z_t^{2,N}}{Z_L^2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\frac{Z_t^{N,1}}{Z_L^N} & -\frac{Z_t^{N,2}}{Z_L^N} & \dots & 1 \end{bmatrix}_{N \times N} \quad (10)$$

با استفاده از رابطه (۹) خواهیم داشت.

$$[W] = ([Z_n]^{-1} - I_{N \times N}) [Z_n] [V] \quad (11)$$

بنابراین با محاسبه ولتاژهای پایانه $[V]$ می‌توان ولتاژهای تزویج شده $[W]$ را بدست آورد. همچنین با اعمال رابطه به صورت زیر:

$$[V] = [Z_L] I_{N \times N} [I] \quad (12)$$

می‌توان بردار ولتاژهای تزویج شده را برحسب جریان پایانه‌های $[I]$ به صورت زیر نوشت:

$$[W] = ([Z_n]^{-1} - I_{N \times N}) [Z_n] [Z_L] I_{N \times N} [I], \quad (13)$$

که در آن $[Z_L]$ بردار امپدانس‌های بار پایانه‌ها می‌باشد و $[Z_L]^T$ برابر است با:

$$[Z_L]^T = [Z_L^1, Z_L^2, \dots, Z_L^N] \quad (14)$$

با استفاده از رابطه (۱۳) می‌توان ماتریس امپدانس متقابل $[Z_m]$ را به صورت زیر محاسبه نمود:

$$[Z_m] = ([Z_n]^{-1} - I_{N \times N}) [Z_n] [Z_L] I_{N \times N} \quad (15)$$

ماتریس امپدانس متقابل، جریان پایانه‌ها، $[I]$ را به بردار ولتاژهای تزویج شده $[W]$ ربط می‌دهد. وقتی همه عناصر آنتن به یک بار یکسان $Z_L^i = Z_L$ به ازای $i=1,2,\dots,N$ وصل شده باشند، ماتریس امپدانس به همان شکلی که در روش ولتاژهای مدار باز در رابطه (۱) بود در می‌آید؛ ولو اینکه U_i با $V_{o,i}$ به ازای $i=1,2,\dots,N$ جایگزین شده باشد. به هر حال استفاده از اصطلاح «مدار باز» به جای «عاری از تزویج» مناسب نیست و ممکن است ما را به اشتباه بیاندازد. همان‌طور که پیش از این نیز توضیح داده شد، این ماتریس شامل عناصر هر دو امپدانس متقابل و خودی بوده و بدیل اصل تقابل، متقارن می‌باشد؛ اما عناصر روی قطر اصلی (عناصر امپدانس خودی) لزوماً برابر نمی‌باشند.

در حالت کلی، تعداد جملات مربوط به امپدانس متقابل $N(N-1)/2$ است و تعداد جملات قطری نامعلوم (امپدانس خودی) به عناصر آرایه و محیط اطراف (کانال) بستگی دارد. بویژه، یک ساختار متقارن می‌تواند موجب شود که برخی جملات قطری برابر باشند. به عنوان مثال، اگر همه عناصر آنتن یکسان باشند و کانال نیز فضای باز باشد، تعداد جملات قطری مجهول به ترتیب به ازای N ‌های زوج یا فرد برابر با $N/2$ یا $N/2+1$ خواهد بود. به ازای N ‌های زوج، تعداد درایه‌های نامعلوم ماتریس امپدانس متقابل برابر با $N^2/2$ است که با حل کردن معادله بدست می‌آیند. این دستگاه معادلات با انجام $N/2$ شبیه‌سازی عددی از موج تخت وارده به آرایه آنتن و با استفاده از جریانها و ولتاژهای پایانه‌های عناصر آنتن تعداد نوشته می‌شوند. در هر آزمایش فرض شده است که یک موج تخت از یک زاویه سمت دلخواه φ_n به آرایه وارد شده و زاویه ارتفاع در همه آزمایشات، ثابت و برابر با $\theta=90^\circ$ در نظر گرفته شده است. به ازای تعداد $N/2$ از زوایای سمت φ_n ، به ازای $n=1,2,\dots,N/2$ ، یک دستگاه شامل $N^2/2$ معادله بدست می‌آید.

همان‌طور که در این مقاله شرح داده شده است، در ماتریس امیدانس متقابل، N^2 دارایه نامعلوم وجود دارد که با حل N^2 معادله مربوط به N موج تخت وارده به‌دست می‌آیند. فرض می‌کنیم ولتاژها و جریان‌های پایانه‌های آنتن به ازای N زاویه ورود φ_n ، به‌ازای $n=1,2,\dots,N$ محاسبه شده باشد. در این صورت رابطه (۸) برای این دستگاه معادلات به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$\begin{bmatrix} V_1^{\phi_1} - U_1^{\phi_1} \\ V_1^{\phi_2} - U_1^{\phi_2} \\ \vdots \\ V_1^{\phi_{N-1}} - U_1^{\phi_{N-1}} \\ V_1^{\phi_N} - U_1^{\phi_N} \\ \vdots \\ V_N^{\phi_1} - U_N^{\phi_1} \\ V_N^{\phi_2} - U_N^{\phi_2} \\ \vdots \\ V_N^{\phi_{N-1}} - U_N^{\phi_{N-1}} \\ V_N^{\phi_N} - U_N^{\phi_N} \end{bmatrix}_{N^2 \times 1} = \mathbf{I}_{N \times N} \otimes \begin{bmatrix} I_1^{\phi_1} & I_2^{\phi_1} & \dots & I_{N-1}^{\phi_1} & I_N^{\phi_1} \\ I_1^{\phi_2} & I_2^{\phi_2} & \dots & I_{N-1}^{\phi_2} & I_N^{\phi_2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ I_1^{\phi_{N-1}} & I_2^{\phi_{N-1}} & \dots & I_{N-1}^{\phi_{N-1}} & I_N^{\phi_{N-1}} \\ I_1^{\phi_N} & I_2^{\phi_N} & \dots & I_{N-1}^{\phi_N} & I_N^{\phi_N} \end{bmatrix}_{N^2 \times N^2} \times \begin{bmatrix} Z_m^{1,1} \\ Z_m^{1,2} \\ \vdots \\ Z_m^{1,N-1} \\ Z_m^{1,N} \\ \vdots \\ Z_m^{N,1} \\ Z_m^{N,2} \\ \vdots \\ Z_m^{N,N-1} \\ Z_m^{N,N} \end{bmatrix}_{N^2 \times 1} \quad (16)$$

که در آن اپراتور \otimes بیانگر ضرب تنسور کرونگر^{۱۷} است و کمیت‌های $V_j^{\phi_n}$ ، $U_j^{\phi_n}$ و $I_j^{\phi_n}$ به‌ازای $n=1,2,\dots,N$ و $j=1,2,\dots,N$ معرف ولتاژها و جریان‌های پایانه‌های عناصر آنتن هستند که با استفاده از الگوریتم الکترومغناطیسی MOM در سناریوی N موج تخت وارده، محاسبه می‌شوند. با حل رابطه (۱۶) نیز N^2 جمله که به امیدانس نامعلوم خودی و متقابل $Z_m^{k,i}$ به‌ازای $k=1,2,\dots,N$ و $i=1,2,\dots,N$ مربوط می‌شوند به‌دست خواهند آمد. انتظار می‌رود که ماتریس به‌دست آمده از این روش بنا بر اصل تقابل، متقارن بوده و همچنین در هر حالت متقارن دیگری که پیش از این توضیح داده‌ایم نیز برای درایه‌های قطری ماتریس امیدانس متقابل صدق کند. در بخش شبیه‌سازی نشان داده شده است که تمام حالت‌های متقارن دارای دقت بالایی خواهند بود و خطاهای اندک ناشی از اشتباهات عددی صورت گرفته در شبیه‌سازی‌های الکترومغناطیسی محاسباتی، ملاحظه شده‌اند. می‌توان با بالاتر بردن دقت شبیه‌سازی‌های الکترومغناطیسی، این خطاها را به گونه‌ای مؤثر از بین برد.

در تحقیق‌های پیشین [۲۷، ۲۸]، پس از نرمالیزه کردن ماتریس امیدانس متقابل نسبت به بار Z_L ، تمامی درایه‌های قطری برابر با یک شده‌اند. در این مقاله درایه‌های قطری ماتریس امیدانس متقابل، $[Z_m]$ با هم برابر نمی‌باشند و همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد، این به‌دلیل جملات مربوط به تزویج متقابل افزوده‌ای است که اثرش در درایه‌های قطری نمایان می‌شود. بخش شبیه‌سازی مؤید این مطلب است که فرمول ارائه شده در این فصل به اثر تزویج متقابل به صورت قابل قبولی حذف شده است و عملکرد الگوریتم MUSIC را در تخمین DOA به‌طور قابل ملاحظه‌ای بهبود می‌دهد. هنگامی که فاصله بین عناصر آرایه خیلی کم باشد تزویج متقابل بین آن‌ها بیشتر شده و وجود جمله مربوط به امیدانس خودی $Z_{m,(i,i)}$ در ماتریس امیدانس متقابل لزوم بیشتری پیدا می‌کند.

با توجه به توضیحات ارائه شده، بار محاسباتی الگوریتم پیشنهادی برای محاسبه ماتریس امیدانس متقابل، که N^2 دارایه نامعلوم دارد که با حل N^2 معادله مربوط به N موج تخت وارده به‌دست می‌آیند، نسبت به تحقیق‌های پیشین [۲۷، ۲۸] که برای محاسبه ماتریس امیدانس، در شرایط N ‌های زوج، که تعداد درایه‌های نامعلوم ماتریس امیدانس متقابل برابر با $N^2/2$ است و با حل کردن $N^2/2$ معادله به‌دست می‌آیند، بیشتر خواهد بود.

۲-۳- موقعیت‌یابی خودرو با استفاده از DOA

هنگامی که DOA یک نقطه عطف به‌دست آمد، موقعیت خودرو به راحتی بازیابی می‌شود. اصل موقعیت در شکل (۲) نشان داده شده است، جایی که سنسور مرجع با موقعیت (X_0, Y_0, Z_0) در خودرو به عنوان مبدا مختصات تنظیم شده است. از آنجا که موقعیت نقطه عطف k^{th} بصورت $(P_{x,k}, P_{y,k}, P_{z,k})$ شناخته شده است، معادلات زیر ایجاد می‌شود:

$$\tan \theta_k = \frac{P_{y,k} - Y_o}{P_{z,k} - Z_o} \quad (17)$$

$$\tan \phi_k = \frac{P_{y,k} - Y_o}{P_{x,k} - X_o} \quad (18)$$

از آنجایی که سه پارامتر ناشناخته X_o ، Y_o و Z_o وجود دارد، اما تنها دو معادله وجود دارد، در صورت وجود تنها یک نقطه عطف، موقعیت خودرو قابل درک نیست. هنگامی که دو نقطه عطف با موقعیت‌های $(P_{x,1}, P_{y,1}, P_{z,1})$ و $(P_{x,2}, P_{y,2}, P_{z,2})$ در دسترس هستند، مختصات (X_o, Y_o, Z_o) را می‌توان بصورت زیر تعیین کرد:

$$X_o = \frac{P_{y,1} - P_{y,2} + \tan \phi_2 P_{x,2} - \tan \phi_1 P_{x,1}}{\tan \phi_2 - \tan \phi_1} \quad (19)$$

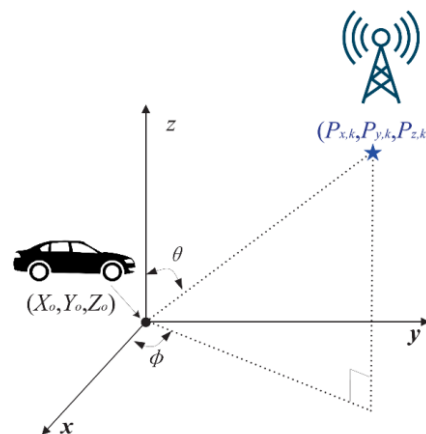
$$Y_o = \frac{\tan \theta_1 \tan \theta_2 (P_{z,1} - P_{z,2}) + \tan \theta_1 P_{y,2} - \tan \theta_2 P_{y,1}}{\tan \theta_1 - \tan \theta_2} \quad (20)$$

$$Z_o = \frac{P_{y,1} - P_{y,2} + \tan \theta_2 P_{y,2} - \tan \theta_1 P_{y,1}}{\tan \theta_2 - \tan \theta_1} \quad (21)$$

اگر بیش از دو مکان دست‌رسی (نقطه عطف) در دسترس باشد، می‌توان با تخمین میانگین نتایج مختلف، دقت تخمین مختصات را بهبود بخشید. لازم به ذکر است که مختصات سه بعدی خودرو به تخمین 2D-DOA متکی است. اگر فقط بتوانیم 1D-DOA را به دست آوریم (به عنوان مثال، منی‌فولد آرایه سنسور خطی است)، تنها می‌توان مختصات دو بعدی خودرو را تعیین کرد، همان‌طور که در [۲۹] مورد بحث قرار گرفته است. برای درک بهتر الگوریتم موقعیت‌یابی پیشنهادی، مراحل الگوریتم در شکل (۳) آمده است.

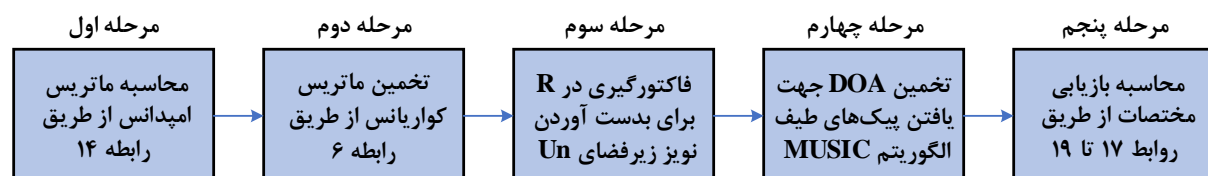
۴- نتایج شبیه‌سازی

هدف از این بخش، بررسی عملکرد روش پیشنهادی در حضور اثر تزویج متقابل بین عناصر آرایه و مقاوم‌سازی الگوریتم‌های تخمین زاویه ورود با دقت بالا در برابر این اثر مخرب با استفاده از داده‌های به دست آمده از برنامه شبیه‌ساز نرم‌افزار الکترومغناطیس است.



شکل (۲): نمودار موقعیت‌یابی خودرو با استفاده از 2D-DOA

Figure (2): Vehicle positioning diagram using 2D-DOA



شکل (۳): مراحل الگوریتمیک، الگوریتم موقعیت‌یابی پیشنهادی

Figure (3): Algorithmic steps, proposed position algorithm.

در این راستا نرم‌افزار الکترومغناطیس جریان و ولتاژ ترمینال آنتن‌های آرایه را در حضور اثر تزویج متقابل تمام عناصر آرایه به دست می‌آورد. برای رسیدن به این منظور الگوریتم‌های ذکر شده در این مقاله را در محیط متلب با استفاده از داده‌های به دست آمده از نرم‌افزار الکترومغناطیس، در شرایط عملی و در حضور اثر تزویج متقابل، تحت حالت‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌دهیم. در این بخش سناریوی مختلف برای ارزیابی قابلیت جبران‌سازی اثر تزویج متقابل طرح شده در این مقاله شبیه‌سازی خواهد شد. یک آرایه متشکل از چهار عنصر دو قطبی را که فاصله‌های بین المان‌هایش برابر با 0.5λ مطابق با شکل (۴) است، در نظر بگیرید. در آزمایش اول الی پنجم دو سیگنال را که از نقاط دست‌رسی بی‌سیم و در موقعیت‌های معین هستند را در نظر می‌گیریم که از زاویه‌های سمت زیر و زاویه ارتفاع برابر ۹۰ درجه به آرایه آنتن واقع در خودرو برای مکان یابی وارد می‌شوند:

$$\phi_2 = 30^\circ, \phi_3 = 657^\circ$$

$$\phi_2 = 123^\circ, \phi_3 = 150^\circ$$

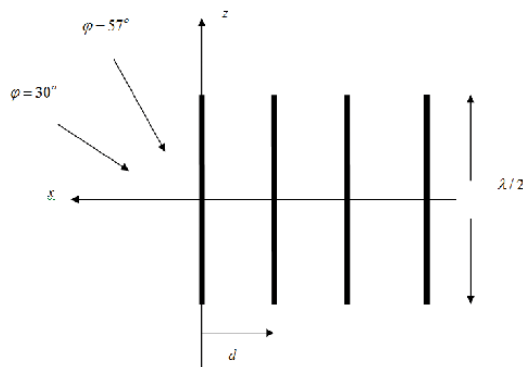
$$\phi_2 = 95^\circ, \phi_3 = 47^\circ$$

$$\phi_2 = 95^\circ, \phi_3 = 85^\circ$$

$$\phi_2 = 30^\circ, \phi_3 = 85^\circ$$

فاصله‌های بین المان‌های آرایه 0.5λ بوده و ترمینال المان‌ها به بار امیدانسی 50Ω وصل شده است. سیگنال‌های وارده آورده به نویز سفید گوسی جمع شونده (AWGN) با نسبت سیگنال به نویز (SNR) برابر با ۳۰ دسیبل است. به منظور تخمین ماتریس کواریانس در همه آزمایش‌ها از ۱۰۰۰ نمونه استفاده شده است. با استفاده از نرم‌افزار متلب، الگوریتم تمام موج الکترومغناطیسی MOM، پیاده‌سازی شده است. (در ادامه به الگوریتم تمام موج الکترومغناطیسی MOM که در محیط نرم‌افزار متلب پیاده‌سازی شده است را "نرم‌افزار الکترومغناطیس" نامیده می‌شود). به این ترتیب در محاسبه ماتریس MIM تمام اثرات تزویج متقابل، در نظر گرفته شده است. بعد از محاسبه MIM، الگوریتم MUSIC برای تخمین DOA موج‌های ورودی اعمال شده است. پارامترهای سیگنال در جدول (۱) داده شده است. در اینجا، همه ۱۶ درایه ماتریس MIM با اجرای نرم‌افزار الکترومغناطیسی برای چهار زاویه سمت $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$ به ترتیب برابر ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درجه با زاویه ارتفاع برابر ۹۰ درجه، فاصله بین المان‌ها $d = 0.5\lambda$ ، طول آنتن‌ها $L = \lambda/2$ و در فرکانس ۲/۴ گیگاهرتز محاسبه شده‌اند. ماتریس نرمالیزه شده MIM با $[Z_m]$ نشان داده شده است، که $[Z_m] = [Z_m]/Z_L$ برابر 50Ω ، ماتریس $[Z_m]$ به صورت زیر محاسبه می‌شود: [۲۹،۳۰]:

$$[Z_m] = \begin{bmatrix} 0.999834 - 0.000295i & 0.186875 - 0.205859i & 0.082693 + 0.131029i & -0.050278 - 0.093257i \\ -0.186963 - 0.205923i & 0.999638 - 0.000504i & -0.186867 - 0.205800i & 0.0827567 + 0.131091i \\ 0.082757 + 0.131091i & -0.186867 - 0.205800i & 0.999638 - 0.000505i & -0.186963 - 0.205923i \\ -0.050278 - 0.093257i & 0.082694 + 0.131029i & -0.186875 - 0.205859i & 0.999834 - 0.000295i \end{bmatrix} \quad (20)$$



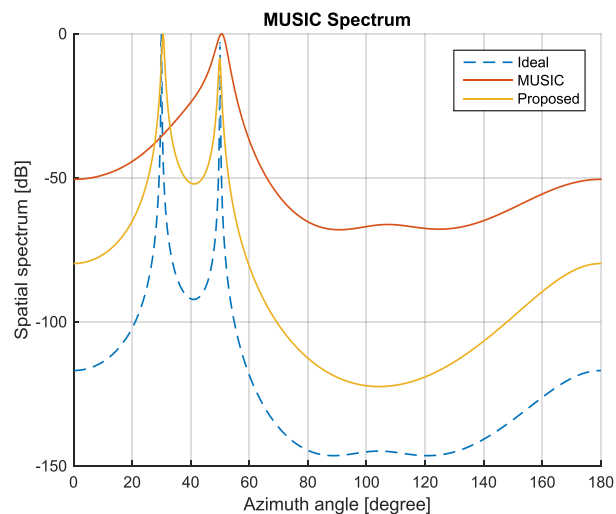
شکل (۴): نمایش مسأله DOA برای یک آرایه ۴ المانی در داخل خودرو، با فاصله بین المانی d ، که در آن سیگنال تابشی از زوایای سمت مختلف و از زاویه ارتفاع ۹۰ درجه وارد می‌شود.

Figure (4): Displays the DOA problem for an 4-element array in car, with an inter-element distance of d , in which the radiation signal is arrival from different side angles and from a $\theta=90^\circ$ degree angle.

Table (1): Signal parameters related to the first to fifth tests of wireless access points.
 جدول (۱): پارامترهای سیگنال مربوط به آزمایش اول الی پنجم از نقاط دسترسی بیسیم

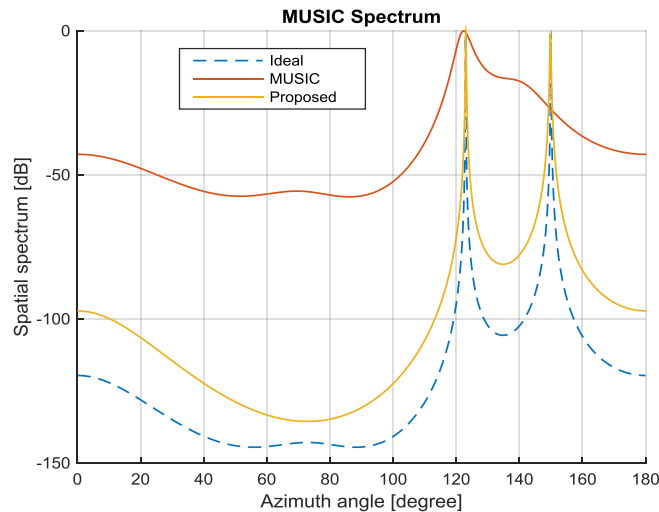
فرکانس	سیگنال اول	سیگنال دوم	شماره آزمایش
	۲/۴ گیگاهرتز	۲/۴ گیگاهرتز	
پلاریزاسیون	عمودی	عمودی	
SNR	۳۰ dB	۳۰ dB	
DOA	$\phi = 30^\circ$	$\phi = 30^\circ$	یک
DOA	$\phi = 123^\circ$	$\phi = 123^\circ$	دو
DOA	$\phi = 35^\circ$	$\phi = 35^\circ$	سه
DOA	$\phi = 85^\circ$	$\phi = 85^\circ$	چهار
DOA	$\phi = 30^\circ$	$\phi = 30^\circ$	پنج

شکل‌های (۵) تا (۹) نتایج استفاده از سه نوع ولتاژ مختلف که به‌عنوان ورودی‌های الگوریتم MUSIC در نظر گرفته شده‌اند، را نشان می‌دهد. نوع اول، ولتاژ ترمینال آنتن‌ها به صورت ایده‌آل که از شبیه‌سازی به‌دست آمده و بدون اثر تزویج متقابل می‌باشد (نمودار آن با عنوان ایده‌آل آورده شده است). نوع دوم ولتاژهایی هستند که با استفاده شبیه‌ساز الکترومغناطیس به‌دست آمده و متاثر از تزویج متقابل است (نمودار آن با عنوان MUSIC آورده شده است). نوع سوم ولتاژهایی هستند که با استفاده از روش ماتریس امپدانس شرح داده شده در مقاله جبران‌سازی شده است (نمودار آن با عنوان روش پیشنهادی آورده شده است).



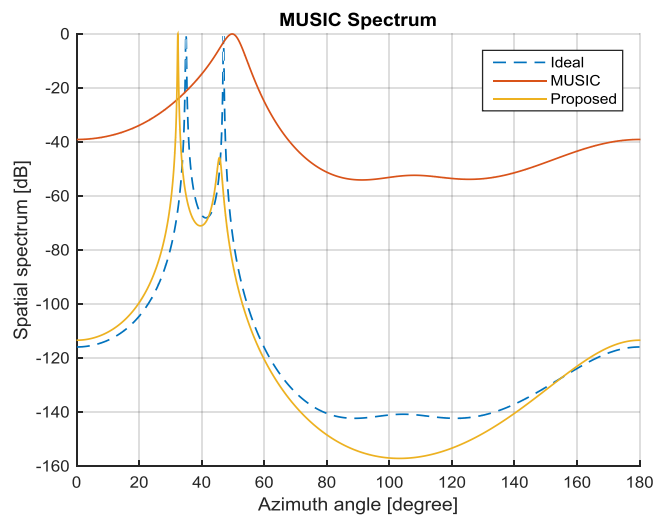
شکل (۵): آزمایش اول، طیف فضایی الگوریتم MUSIC به‌منظور آشکارسازی دو سیگنال هم‌دوس که از زوایای سمت ۳۰ درجه و ۵۷ درجه و زاویه ارتفاع ۹۰ درجه وارد آرایه آنتن خودرو می‌شوند.

Figure (5): The first experiment is the spatial spectrum of the MUSIC algorithm to detect two coherent signals from angles $\phi_2=30^\circ$, $\phi_3=57^\circ$, and a height angle of $\theta=90^\circ$ enters the car antenna array.



شکل (۶): آزمایش دوم، طیف فضایی الگوریتم MUSIC به منظور آشکارسازی دو سیگنال همدوس که از زوایای سمت ۱۲۳ درجه و ۱۵۰ درجه و زاویه ارتفاع ۹۰ درجه وارد آرایه آنتن خودرو می‌شوند.

Figure (6): The second experiment is the spatial spectrum of the MUSIC algorithm to detect two coherent signals from angles $\varphi_2=123^\circ$, $\varphi_3=150^\circ$, and a height angle of $\theta=90^\circ$ enters the car antenna array.

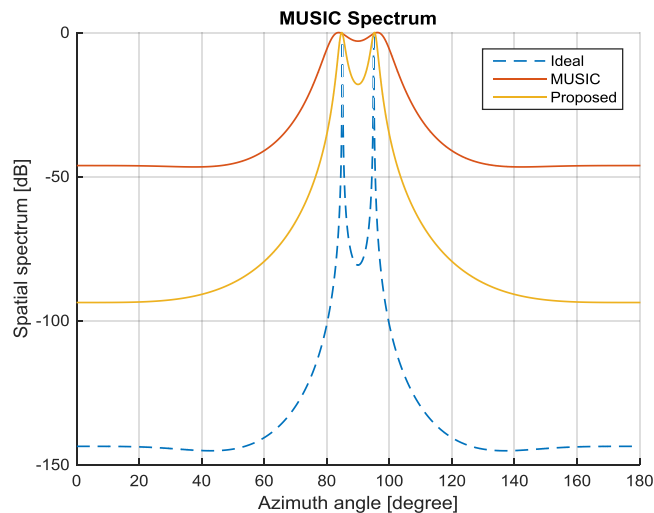


شکل (۷): آزمایش سوم، طیف فضایی الگوریتم MUSIC به منظور آشکارسازی دو سیگنال همدوس که از زوایای سمت ۳۵ درجه و ۴۷ درجه و زاویه ارتفاع ۹۰ درجه وارد آرایه آنتن خودرو می‌شوند.

Figure (7): The third experiment is the spatial spectrum of the MUSIC algorithm to detect two coherent signals from angles $\varphi_2=35^\circ$, $\varphi_3=47^\circ$, and a height angle of $\theta=90^\circ$ enters the car antenna array.

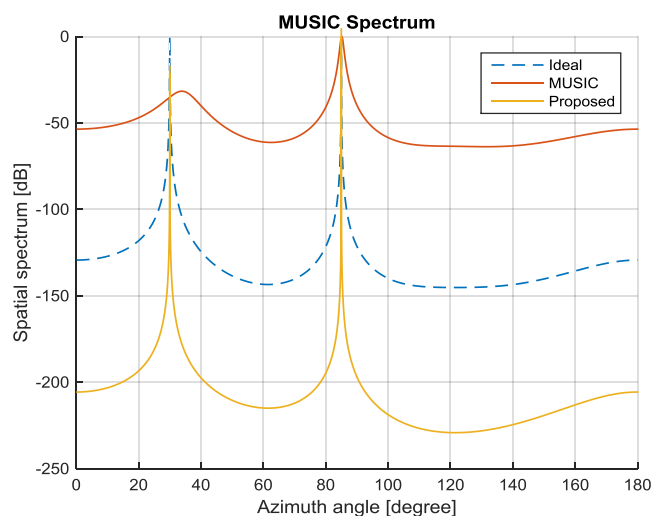
همانطور که در شکل‌های (۵) تا (۹) نشان داده شده است، استفاده از ولتاژهایی که با استفاده شبیه‌ساز الکترومغناطیس به دست آمده و متأثر از تزویج متقابل است که به ورودی الگوریتم MUSIC اعمال شده، تابع طیف تنها یک قله را نشان می‌دهد و این در حالیست که سیگنال در زاویه دیگر به کلی از بین رفته است. همانطور که به وضوح قابل مشاهده است، اگر اثر تزویج در ولتاژ ترمینال‌ها با استفاده از روش پیشنهادی حذف شود، به‌ازای هر دو زاویه ورود قله‌های حاصله کاملاً تیز خواهد بود و هر دو سیگنال آشکار شده‌اند. در آزمایش ششم و هفتم برای مقایسه و بررسی میانگین مربعات خطای تخمین الگوریتم MUSIC با هر سه ورودی داده‌های ایده‌آل (نمودار آن با عنوان ایده‌آل آورده شده است) و داده‌های نرم‌افزار الکترومغناطیس (نمودار آن با عنوان MUSIC آورده شده است) و داده‌های اصلاح شده عاری از تزویج متقابل نسبت به تعداد نمونه‌ها و تغییر SNR سیگنال ورودی

MSE تخمین DOA را برای یک آرایه ۴ المانی که در خودرو نصب می‌باشد، جهت یک سیگنال که تحت زاویه ۶۵ درجه از یک نقطه دست‌رسی وارد آرایه آنتن خودرو می‌شود برحسب تعداد نمونه‌ها و تغییر SNR در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) آورده شده است.



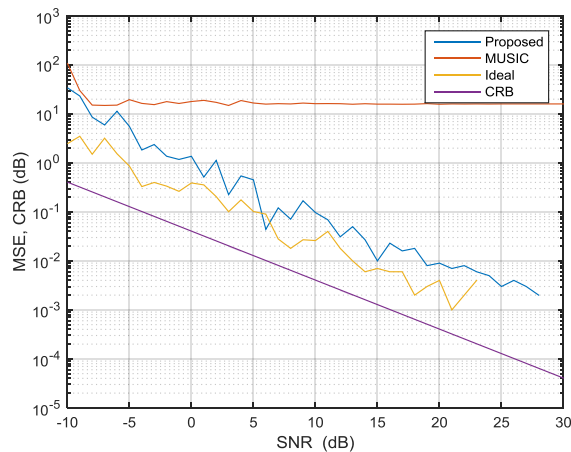
شکل (۸): آزمایش چهارم، طیف فضایی الگوریتم MUSIC به منظور آشکارسازی دو سیگنال هم‌دوس که از زوایای سمت ۹۵ درجه و ۸۵ درجه و زاویه ارتفاع ۹۰ درجه وارد آرایه آنتن خودرو می‌شوند.

Figure (8): The fourth experiment is the spatial spectrum of the MUSIC algorithm to detect two coherent signals from angles $\varphi_2=95^\circ$, $\varphi_3=85^\circ$, and a height angle of $\theta=90^\circ$ enters the car antenna array.

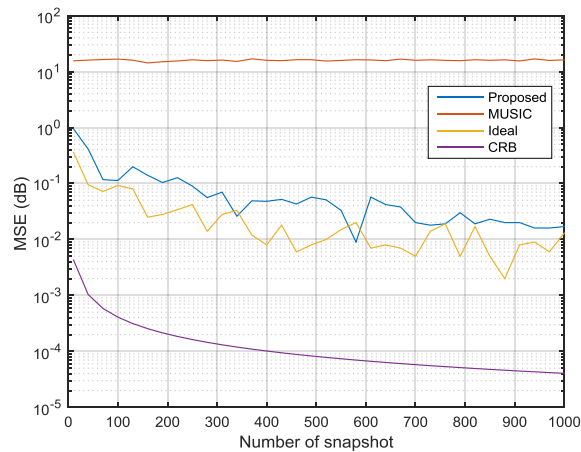


شکل (۹): آزمایش پنجم، طیف فضایی الگوریتم MUSIC به منظور آشکارسازی دو سیگنال هم‌دوس که از زوایای سمت ۳۰ درجه و ۸۵ درجه و زاویه ارتفاع ۹۰ درجه وارد آرایه آنتن خودرو می‌شوند.

Figure (9): The fifth experiment is the spatial spectrum of the MUSIC algorithm to detect two coherent signals from angles $\varphi_2=30^\circ$, $\varphi_3=85^\circ$, and a height angle of $\theta=90^\circ$ enters the car antenna array.



شکل (۱۰): آزمایش ششم، میانگین مربعات خطای تخمین MUSIC نسبت به تغییرات SNR تحت شرایط Snapshot number=۲۵۶
Figure (10): The sixth experiment, the mean squares of the MUSIC estimation error relative to the SNR changes under the conditions Snapshot number = 256.



شکل (۱۱): آزمایش هفتم، میانگین مربعات خطای تخمین MUSIC نسبت به تعداد نمونه‌های بکار رفته برای تخمین ماتریس کواریانس تحت شرایط SNR=10dB

Figure (11): The seventh experiment, the mean squares of the MUSIC estimation error relative to the number of samples used to estimate the covariance matrix under SNR = 10dB.

در نهایت، عملکرد الگوریتم پیشنهادی در محاسبه موقعیت مکانی مبتنی بر تخمین DOA با تکیه بر چارچوب موقعیت‌یابی کمکی و سیله نقلیه مورد ارزیابی قرار گرفته است. ابتدا، آزمایش پنجم را در نظر می‌گیریم، که در آن موقعیت‌های شاخص‌های زیر با فاصله یک کیلومتری نسبت به مبدا قرار دارند.

$$\phi_2 = 30^\circ, \theta = 90^\circ$$

$$\phi_2 = 85^\circ, \theta = 90^\circ$$

سپس آزمایش چهارم با نشانه‌های واقع شده در نقاط زیر در نظر گرفته شده است:

$$\phi_2 = 95^\circ, \theta = 90^\circ$$

$$\phi_2 = 85^\circ, \theta = 90^\circ$$

از لحاظ تئوری، مختصات و سیله نقلیه با توجه به دو سناریو به ترتیب $(1.051/3m, -45/72.08m)$ و $(0.996/2116m, 0)$ بود. جدول‌های (۲) و (۳) به ترتیب عملکرد موقعیت‌یابی خودرو را در آزمایش پنجم و آزمایش چهارم مقایسه می‌کنند. مشاهده می‌شود که الگوریتم متعارف MUSIC برای موقعیت‌یابی دقیق خودرو در هر دو سناریو مناسب نیست؛ زیرا خطای مطلق آن بسیار بزرگ بود. در آزمایش پنجم و چهارم الگوریتم تخمین DOA مقاوم سازی نسبت به اثر تزویج متقابل بین عناصر آرایه عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم سنتی MUSIC به‌دست آورده است.

Table (2): Results of Experiment No. 5 of vehicle positioning using the DOA estimator.
جدول (۲): نتایج آزمایش شماره ۵ موقعیت‌یابی وسایل نقلیه با استفاده از تخمینگر DOA

تعداد نمونه ها	خطای مطلق	
	MUSIC	روش پیشنهادی
۲۰۰	۴۸/۷۸	۱/۵۶
۴۰۰	۲۰/۲۴	۰/۸۵۶
۶۰۰	۱۰/۸۰	۰/۳۲۴
۸۰۰	۱۰/۶۵	۰/۲۸۱
۱۰۰۰	۸/۸۱	۰/۱۶۴۸

Table (3): Results of Experiment No. 4 Vehicle Positioning Using the DOA Estimator.
جدول (۳): نتایج آزمایش شماره ۴ موقعیت‌یابی وسایل نقلیه با استفاده از تخمینگر DOA

تعداد نمونه ها	خطای مطلق	
	MUSIC	روش پیشنهادی
۲۰۰	۲۳/۷۲	۳/۰۲
۴۰۰	۱۶/۶۱	۱/۸۵
۶۰۰	۷/۶۷	۰/۹۸۷
۸۰۰	۵/۱۴	۰/۵۱۴
۱۰۰۰	۲/۳	۰/۳۵۱۸

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، ما یک چارچوب موقعیت‌یابی کمکی وسیله نقلیه را پیشنهاد دادیم که بر اساس تخمینگر DOA مقاوم‌سازی شده در VANET های فعلی متکی است. ما یک سناریوی واقع‌بینانه را در نظر گرفتیم که در آن سنسورها به دلیل محدودیت فضایی به‌طور نامنظم در خودرو توزیع می‌شوند و از تزویج متقابل رنج می‌برند. ما در چنین سناریویی، یک شکل جدید و دقیق از ماتریس امپدانس متقابل جهت جبران‌سازی اثر تزویج متقابل در آرایه‌های خطی به‌دست آوردیم. ماتریس امپدانس متقابل با شبیه‌سازی چند سناریوی سیگنال وارده به آرایه آنتن و با استفاده از اجرای الگوریتم تمام موج الکترومغناطیسی تمام موج آرایه محاسبه شده است. با استفاده از این MIM اصلاح شده، ولتاژ پایانه‌های آنتن کاملاً عاری از تزویج شده‌اند. همچنین نشان داده شده است که استفاده از الگوریتم MUSIC در حذف اثر تزویج متقابل در عملکرد تخمین DOA مقاوم‌سازی شده بهبود قابل توجهی از نظر دقت و تفکیک‌پذیری ایجاد می‌کند. با آزمایش‌های شبیه‌سازی انجام شده بهبود عملکرد تخمین DOA مقاوم‌سازی شده ما را تأیید کرد. چارچوب موقعیت‌یابی پیشنهادی می‌تواند خدمات محلی‌سازی را ارائه دهد و می‌تواند با سایر سیستم‌های موقعیت‌یابی همکاری کند. بنابراین باید چشم‌انداز روشی برای برنامه‌های آینده IoV داشته باشد.

سپاسگزاری

این مقاله از ر ساله دوره دکتری در دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز استخراج شده است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از همکاران حوزه پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی و داوران محترم که ما را در انجام و ارتقای کیفی این مقاله یاری نموده‌اند، اعلام نمایند.

References

مراجع

- [1] H. Peng, L. Liang, X. Shen, G.Y. Li, "Vehicular communications: A network layer perspective", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 68, no. 2, pp. 1064–1078, Feb. 2019 (doi: 10.1109/TVT.2018.2833427).

- [2] Q. Yuan, H. Zhou, Z. Liu, J. Li, F. Yang, X. Shen, "CESense: Costeffective urban environment sensing in vehicular sensor networks", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 20, no. 9, pp. 3235–3246, Sept. 2019 (doi: 10.1109/TITS.2018.2873112).
- [3] W. Xu, S. Wang, S. Yan, J. He, "An efficient wideband spectrum sensing algorithm for unmanned aerial vehicle communication networks", *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 1768–1780, April 2019 (doi: 10.1109/JIOT.2018.2882532).
- [4] H. Huang, J. Yang, Y. Song, H. Huang, G. Gui, "Deep learning for super-resolution channel estimation and DOA estimation based massive MIMO system", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 67, no. 9, pp. 8549–8560, Sept. 2018 (doi: 10.1109/VTCFall.2018.8691023).
- [5] H. Huang, Y. Song, J. Yang, G. Gui, F. Adachi, "Deep-learningbased millimeter-wave massive MIMO for Hybrid Precoding", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 68, no. 3, pp. 3027–3032, March 2019 (doi: 10.1109/TVT.2019.2893928).
- [6] A. Conti, S. Mazuelas, S. Bartoletti, W.C. Lindsey, M.Z. Win, "Soft information for localization-of-things", *Proceeding of the IEEE*, vol. 107, no. 11, pp. 2240–2264, Nov. 2019 (doi: 10.1109/JPROC.2019.2905854).
- [7] S. Kuutti, S. Fallah, K. Katsaros, M. Dianati, F. McCullough, A. Mouzakitis, "A survey of the state-of-the-art localization techniques and their potentials for autonomous vehicle applications *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 829–846, Apr. 2018 (doi: 10.1109/JIOT.2018.281230).
- [8] G. Soatti, M. Nicoli, N. Garcia, B. Denis, R. Raulefs, H. Wymeersch, "Implicit cooperative positioning in vehicular networks", *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, vol. 19, no. 12, pp. 3964–3980, Dec. 2018 (doi: 10.1109/TITS.2018.2794405).
- [9] H. Zhu, K. Yuen, L. Mihaylova, H. Leung, "Overview of environment perception for intelligent vehicles", *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, vol. 18, no. 10, pp. 2584–2601, Oct. 2017 (doi: 10.1109/TITS.2017.2658662).
- [10] A. Saucan, T. Chonavel, C. Sintes, J. Le Caillec, "CPHD-DOA tracking of multiple extended sonar targets in impulsive environments", *IEEE Trans. Signal Process*, vol. 64, no. 5, pp. 1147–1160, Mar. 2016 (doi: 10.1109/TSP.2015.2504349).
- [11] H. Wang, L. Wan, M. Dong, K. Ota, X. Wang, "Assistant vehicle localization based on three collaborative base stations via SBL-based robust DOA estimation", *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 3, pp. 5766–5777, Jun. 2019 (doi: 10.1109/JIOT.2019.2905788).
- [12] H. Wymeersch, G. Seco-Granados, G. Destino, D. Dardari, F. Tufvesson, "5G mmWave positioning for vehicular networks", *IEEE Wireless Communications*, vol. 24, no. 6, pp. 80–86, Dec. 2017 (doi: 10.1109/MWC.2017.1600374).
- [13] Z. Abu-Shaban, X. Zhou, T. Abhayapala, G. Seco-Granados, H. Wymeersch, "Error bounds for uplink and downlink 3D localization in 5G millimeter wave systems", *IEEE Wireless Communications*, vol. 17, no. 8, pp. 4939–4954, Aug. 2018 (doi: 10.1109/TWC.2018.2832134).
- [14] Y. Wang, Y. Wu, Y. Shen, "Joint spatiotemporal multipath mitigation in large-scale array localization", *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 67, no. 3, pp. 783–797, Feb. 2019 (doi: 10.1109/TSP.2018.2879625).
- [15] F. Wen, C. Mao, G. Zhang, "Direction finding in MIMO radar with large antenna arrays and nonorthogonal waveforms", *Digital Signal Processing*, vol. 94, pp. 75–83, Nov. 2019 (doi: 10.1016/j.dsp.2019.06.008).
- [16] F. Wen, J. Shi, Z. Zhang, "Joint 2D-DOD, 2D-DOA and polarization angles estimation for bistatic EMVS-MIMO radar via PARAFAC analysis", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 69, no. 2, pp. 1626–1638, Feb. 2020 (doi: 10.1109/TVT.2019.2957511).
- [17] A. M. Elbir, "A novel data transformation approach for DOA estimation with 3-D antenna arrays in the presence of mutual coupling", *IEEE Antennas Wireless Propagation Letters*, vol. 16, pp. 2118–2121, 2017 (doi: 10.1109/LAWP.2017.2699292).
- [18] J.W. Wallace M.A. Jensen, "Mutual coupling in MIMO wireless system: A rigorous network theory analysis", *IEEE Trans Wireless Communications*, vol. 3, no. 4, pp. 1317–1325, July 2004 (doi: 10.1109/TWC.2004.830854).
- [19] H. Yuan, K. Hirasawa, "The mutual coupling and diffraction effects on the performance of a CMA adaptive array", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 47, pp. 728–736, Aug. 1998 (doi: 10.1109/25.704828).
- [20] R.S. Adve, T.K. Sarkar, "Compensation for the effects of mutual coupling on direct data domain adaptive algorithms", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 48, no. 1, pp. 86–94, Jan. 2000 (doi: 10.1109/8.827389).
- [21] C.K.E. Lau, R.S. Adve, T.K. Sarkar, "Minimum norm mutual coupling compensation with applications in direction of arrival estimation", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 52, no. 8, pp. 2034–2040, Aug. 2004 (doi: 10.1109/TAP.2004.832511).
- [22] B. Friedlander, A. Weiss, "Direction finding in the presence of mutual coupling", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 39, no. 3, pp. 273–284, Mar. 1991 (doi: 10.1109/8.76322).

- [23] H.T. Hui, "Improved compensation for the mutual coupling effect in a dipole array for direction finding", IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. 51, no. 9, pp. 2498-2503, Sept. 2003 (doi: 10.1109/TAP.2003.816303).
- [24] T.T. Zhang, H.T. Hui, Y.L. Lu, "Compensation for the mutual coupling effect in the ESPRIT direction finding algorithm by using a more effective method", IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. 53, no. 4, pp. 1552-1555, April 2005 (doi: 10.1109/TAP.2005.844399).
- [25] H.T. Hui, "A practical approach to compensate for the mutual coupling effect of an adaptive dipole array", IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. 52, no. 5, pp. 1262-1269, May 2004 (doi: 10.1109/TAP.2004.827502).
- [26] V.K. Quy, N.T. Ban, N.D. Han, "An advanced energy efficient and high performance routing protocol for MANET in 5G", Journal of Communications, vol. 13, no. 12, pp. 743-749, Dec. 2018 (doi: 10.12720/jcm.13.12.743-749).
- [27] W.C. Gibson, "The method of moment in electromagnetic", Chapman and Hall/CRC, 2008 (ISBN: 9780367365066).
- [28] R.F. Harrington, "Field computation by moment methods", IEEE Press, New York, 1993 (ISBN: 9780470-544631).
- [29] N. Parhizgar, A. Alighanbari, M.A. Masnadi-Shirazi, A. Sheikhi, "Mutual coupling compensation for a practical VHF/UHF Yagi-Uda antenna array", IET Microwaves, Antennas and Propagation, vol. 7, no. 13, pp. 1072-1083, Oct. 2013 (doi: 10.1049/iet-map.2013.0218)
- [30] N. Parhizgar, A. Alighanbari, M.A. Masnadi-Shirazi, A. Sheikhi, "A modified decoupling scheme for receiving antenna arrays with application to DOA estimation", International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, vol. 23, no. 2, pp. 246-259, March 2013 (doi: 10.1002/mmce.20671).

زیر نویس‌ها

1. Internet of things (IoT)
2. Vehicular ad hoc network (VANET)
3. Internet of vehicles (IoV)
4. Vehicle-to-vehicle (V2V)
5. Vehicle-to-infrastructure (V2I)
6. Infrastructure-to-vehicle (I2V)
7. Global positioning system (GPS)
8. Wireless access point (WAP)
9. Radio signal strength (RSS)
10. Time of arrival (TOA)
11. Time difference of arrival (TDOA)
12. Direction of arrival (DOA)
13. Estimation of signal parameters via rotational invariant techniques (ESPRIT)
14. Multiple signal classification (MUSIC)
15. Method of moments (MoM)
16. Mutual impedance matrix (MIM)
17. Kronecker tensor