نشریه علمی «علوم و فناوری‌های پدافند نوین»
سال یازدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹؛ ص ۲۹۷-۲۸۹

بهینه‌سازی پوشش سه‌بعدی فرستنده‌های گمراه‌کننده برد کوتاه با در نظر گرفتن توپوگرافی (مطالعه موردی: پهپادها)

ابوذر رمضانی[1*]، محمدرضا ملک[2]

۱- استادیار دانشگاه سید جمال‌الدین اسدآبادی، ۲- دانشیار دانشگاه خواجه‌نصیرالدین طوسی

(دریافت: ۹۸/۰۵/۱۱، پذیرش: ۹۸/۱۰/۰۸)

چکیده

مسئله پوشش یکی از مسائل مکان‌یابی و تخصیص است که جهت کمینه‌سازی سرویس‌دهنده‌ها و فراهم نمودن امکانات بیشتر استفاده می‌شود. توپوگرافی یکی از موانع انتشار امواج رادیویی و الکترومغناطیسی فرستنده‌های بردبلند است. یکی از راه‌کارهای ایجاد پوشش کامل در مناطق خارج از پوشش فرستنده‌های برد بلند، استفاده از فرستنده‌های رادیویی یا الکترومغناطیسی برد کوتاه است. با توجه به پارامترهای مؤثر در عملکرد این فرستنده‌ها، جهت بهینه‌سازی پوشش توسط آنها، می‌بایست یک مدل سه‌بعدی مکان‌مبنا توسعه داد. مهم‌ترین نوآوری این تحقیق توسعه‌ی یک مدل سه‌بعدی مکان‌مبنا جهت بهینه‌سازی پوشش سه‌بعدی فرستنده‌های گمراه‌کننده برد کوتاه در مناطق خارج از پوشش فرستنده‌های برد بلند است. جهت مطالعه موردی، پوشش کامل مسیر یک پهپاد با هدف قطع ارتباط آن با مرکز کنترل، با در نظر گرفتن وضعیت توپوگرافی منطقه پیاده‌سازی شده است. در این مدل با شناسایی پارامترهای مؤثر در حرکت پهپادها و پارامترهای مؤثر در عملکرد فرستنده مدلی مکان‌مبنا جهت توزیع بهینه فرستنده‌ها توسعه داده شده است تا با کمترین تعداد فرستنده بیشترین پوشش حاصل شود. در این تحقیق سه پارامتر تأثیرگذار در عملکرد فرستنده‌ها شامل موقعیت سه‌بعدی، زاویه تابش و آزیموت تابش معرفی شده و بهینه‌سازی پوشش سه‌بعدی با توجه به این پارامترها انجام شده است. به‌کارگیری مدل پیشنهادی موجب قطع ارتباط سیستم ناوبری پهپاد گشته و نتایج نشان می‌دهد نسبت به مدل‌های معمول کارایی ۹۰٪ افزایش یافته و تعداد فرستنده‌ها حدود ۳۰٪ کاهش یافته است.

کلیدواژه‌ها: بهینه‌سازی، پوشش سه‌بعدی، فرستنده، پهپاد، توپوگرافی، سیستم اطلاعات مکانی

Optimizing Three Dimensional Coverage of Short Range Transmitter Considering Topography (Case study: UAV)

A. Ramezani*, M. R. Malek
Sayyed Jamaleddin Asadabadi University
(Received: 02/08/2019; Accepted: 29/12/2019)

Abstract

Coverage problem is one of the location/allocation problems that is used to minimize service point and provide more facilities. The solution for complete coverage is using short-range radio or electromagnetic transducers to improve coverage in areas where topography does not allow long-range transmitter coverage. The most important innovation of this research is the development of a three-dimensional spatial model to optimize the coverage of short-range transmitters in areas out of the coverage of long-range transmitters. The case study is full coverage of a UAV's route to disconnect its communication to the control center. In this model, by identifying the effective parameters of the UAV's routing and the effective parameters of the transmitter function, a spatial model is developed to optimize the number of transmitters to achieve the highest coverage with the lowest number of transmitters. By using the proposed model, the UAV navigation system is disconnected and the result shows that the number of transmitters with a 90% efficiency decreased by about 30% compared to the conventional models.

Keywords: Optimization, Three Dimensional Coverage, Transmitter, UAV, Topography, Geo-Spatial Information System

*Corresponding Author E-mail: aramezani@sjau.ac.ir

۱. مقدمه

فرستنده یک سیستم منتشرکننده امواج با مقاصد گوناگون است که در حوزه مختلف به‌کار گرفته می‌شود. این دستگاه‌ها با استفاده از فنّاوری امواج رادیویی یا الکترومغناطیسی یا مانند آن، خدمات و فرایندهایی را در بخش‌های مختلف فراهم می‌کنند. این فرستنده‌ها دارای برد بلند و کوتاه هستند، که یکی از موانع عملکردی فرستنده‌های برد بلند، توپوگرافی است. یکی از چالش‌های پیش‌رو، بهبود پوشش امواج در مناطق خارج از پوشش فرستنده‌های برد بلند است و متولیان امر به دنبال راه‌حلی جهت افزایش بازدهی خدمات در مناطق خارج از پوشش با استفاده از فرستنده‌های برد کوتاه هستند. به‌دلیل وضعیت ناهموار توپوگرافی، به‌ویژه در مناطق غربی کشور، جهت پوشش همه مناطق نیاز به تعداد زیادی فرستنده برد کوتاه است، که جهت بهینه‌سازی می‌توان به بهبود پوشش با کمینه‌سازی تعداد فرستنده‌ها پرداخت.

پهپادها یا پرنده‌های بدون سرنشین امروزه در موارد بسیاری استفاده می‌شوند، که مسیریابی آن‌ها به‌وسیله امواج الکترومغناطیسی انجام می‌شود. این اشیا می‌توانند جهت عکس‌برداری، نقشه‌برداری و جمع‌آوری اطلاعات استفاده شوند و گاهی اوقات نیز مردم عادی به‌دلیل ناآگاهی آن را در مناطق امنیتی پرواز دهند. از پارامترهای مؤثر در عملکرد پهپادها، مسیریابی به‌وسیله سامانه‌های ناوبری ماهواره‌ای[1] به سمت هدف است که می‌توانند با جمع‌آوری اطلاعات زمینه را برای افزایش آسیب‌پذیری و کاهش ایمنی فراهم کنند [۱]. راه‌حلی که جهت جلوگیری از دسترسی پهپادها می‌توان ارائه داد، قطع ارتباط آن‌ها با مرکز کنترل و ناوبری است که به‌وسیله فرستنده امواج الکترومغناطیس با فرکانس بالاتر یا اختلال‌گرها[2] انجام می‌شود.

در اشیا پرنده از انواع مختلفی سامانه‌های مکان‌یابی و ناوبری استفاده می‌شود. یکی از این سیستم‌ها، سامانه‌های مکان‌یابی مزدوج است. سامانه‌های مکان‌یابی مزدوج با استفاده از ترکیب تجهیزات GPS و INS قادر به محاسبه مختصات جغرافیایی با دقت بسیار بالا بوده و رکن اصلی سامانه‌های ناوبری خودکار هستند. اگر سطح اغتشاش رادیویی در باند سیگنال‌های ماهواره زیاد باشد، آنگاه گیرنده‌های GPS قادر به فعالیت نبوده و ناوبری به کمک سیستم ناوبری اینرسی انجام خواهد شد. درصورتی‌که شعاع منطقه اغتشاش گسترده باشد، خطای سیستم INS[3] هرلحظه افزایش خواهد یافت [۱]. در چنین شرایطی کارایی سامانه‌های ناوبری به‌شدت کاهش می‌یابد. لذا می‌توان با پوشش کامل مسیر این اشیا در مدت‌زمان طولانی به‌وسیله فرستنده‌های برد کوتاه ارتباط با مرکز را قطع نمود.

با توجه به توسعه سریع تجهیزات ارتباط بی‌سیم و فنّاوری‌های کاهش مصرف انرژی، مسئله توزیع بهینه سنجنده‌ها، فرستنده‌ها و مانند آن زمینه تحقیقات بسیار زیادی در حال حاضر است. فرستنده‌ها دارای قیمت بالایی بوده و با اهداف مختلفی ازجمله ایجاد اختلال در عملکرد پهپادهای مجهز به سامانه‌های هدایت و ناوبری ماهواره‌ای استفاده می‌شوند. مشابه همین عملکرد برای سنجنده‌های شناسایی نظامی، کنترل فضای اتمسفر، کنترل آتش‌سوزی جنگل و مانند آن استفاده می‌شود [۲]. در تحقیقی دیگر مناطق کور مخابراتی با استفاده از یادگیری ماشین دسته‌بندی شده‌اند [۳]. مسئله پوشش کامل سه‌بعدی، یکی از موضوعات مورد بحث در تحقیقات گذشته جهت یافتن راه‌حل بوده است. این مسئله یکی از موضوعات مهم در راستای افزایش خدمات‌رسانی و کنترل است. مکان‌یابی بهینه موقعیت فرستنده‌ها در شبکه بی‌سیم جهت کاهش مصرف انرژی مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است [۴]. برد مؤثر هر فرستنده جهت پوشش فضای حرکت پهپادها، ایجاد اختلال کارا و کنترل کامل مسیر حرکت پهپاد باید در توزیع فرستنده‌ها موردنظر قرار بگیرند [۵]. الگوریتم‌های فراوانی جهت حل مسئله پوشش در فضای دوبعدی ارائه شده است. اما در بعضی فضاها نیاز به طراحی سه‌بعدی است. برای مثال با توجه به تغییرات ارتفاعی حرکت مسیر پهپاد، فرستنده‌های توزیع‌شده در مسیر پهپاد باید یک فضای سه‌بعدی را پوشش دهند.

پوشش در فضای سه‌بعدی در ریاضیات یک مسئله-شبه چندجمله‌ای کامل[4] است، که تحلیل‌های آن نسبت به فضای دوبعدی متفاوت است. بسیاری از مسئله‌های معمول علوم کامپیوتر در حوزه مسائل شبه چندجمله‌ای هستند که پیدا کردن جواب بله برای آن‌ها شامل اثبات ساده‌ای است. اما مسائل شبه چندجمله‌ای کامل مسائلی هستند که برای آن‌ها هیچ الگوریتم شناخته‌شده قابل‌اجرا در زمان چندجمله‌ای و بهینه وجود ندارد. در تحقیقی یک الگوریتم K-Coverage توسعه داده شده و اثبات شده است تحلیل‌ها در فضای دوبعدی متفاوت از تحلیل‌ها در فضای سه‌بعدی هستند [۶]. در تحقیق حاضر تمامی تحلیل‌ها مبتنی بر فضای سه‌بعدی بوده و از تحلیل‌های فضای دوبعدی استفاده نشده است. مسئله پوشش در فضای سه‌بعدی توسط واث مورد بررسی قرار گرفت و او یک مکانیسم بهینه‌سازی در فضای سه‌بعدی برای توزیع سنجنده‌ها پیشنهاد داد و با توجه به فضای قابل پوشش توسط هر سنجنده، به بهینه‌سازی انرژی پرداخته شد [۷]. در تحقیق پیش‌رو نیز، قدرت امواج فرستنده‌ها محدود بوده و شکل کلی مسئله مشابه است. با این تفاوت که توپوگرافی و موانع طبیعی در تحقیق

[1] Global Positioning System
[2] Jammers
[3] Inertial Navigation System
[4] Non-Deterministic Polynomial

پیش‌رو به‌عنوان پارامترهای جدید در مسئله در نظر گرفته شده است.

در تحقیقی دیگر جهت ساده‌سازی مسئله، کره سه‌بعدی در فضای دوبعدی به شکل دایره و سپس در فضای یک‌بعدی به شکل کمان تبدیل شده و مسئله توزیع بهینه با متدولوژی پیشنهادی حل شده است. این راه‌حل‌ها بدون افزایش پیچیدگی محاسبات توسعه داده شده‌اند[۸]. در تحقیق پیش‌رو با توجه به مستطیلی بودن مسیر حرکت پهپاد، مقطع مخروطی فضای پوشش فرستنده نیز برای سادگی مسئله به شکل مستطیل در نظر گرفته شده است.

تحقیقات مشابه دیگری برای توسعه الگوریتم‌های پوشش سه‌بعدی انجام شده است که می‌توان ازجمله به یک استراتژی توزیع بهینه سنجنده در فضای سه‌بعدی [۹]، یک الگوریتم پوشش بر مبنای نیروهای مجازی[۱۰]، الگوریتم سلول مبنای توزیع سنجنده‌ها [۱۱]، الگوریتم کلونی مورچه جهت بهینه‌سازی استقرار سنجنده‌ها اشاره کرد[۱۲]. همان‌طور که مشاهده می‌شود مسئله پوشش سه‌بعدی یکی از موضوعات تحقیقاتی بسیار پراهمیت بوده و الگوریتم‌های متفاوتی در این زمینه توسعه و ارائه شده است. تفاوت مسئله پیش‌رو با تحقیقات گذشته، تأثیر توپوگرافی و پستی بلندی‌ها در عملکرد فرستنده‌ها و همچنین شکل پوشش فرستنده‌ها است که به شکل مخروط با زاویه تابش محدود است که در تحقیقات گذشته به شکل کره سه‌بعدی در نظر گرفته شده است.

در ادامه تحقیق ابتدا در بخش روش تحقیق، ارتباط سامانه‌های ناوبری ماهواره‌ای و روابط پوشش سه‌بعدی مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین، مدل توسعه داده‌شده تشریح خواهد شد. در بخش سوم، به پیاده‌سازی مدل پیشنهادی پرداخته شده و نتایج آن با مدل‌های معمول مقایسه شده است. در بخش نهایی، نتیجه‌گیری ارائه شده و دستاوردهای تحقیق تشریح شده است.

۲. روش تحقیق

همان‌طور که ذکر شد پهپاد با استفاده از ترکیب سیستم ناوبری اینرسی و سیستم تعیین موقعیت جهانی مسیریابی می‌کند. مشکل عمومی سامانه‌های ناوبری اینرسی، وجود دریفت است. به زبان دیگر، این‌گونه سیستم‌ها به‌علت خطای جمع شونده نسبت به زمان تابع کیفیت سیستم پس از مدت کوتاهی دقت موقعیت‌یابی خود را از دست داده و دیگر نمی‌توان به آن اعتماد کرد. برای فریب GPS اگر بتوان فرستنده را چنان قرار داد که راستای آن با راستای ماهواره از دید گیرنده یکی باشد، امکان ارسال اطلاعات غلط و انحراف پهپاد به سمت موقعیت موردنظر فراهم می‌شود. اما برای اختلال، سیستم اخلال‌گر از طریق یک آنتن و با انتشار نویز سفید با توان بالا در محدوده فرکانس کاری GPS، منجر به حذف امواج مؤثر این سامانه می‌شود. در طی این فرایند دستگاه گیرنده GPS ارتباط خود را با ماهواره‌ها از دست می‌دهد. در این تحقیق نیز هدف ایجاد اختلال در عملکرد GPS با استفاده از اخلال‌گر است.

گیرنده‌های GPS در کنار سیستم ناوبری اینرسی به‌کار می‌روند و درنتیجه به هنگام آشکارسازی تداخل، سیستم ناوبری یا به‌طورکلی بر INS سوییچ می‌کند و یا آنکه با اعتماد بیشتر بر INS از اندازه‌گیری‌های آن برای کاهش پهنای باند حلقه‌های ردیابی استفاده می‌کند. به‌طوری‌که توان تداخلی که به خروجی می‌رسد را حداقل کند. در چنین شرایطی معمولاً عملکرد گیرنده بهبود می‌یابد ولی میزان بهبود آن بستگی به‌دقت INS خواهد داشت. با ایجاد اختلال در گیرنده GPS برای مدت‌زمان طولانی، خطای موجود در INS فرصت کافی برای رشد خواهد داشت به‌طوری‌که گیرنده با استفاده از داده‌های آن نتواند دینامیک مربوط به خط دید مستقیم بین گیرنده و ماهواره را ردیابی کند درنتیجه اختلال مؤثر خواهد بود.

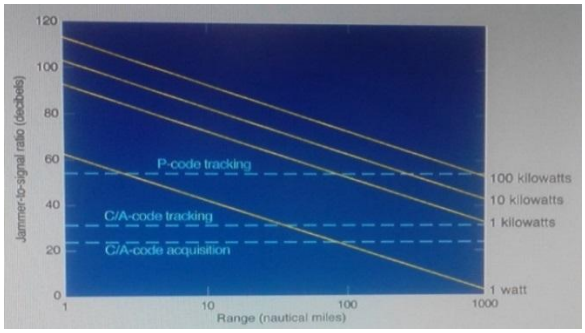
با توجه به توان سیگنال‌های ارسالی از ماهواره که ۵۸ دسی‌بل است و فاصله ماهواره تا گیرنده GPS که ۲۰۱۸۳ کیلومتر است و فرکانس سیگنال ارسالی از رابطه (۱) توان سیگنال در محل گیرنده محاسبه می‌شود[۱۳].

$$S = P_S + G_S - 32 - 20\log(F) - 20\log(R) + Gr \qquad (۱)$$

با استفاده از رابطه (۱) میزان توان سیگنال ماهواره در سطح زمین ۱۳۰dBm- به‌دست می‌آید. اما این مقدار زمانی درست است که ماهواره درست در بالای گیرنده قرار گیرد، که در عمل فرض مناسبی نیست، زیرا در هرلحظه گیرنده GPS ممکن است از ماهواره‌های مختلف سیگنال دریافت کند که در زوایای دیگر و فواصل بیشتری نسبت به گیرنده قرار داشته باشد.

قابل‌ذکر است که مقدار سیگنال دریافتی از ماهواره‌های GPS در سطح زمین حدود ۱۶۰ dBm- اندازه‌گیری شده است که با محاسبات انجام شده ۳۰dBm اختلاف دارد. پس باید عامل دیگری به نام تلفات لایه‌های جوی را در محاسبات وارد کرد زیرا اختلاف مسیر به‌تنهایی نمی‌تواند به‌اندازه ۳۰ dB تضعیف ایجاد کند. با توجه به اینکه معمولاً فاصله فرستنده تا گیرنده GPS نسبت به فاصله فرستنده ماهواره تا گیرنده GPS بسیار کمتر و ناچیز است و تلفات اتمسفر با مسافت به‌طور مستقیم رابطه دارد، لذا اثر تلفات اتمسفر در محاسبات واقعی به سود فرستنده خواهد بود.

در سیستم نرم‌افزاری طراحی مأموریت، محدوده پوشش سیگنال فرستنده GPS شناسایی‌شده نشان داده می‌شود. توان مؤثر جهت اختلال در انواع کدهای ماهواره‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است [۱۴].



شکل ۱. توان مؤثر فرستنده برای انواع کدهای ماهواره‌های GPS [۱۴]

همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود برای برتری نسبت سیگنال به نویز برای کد P نیاز است تا فرستنده با توان یک واتی، در فاصله کمتر از ۳مایلی مستقر شود. محدودیتی که در این زمینه وجود دارد، امکان شناسایی محل استقرار فرستنده در صورت افزایش توان است. هرچه توان ارسالی فرستنده بیشتر باشد، آسیب‌پذیری آن بیشتر خواهد بود، چون یک هدف مناسب برای پهپاد ضد تشعشع رادیویی است.

به‌این‌ترتیب برد مؤثر فرستنده‌ها جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی و تعداد فرستنده‌ها، پارامترهای اصلی مسئله بهینه‌سازی پوشش سه‌بعدی می‌باشند. در پوشش سه‌بعدی یکی از تحلیل‌های بااهمیت، آنالیز دید است. نتیجه این تحلیل، مناطقی است که از نقطه معین V قابل‌رؤیت است. تابع آنالیز دید $\emptyset(v)$ مجموعه‌ای از نقاط یا سلول‌ها[1] (x,y,z) روی سطح D را که از نقطه v قابل‌رؤیت هستند را با در نظر گرفتن حداکثر فاصله قابل‌رؤیت از نقطه v نشان می‌دهد (ابطه ۲)[۱۵].

$$\emptyset(\mathrm{v}) = f(v.D.r) = \{\delta \in D \mid d(v.\delta) \leq r \text{ and } \delta \text{ visible } from\ v\} \quad (۲)$$

در این رابطه اگر خطی که دو نقطه را به هم وصل می‌کند، بالای سطح زمین باشد، دو نقطه قابل‌رؤیت هستند. اما اگر خط دید با مانعی برخورد کند، نقطه هدف قابل‌رؤیت نیست.

ورودی در تحلیل دید، نقشه سه‌بعدی عوارض زمین است. در نمایش سه‌بعدی سطح زمین مدل‌های مختلفی وجود دارد. PTM[2]، RSG[3]، TIN[4] سه نوع از نمایش رقومی تغییرات ارتفاعی سطح زمین است. TIN یکی از مشتقات PTM است و سطح زمین توسط مثلث‌هایی که با یکدیگر پوشش زمین را کامل می‌کنند، نمایش داده می‌شود [۱۵].

درزمینه پوشش سه‌بعدی دو مسئله LSCP[5] و MCLP[6] تعریف شده‌اند. در LSCP هدف این است که با کمترین تعداد امکانات به همه نقاط متقاضی ارائه خدمات شود با شرط اینکه، محدودیت فاصله یا زمان در نظر گرفته شود. در MCLP هدف بیشینه کردن پوشش نقاط متقاضی با تعداد معینی از ارائه‌دهندگان خدمات است. در ادامه فرموله‌سازی مسئله ارائه شده است [۱۵].

i= نماد مناطق متقاضی که بین ۱ تا n است

j=نماد نقاط قابل‌استقرار برای سرویس‌دهنده‌ها که بین ۱ تا m

اگر نقطه متقاضی i با سرویس‌دهنده j پوشش داده شود.

$$\gamma_{ij} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \quad (۶)$$

$$N_i = \{j | \gamma_{ij} = 1\} \quad (۷)$$

$a_i =$ اهمیت نقطه i

$p =$ تعداد سرویس دهنده ها

متغیرهای تصمیم‌گیری برای مسئله برنامه‌ریزی در روابط (۸ و ۹) ارائه شده است.

$x_j = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$ اگر سرویس‌دهنده j مستقر شود

در غیر اینصورت

$y_i = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$ اگر نقطه متقاضی i پوشش داده شود.

در غیر اینصورت

اگر نقطه i بیش از یکبار پوشش داده شود

در غیر اینصورت

بدین ترتیب مجموعه‌ای از سرویس‌دهندگان برای ارائه سرویس مستقر می‌شوند. تابع MCLP به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$Maximize\ Z = \sum_i a_i y_i \quad (۱۰)$$

$$\sum_{j \in N_i} x_j - y_i \geq 0 \ \forall i \quad (۱۱)$$

$$\sum_j x_j = p \quad (۱۲)$$

$$x_j = (0.1) \ \forall j \quad (۱۳)$$

$$y_i = (0.1) \ \forall i \quad (۱۴)$$

در تابع ۱۰ هدف بیشینه نمودن پوشش برای نقاط متقاضی است. شرط ۱۱ بیان می‌کند نقطه متقاضی i پوشش داده می‌شود اگر و تنها اگر، سرویس‌دهنده در موقعیت خود در مجموعه N_i مستقر

[1] Cells
[2] Polyhedral Terrain Model
[3] Regular Square Grid
[4] Triangulated Irregular Network
[5] Location Set Covering Problem
[6] Maximum Covering Location Problem

شود. در شرط تعداد سرویس‌دهنده مشخص شده است. در شروط ۱۳ و ۱۴ مقادیر صحیح برای x_j و y_i نشان داده شده است.

در مباحث امنیتی جهت کنترل عبور و مرورها، علاوه بر مسئله پوشش، مسئله همپوشانی نیز اهمیت دارد. بدین ترتیب که هیچ فضای خالی در محدوده‌ای که پوشش داده می‌شود وجود نداشته باشد.

همپوشانی سرویس‌ها برای مناطق قابل‌رؤیت مشابه مسئله BCLP[1] است[۱۵]. این مسئله بیشتر برای مکان‌یابی و تخصیص سرویس‌های اضطراری استفاده می‌شود. BCLP مشتق شده از MCLP است. شکل ریاضی این مسئله در روابط ۱۵ و ۱۶ ارائه شده است.

$$Maximize\ Z_1 = \sum_i a_i y_i \quad (۱۵)$$

$$Maximize\ Z_2 = \sum_i a_i u_i \quad (۱۶)$$

شروط این مسئله در ادامه تشریح شده است.

$$\sum_{j\in N_i} x_j - y_i - u_i \geq 0 \ \ \forall i \quad (۱۷)$$

$$\sum_{j\in N_i} x_j - y_i \leq 0 \ \ \forall i \quad (۱۸)$$

$$\sum_j x_j = p \quad (۱۹)$$

$$x_j = (0.1)\ \forall j \quad (۲۰)$$

$$y_i . u_i = (0.1)\ \forall i \quad (۲۱)$$

$$u_i = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

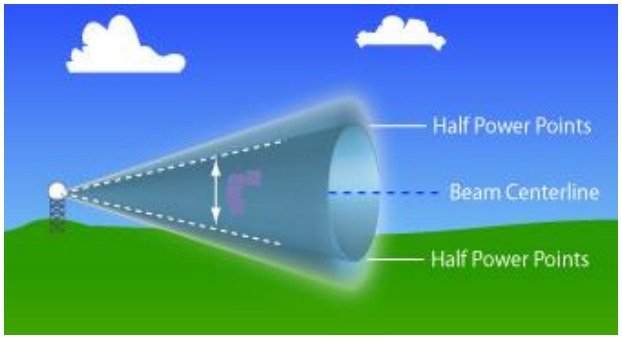
تابع هدف ۱۵ پوشش اصلی را بیشینه می‌کند. تابع هدف ۱۶ همپوشانی بین پوشش‌ها را بیشتر می‌کند. شروط ۱۷ و ۱۸ تعیین‌کننده نقاط دارای همپوشانی است. شرط ۱۸ اطمینان می‌دهد که همپوشانی زمانی اتفاق می‌افتد که در نقطه موردنظر حتماً پوشش وجود داشته باشد. در شرط ۱۹ تعداد پوشش‌دهنده‌ها کنترل می‌شود. شروط ۲۰ و ۲۱ مقادیر هر یک از متغیرها را تعیین می‌کند. در رابطه ۲۲، دو تابع هدف BCLP با وزن‌دهی به یک تابع تبدیل شده‌اند و W وزن است و بین صفر و یک متغیر است.

$$Maximize\ Z = W \sum_i a_i y_i + (1-W) \sum_i a_i u_i \quad (۲۲)$$

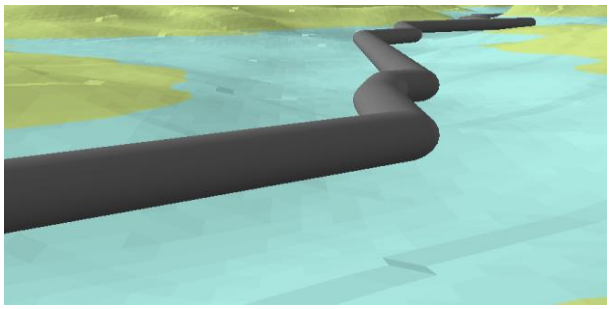
۲-۱. مدل‌سازی

هدف از بهینه‌سازی توزیع فرستنده‌ها، جلوگیری از دسترسی پهپاد برای کسب اطلاعات با کمترین هزینه است. در بهینه‌سازی توزیع فرستنده‌ها قیودی باید در نظر گرفته شوند. اول آنکه توان امواج ارسالی خیلی بالا نباشد تا فرستنده مورد شناسایی قرار نگیرد. دوم آنکه با کمترین تعداد فرستنده بیش‌ترین پوشش حاصل شود. محدودیت دیگر این است که امواج فرستنده تداخلی با نیروهای خودی نداشته باشد.

در مدل پیشنهادی فرض شده است که برد تمامی فرستنده‌ها یکسان است. فضایی که فرستنده‌ها ایجاد می‌کنند به شکل مخروطی بوده و جهت ساده کردن، مدل ریاضی آن به شکل یک هرم مثلی در نظر گرفته می‌شود (شکل ۲). زاویه رأس هرم برابر زاویه انتشار فرستنده است و مسیری که پهپاد از آن حرکت می‌کند مکعب مستطیلی (شکل ۳) است. هرم‌های مثلثی باید طوری در کنار هم قرار بگیرند که مسیر حرکت پهپاد را به‌طور کامل پوشش دهند.



شکل ۲. نحوه عملکرد فرستنده



شکل ۳. مسیر حرکت پهپاد به‌صورت سه‌بعدی

یکی از پارامترهای مهم فاصله فرستنده از مسیر حرکت پهپاد است. این فاصله با توجه به برد مؤثر فرستنده مشخص می‌شود. رابطه ۲۳، رابطه تابعی توان تداخل رادیو فرکانس و فاصله تا محل تداخل را نشان می‌دهد.

$$j_r = \frac{j_t G_t G_r \lambda_j^2}{(4\pi^2) d^2}(W) \quad (۲۳)$$

که در آن، j_t توان ارسالی فرستنده برحسب وات، G_t گین آنتن فرستنده، G_r گین آنتن گیرنده در راستای فرستنده، j_r توان دریافتی گیرنده از فرستنده در محل آنتن برحسب وات، d فاصله بین آنتن گیرنده و فرستنده، و λ_t طول‌موج فرکانس فرستنده برحسب متر می‌باشند.

با مشخص شدن توان مؤثر فرستنده، فاصله مؤثر d_{max} شناسایی می‌شود. در صورت کمتر شدن فاصله بین فرستنده و پهپاد، نیاز به تعداد بیشتری فرستنده‌ها است. d_{min} فاصله بین فرستنده و پهپاد باید طوری باشد که با کمترین تعداد فرستنده بتوان مسیر حرکت پهپاد را پوشش داد. شرط پوشش مؤثر این

[1] Back up Coverage Location Problem

است که d طوری انتخاب شود که تعداد فرستنده‌ها کمینه شود(رابطه ۲۴).

$$d_{min} \le d \le d_{max} \quad (۲۴)$$

با توجه به این‌که مسیر حرکت پهپاد به‌صورت مکعب مستطیل است، و طول و عرض این مکعب با توجه به‌دقت حرکت پهپاد تعیین می‌شود، طول پوشش افقی و ارتفاعی که توسط فرستنده پوشش داده می‌شود از رابطه (۲۵) محاسبه می‌شود.

$$C_{h.v} = d_{max} \times \tan\frac{\alpha}{2} \quad (۲۵)$$

در مورد فرستنده‌ها اگر عرض نصف زاویه انتشار امواج توسط فرستنده برابر α و ارتفاع فرستنده برابر h و شعاع کره زمین برابر Re باشد زاویه قابل پوشش توسط فرستنده برابر است با (رابطه ۲۶):

$$\beta = 2\arcsin(\frac{R_e+h}{R_e}\sin\frac{\alpha}{2}) - \alpha \quad (۲۶)$$

و مساحتی که فرستنده پوشش می‌دهد برابر است با (رابطه ۲۷):

$$S_i = 2\pi R_e^2\left(1-\cos\frac{\beta}{2}\right) \quad (۲۷)$$

زاویه تابش، فاصله و ارتفاع قرارگیری فرستنده می‌بایست به صورتی انتخاب شود که کل مسیر پوشش داده شود. جهت حل مسئله پوشش، از متدولوژی Discretization استفاده می‌شود. این متدولوژی منجر به یک مسئله بهینه‌سازی در فضای گسسته می‌شود.

در مدل پیشنهادی با توجه به برد مؤثر فرستنده‌ها، ابتدا فاصله فرستنده از مسیر حرکت پهپاد مشخص می‌شود. سپس در طراحی اولیه به استقرار فرستنده‌ها بدون توجه به قابل‌رؤیت بودن کل مسیر پرداخته می‌شود. پس از مشخص شدن موقعیت استقرار فرستنده‌ها، قسمتی از مسیر که می‌بایست مختل شود به قسمت‌های کوچک‌تر تقسیم می‌شود. پایه و اساس تقسیم‌بندی مسیر، محدوده قابل پوشش توسط فرستنده است.

پس از استقرار اولیه تحلیل قابل‌رؤیت بودن کل مسیر انجام می‌شود. با این ترتیب که خط مبنای دید بین نقطه استقرار و کلیه نقاط آن بخش از مسیر که می‌بایست توسط این فرستنده پوشش داده شود، ایجاد می‌شود. اگر خط مبنای دید در یکی از نقاط با مانع برخورد کرد، فرستنده به یکی از ۸ پیکسل اطراف خود که دارای ارتفاع بیشتری است منتقل می‌شود.

این انتقال تا جایی امکان‌پذیر است که توان امواج ارسالی فرستنده مؤثر باشد. در غیر این صورت جابه‌جایی به سمتی صورت می‌گیرد که مانع حذف شود. نحوه حل این مسئله به‌این‌ترتیب است که خطی بین نقطه استقرار فرستنده و مرکز خطی که قرار است پوشش داده شود ایجاد می‌شود. جهت حرکت پیکسل استقرار فرستنده خلاف جهت موقعیت خطی است که با مانع برخورد کرده است. پس از پیدا کردن بهترین نقطه استقرار برای هر فرستنده، جستجو برای فرستنده بعدی انجام می‌شود.

یکی از پارامترهای تأثیرگذار در کمینه نمودن تعداد فرستنده زاویه تابش فرستنده نسبت به خط افق است. زاویه تابش بهینه به فاصله و اختلاف ارتفاع فرستنده و پهپاد وابسته است (رابطه ۲۸).

$$\theta = \tan^{-1}\Delta h/d \quad (۲۸)$$

یکی دیگر از پارامترهای تأثیرگذار در کمینه نمودن تعداد فرستنده، محاسبه زاویه تابش نسبت به جهت شمال است. زمانی که تابش امواج فرستنده عمود بر مسیر پهپاد باشد، حداکثر پوشش ایجاد می‌شود و درنتیجه تعداد فرستنده‌ها کمینه می‌شود. همچنین در مدل پیشنهادی، فرستنده‌ها در دو سمت چپ و راست مسیر حرکت استقرار می‌یابند. به همین دلیل آزیموت تابش برای فرستنده‌های هر سمت متفاوت است. ابتدا آزیموت هر قسمت از مسیر حرکت پهپاد محاسبه می‌شود (رابطه ۲۹). سپس آزیموت تابش برای سمت چپ مسیر و سمت راست مسیر با استفاده از روابط جدول (۱) محاسبه می‌شود.

$$G_R = \tan^{-1}\frac{\Delta x}{\Delta y} \quad (۲۹)$$

جدول ۱. محاسبه آزیموت فرستنده‌ها در سمت چپ و راست مسیر

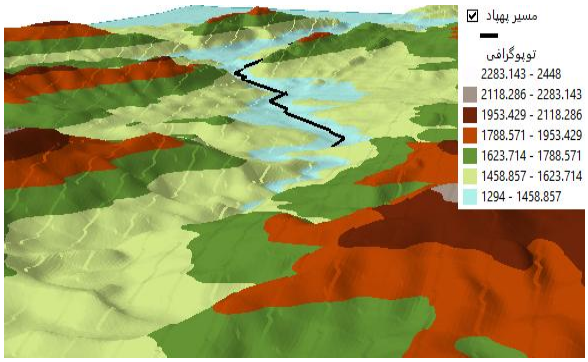
فرستنده سمت چپ مسیر	فرستنده سمت راست مسیر	آزیموت مسیر حرکت
$G_{lr}+90$	$G_{jr}+270$	$0 < G_R \le 90$
$G_{lr}+90$	$G_{jr}-90$	$90 < G_R \le 180$
$G_{lr}+90$	$G_{jr}-90$	$180 < G_R \le 270$
$G_{lr}-180$	$G_{jr}-90$	$270 < G_R \le 360$

در جدول (۱) با توجه به آزیموت مسیر حرکت پهپاد، آزیموت تابش فرستنده‌ها تعیین می‌شود. مثلاً اگر آزیموت مسیر حرکت پهپاد کمتر از ۹۰ درجه باشد، آزیموت فرستنده سمت راست مسیر، ۲۷۰ درجه بیشتر از آزیموت مسیر حرکت پهپاد است. با مشخص شدن موقعیت فرستنده، زاویه تابش و آزیموت تابش توزیع بهینه فرستنده انجام خواهد شد.

۳. نتایج و بحث

جهت پیاده‌سازی مدل پیشنهادی یک محدوده‌ای در اطراف نیروگاهی برقی در استان اصفهان در نظر گرفته شده است. یک مسیر شبیه‌سازی جهت حرکت پهپاد در نظر گرفته شده است و فرستنده‌ها در این مسیر مستقر خواهند شد. به‌علت دقت مسطحاتی و ارتفاعی پهپاد، مسیر حرکت به‌صورت یک باکس مستطیل در نظر گرفته می‌شود. با توجه به استقرار بهینه فرستنده‌ها باید به‌گونه‌ای صورت پذیرد که محدوده مسیر به شکل کامل پوشش داده شود. زیرا اگر محدوده کوچکی در طول مسیر

پهپاد بدون پوشش باشد، امکان برقراری ارتباط بین ماهواره و گیرنده GPS وجود خواهد داشت. بدین ترتیب یکی از شروط اصلی در توزیع بهینه فرستنده‌ها عدم وجود فضای بدون اختلال در مسیر حرکت پهپاد است. زاویه و جهت قرارگیری فرستنده‌ها باید طوری باشد که کل محدوده مسیر را پوشش دهد. باید در نظر داشت که با افزایش فاصله فرستنده از مسیر، پوشش بیشتر می‌شود، اما توان امواج اخلال‌کننده کاهش می‌یابد و با کاهش فاصله قدرت اختلال بیشتر شده، اما تعداد فرستنده موردنیاز بیشتر خواهد شد.



شکل ۳. مسیر حرکت پهپاد

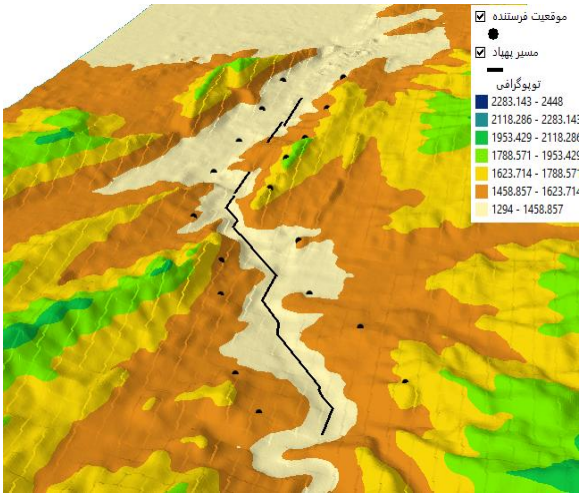
در مدل پیشنهادی فرستنده‌ها در راستای عرضی مسیر و در دو طرف مسیر حرکت پهپاد را پوشش خواهد داد، زیرا زاویه تابش فرستنده‌ها محدود است. تحقیقات قبلی نشان داده‌اند که اگر فرستنده در روی سطح زمین و زیر مسیر قرار داده شود شیوه مؤثری در اختلال عملکرد پهپاد هواپایه نخواهد بود [۱۶].

یکی از پارامترهای تأثیرگذار در پوشش مسیر پهپاد هواپایه، زاویه رأس فرستنده‌ها است. زاویه رأس فرستنده‌ها عموماً ۷۰ درجه است. با افزایش فاصله قدرت اختلال کاهش می‌یابد. با توجه به تأثیر عوارض زمین در پوشش مسیر حرکت پهپاد هواپایه، موقعیت فرستنده‌ها باید به‌گونه‌ای تعیین شود که هیچ مانعی در مقابل آن وجود نداشته باشد. به همین دلیل با توجه به جابه‌جایی فرستنده‌ها باید فاصله‌ای در نظر گرفته شود که با دور شدن فرستنده از بخش تحت پوشش مسیر حرکت، توان مؤثر برای تداخل کاهش نیابد. توان امواج اختلال فرستنده‌ها تا فاصله ۲۰۰۰متری مؤثر خواهد بود. اما با توجه به امکان جابه‌جایی فرستنده‌ها، در توزیع اولیه فرستنده‌ها در فاصله ۱۰۰۰ متری از مسیر مستقر خواهند شد تا در صورت جابه‌جایی فاصله اطمینان رعایت شود. برای فرستنده‌های با زاویه رأس ۷۰ درجه، بافاصله ۱۰۰۰متری از مسیر طول بخش قابل پوشش با اختلال مؤثر برابر با ۱۴۰۰ متر است. با مشخص شدن فاصله قابل پوشش توسط فرستنده‌ها، و طول مسیر ۱۱۰۰۲ متری مسیر به ۹ بخش کوچک‌تر قابل پوشش تقسیم می‌شود.

با مشخص شدن ۹ بخش مسیر که هرکدام باید به‌وسیله یک فرستنده پوشش داده شود، به توزیع اولیه فرستنده‌ها پرداخته می‌شود. توزیع اولیه فرستنده‌ها به‌گونه‌ای است که در راستای عمود منصف بخش موردنظر بوده و فاصله ۱۰۰۰ متری از مسیر داشته باشد. پس از توزیع اولیه این فرستنده‌ها و پس از انجام تحلیل دید درصورتی‌که امواج ارسالی توسط فرستنده‌ها با مانع برخورد کند، جابه‌جایی در فرستنده‌ها صورت می‌پذیرد. مختصات سه‌بعدی، زاویه تابش و آزیموت تابش هر فرستنده با استفاده از مدل پیشنهادی محاسبه و در جدول (۲) و شکل (۴) نشان داده شده است.

جدول ۲. مشخصات محل استقرار فرستنده‌ها

پاره‌خط	X	Y	ارتفاع	زاویه تابش	آزیموت تابش
۱شمال	۴۰۹۵۷۶	۳۸۵۸۵۰۸	۱۶۸۸	-۱۵/۴۲	۱۵۶/۴۴
۱جنوب	۴۰۸۶۹۹	۳۸۶۰۲۸۹	۱۵۲۶	-۶/۶	۳۳۶/۴۴
۲شمال	۴۱۰۶۹۲	۳۸۵۹۴۰۸	۱۶۰۳	-۱۰/۴۸	۱۴۰/۵۳
۲ جنوب	۴۰۹۳۴۲	۳۸۶۰۸۵۲	۱۵۲۹	-۷/۰۴	۳۲۰/۵۳
۳ شمال	۴۱۰.۹۶۲	۳.۸۶۱.۶۷۷	۱۵۶۳	-۱۲/۴۶	۱۶۲/۰۸
۳ جنوب	۴۱۱.۵۱۸	۳.۸۶۰.۴۲۸	۱۴۴۵	-۲/۴۶	۳۴۲/۰۸
۴شمال	۴۱۱.۸۱۲	۳.۸۶۱.۹۸۸	۱۵۷۱	-۱۴/۴۸	۱۳۴/۹
۴ جنوب	۴۱۲.۸۴۴	۳.۸۶۱.۰۰۴	۱۴۸۶	-۷/۳۹	۳۱۴/۹
۵شمال	۴۱۳.۰۸۵	۳۸۶۲۹۸۲	۱۴۸۵	-۸/۹۶	۱۵۶
۵ جنوب	۴۱۳.۸۹۰	۳.۸۶۱.۸۵۰	۱۷۳۴	-۲۶/۸۲	۳۳۶
۶شمال	۴۱۴.۸۴۰	۳.۸۶۳.۲۸۹	۱۳۷۶	۴/۱۲	۱۸۰/۱۸
۶ جنوب	۴۱۴.۸۷۲	۳.۸۶۱.۸۵۵	۱۸۰۸	-۲۶/۸۹	۰/۱۸
۷شمال	۴۱۶.۱۶۳	۳.۸۶۳.۲۶۲	۱۳۶۰	۱۰/۷۶	۱۸۰/۶۷
۷ جنوب	۴۱۶.۲۰۵	۳.۸۶۱.۸۹۷	۱۵۷۱	-۶/۷۵	۰/۶۷
۸شمال	۴۱۷.۵۹۲	۳.۸۶۳.۲۶۲	۱۳۸۷	-۲/۴۷	۱۷۸/۴۴
۸ جنوب	۴۱۷.۶۳۷	۳.۸۶۱.۸۵۰	۱۵۵۰	-۱۴/۵۶	۳۵۸/۴۴
۹شمال	۴۱۹.۱۰۷	۳.۸۶۳.۲۸۴	۱۳۷۷	-۰/۷۵	۱۸۰/۳۹
۹ جنوب	۴۱۹.۰۹۷	۳.۸۶۱.۸۸۷	۱۵۹۷	-۱۷/۹۵	۰/۳۹



شکل ۴. مسیر حرکت پهپاد و محل استقرار فرستنده‌ها

در جدول (۲) پنج پارامتر برای هر سوی بخش‌های مسیر تعیین شده است. جهت عملکرد بهتر در پوشش مسیر، فرستنده‌ها در دو سمت شمال و جنوب مسیر مستقر شده‌اند. قطعه مسیری که در این مدل جهت استقرار فرستنده‌ها، شناسایی شده، جهت جغرافیایی حرکت از سمت شرق به غرب است و برای مسیرهایی که شمالی جنوبی باشد، فرستنده در دو سمت شرق و غرب مسیر مستقر می‌شوند. در این جدول موقعیت هر فرستنده برای هر قطعه از مسیر با استفاده از چارچوب مکانی محاسبه شده است. برای هر فرستنده یک موقعیت مکانی، ارتفاعی که فرستنده در آن مستقر است، آزیموت تابش و زاویه تابش محاسبه می‌شود. آزیموت تابش با توجه به زاویه شمال جغرافیایی و زاویه تابش نسبت به سطح افق محاسبه می‌شود. با استفاده از الگوریتم توسعه داده شده در چارچوب مکانی، موقعیت استقرار، ارتفاع و پس‌ازآن با کمک این پارامترها آزیموت تابش و زاویه تابش محاسبه شده است. در مواردی که زاویه تابش منفی شده است، در واقع خط دید پایین سطح افق واقع شده است.

در حال حاضر در مدل‌های معمول فرستنده‌ها در نزدیکی منطقه موردحفاظت استقرار می‌یابند. در مدل‌های متداول از فرستنده‌های با رفتار کروی استفاده شده تا با پوشش بلند در عملکرد GPS اختلال ایجاد کنند. ضعف آن‌ها کوتاهی مدت زمانی است که پهپاد در معرض اختلال قرار می‌گیرد. بنابراین با توجه به‌دقت بالای سیستم ناوبری اینرسی پهپادها، امکان قطع کامل ارتباط کمتر می‌شود. از طرف دیگر با توجه به وجود توپوگرافی ممکن است در بعضی مناطق اختلال وجود نداشته و ارتباط پهپاد با مرکز کنترل برقرار شده و INS خطای خود را تصحیح کند.

در مدل‌های معمول فرستنده‌ها در زیر مسیر مستقر می‌شوند و برای پوشش کامل مسیر حرکت پهپاد به تعداد بیشتری فرستنده است. با در نظر گرفتن این دو موضوع، نتایج مقایسه کاهش تعداد فرستنده‌ها و کاهش آسیب‌پذیری بین مدل‌های معمول و مدل پیشنهادی در جدول نشان داده شده است.

جدول ۳. مقایسه مدل پیشنهادی و مدل‌های معمول

مقایسه مدل پیشنهادی با طرح عادی	تعداد فرستنده	احتمال آسیب‌رسانی
مدل پیشنهادی	۱۸	٪۱۰
مدل عادی	۲۵	٪۹۸

در جدول (۳) نشان داده شده که اگر از مدل پیشنهادی استفاده شود، امکان کسب اطلاعات کمتر از ۱۰٪ خواهد بود. درحالی‌که اگر از مدل‌های معمول استفاده شود، احتمال کسب اطلاعات در این مدل‌ها بیش از ۹۸٪ است. زیرا حتی اگر کوچک‌ترین فضایی برای برقراری ارتباط با GPS فراهم شود، INS خطای خود را تصحیح نموده و پهپاد مسیر صحیح خود را می‌یابد.

در بیشتر مدل‌های توسعه داده‌شده در تحقیقات قبلی، یک الگوریتم غیرقطعی در فضای دوبعدی توسعه داده شده و توزیع فرستنده‌ها را در زیر مسیر بهینه نموده است. درحالی‌که در مدل مستخرج از چارچوب پیشنهادی توزیع فرستنده‌ها در دو طرف مسیر بررسی شده است و مسیر حرکت پهپاد سه‌بعدی در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب تعداد فرستنده‌های مورداستفاده جهت پوشش مسیر حدود ۳۰٪ کاهش یافته است.

۴. نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق بهینه‌سازی پوشش سه‌بعدی فرستنده‌های برد کوتاه مانند گمراه‌کننده‌ها برای جلوگیری از کسب اطلاعات توسط پهپادها است. پهپادها می‌توانند به‌صورت خودآگاه یا ناخودآگاه از طرف مردم عادی در مناطق امنیتی پرواز کرده و اطلاعات مهمی را کسب کنند. یکی از راه‌های جلوگیری از دسترسی آن‌ها قطع ارتباط این اشیا با مرکز کنترل است. ناوبری پهپادها با کمک سیستم ناوبری ماهواره‌ای انجام می‌شود و با استفاده از فرستنده‌های گمراه‌کننده می‌توان از کسب اطلاعات جلوگیری نمود. در این تحقیق یک مدل پیشنهادی ارائه شد و با کمینه نمودن تعداد فرستنده‌ها، پوشش بیشینه بر مسیر حرکت پهپادها ایجاد شد. جهت نیل این هدف، ابتدا نحوه ارتباط بین پهپاد و سیستم ناوبری ماهواره‌ای و همچنین نحوه عملکرد فرستنده شناسایی شد. همچنین سه پارامتر اساسی موقعیت سه‌بعدی، زاویه تابش و آزیموت تابش جهت بهینه نمودن عملکرد فرستنده‌ها معرفی شدند. در مدل پیشنهادی، با مشخص شدن قدرت سیگنال دریافتی توسط پهپاد و توان تابشی فرستنده و همچنین محدودیت‌های تابش امواج فرستنده، فاصله بهینه از مسیر حرکت پهپادها مشخص شد. سپس الگوریتم نحوه موقعیت‌یابی فرستنده‌ها به‌نحوی‌که بیشینه پوشش حاصل شود، ارائه شد. با به‌کارگیری مدل پیشنهادی تعداد فرستنده‌ها حدود ۳۰٪ کاهش یافت، ضمن آنکه ارتباط با مرکز کنترل به‌طور کامل قطع گردید و منجر به کاهش آسیب‌پذیری ۹۸٪ در مقابل کسب اطلاعات شد. همچنین نوع جدیدی از توزیع فرستنده‌ها پیشنهاد شد که در دو طرف مسیر قرار بگیرند. یکی از مسائل مهم در امنیت کشورها پوشش ورود غیرقانونی افراد در مناطق مرزی است. ازآنجایی‌که مسیر حرکت این افراد معمولاً قابل پیش‌بینی است در ادامه این تحقیق می‌توان به بهینه‌سازی پوشش فرستنده‌ها برای پوشش این مناطق استفاده کرد.

۵. مرجع‌ها

[1] Ramezani, A.; Malek, M. R.; Sahami, H.; Hosnavi, R. "Vulnerability Assessment of Critical Infrastructure Against Acoustic Sensor of Smart and Unmanned Aerial Threats"; Adv. Defence Sci. Technol. 2016, 7, 149-157.

[2] Driels, M. R. "Weaponeering: Conventional Weapon System Effectiveness"; 2004, American Institute of Aeronautics and Astronautics Reston, VA

[3] Teimouri, M.; Rezaei, M. "Blind Classification of Space-Time Codes Using Machine Learning"; Adv. Defence Sci. Technol. 2019, 10, 1-10 (In Persian).

[4] He, J.; Verstak, A.; Watson, L.; Rappaport, T.; Anderson, C.; Ramakrishnan, N.; Shaffer, C. A.; Tranter, W. H.; Bae, K.; Jiang, J. "Global Optimization of Transmitter Placement in Wireless Communication Systems"; Proc. High Performance Computing Symposium 2002, Soc. for Modeling and Simulation Int., San Diego, CA, 2002, 328-333.

[5] Mirkarimi, D. B.; Pericak, C. "Countering the Tactical UAV Threat"; US Armor Association. 2003, 112, 43-44.

[6] Meguerdichian, F. K.; Potkoniak, M.; Srivastava, M. "Coverage Problems in Wireless Ad-hoc Sensor Network"; Proc. 20th IEEE INFOCOM 2001, 1380-1387.

[7] Das, H. M. "Joint K-Coverage and Hybrid Forwarding in Duty-Cycled Three-Dimensional Wireless Sensor Networks"; Proc. IEEE SECON. 2008.

[8] Kcormnuri, W. M. "The 3-Dimensional Wireless Sensor Network Coverage Problem"; Proc. of Networking Sensing and Control. 2006.

[9] Huang, C. F.; Lo, L. C. "The Coverage Problem in Three-Dimensional Wireless Sensor Networks"; Proc. of the GLOBECOM, Dallas IEEE Press. 2004, 3182-3186.

[10] Alam, S. M.; Haas, Z. J. "Coverage and Connectivity in Threedimensional Networks"; 12th Annual Int. Conf. Mobile Computing and Networking 2006, 346 -357.

[11] Zou, Y.; Chakrabarty, K. "Sensor Deployment and Target Localization Based on Virtual Forces"; Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications 2003,1293-1303.

[12] Wang, X.; Yang, Y. "Sensor Deployment Algorithm Based on Virtual Rhomb Grid"; J. Comput. Appl. 2006, 26, 1554-1556.

[13] Xiao, J.; Zhang, L.S. "Distance Optimization Based Coverage Control Algorithm in Mobile Sensor Network"; IEEE Int. Conf. Systems, Man and Cybernetics 2008, 3321-3325.

[14] Matts, J. A.; Ellis, A. G. "Artillery Accuracy: Simple Models to Assess the Impact of New Equipment and Tactics"; 1990, DTIC Document.

[15] Tsui, J. B. Y. "Fundamentals of Global Positioning System Receivers"; 2000, Wiley-Interscience.

[16] Murray, A.; Davis, J. W.; Machiraju, R.; Parent, R. "Coverage Optimization to Support Security Monitoring"; Comput. Environ. Urban Syst. 2007, 31, 133–147.

[17] Ying-chun, H.; Hang, L. "Design and Simulation of the Algorithm on the Distribution and Coverage of GPS Jamming Shells"; Third Int. Conf. Intelligent Networks and Intelligent Systems 2010, 634-637