فصلنامه علوم و فنون نظامی/ سال یازدهم/ شماره ۳۲، تابستان ۱۳۹۴
صص ۵۱-۲۵

تاریخ دریافت:۱۳۹۴/۱۰/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۲۸

تعیین محتمل‌ترین مسیر حرکت موشک کروز بر اساس الگوریتم‌های مسیریابی

حسین رضوانی*[۱]
سپهر محمد زهرایی[۲]
قادر قدیمی[۳]
فیض‌اله کاویانی[۴]

چکیده

امروزه با توجه به توانایی موشک‌های کروز در شناسایی و نابودی اهداف خاص و تعیین‌کننده ، جلوگیری از کارکرد حتی یک موشک کروز می‌تواند در نتیجه نبرد تاثیر فراوانی ایجاد کند. در این مقاله با ارزیابی مناسب و دقیق از نحوه حرکت , شناسایی مسیر , ناوبری , ارتفاع پرواز و سایر مشخصات فنی موشک های کروز ، محتمل ترین مسیر حرکت موشک بین مبدا پرتاب و مقصد مشخص شده و به دست می آید .برای این منظور بر اساس مطالعات انجام شده، روشهای هدایت، سیستم های مکانیابی و الگوریتم های مسیر یابی موشکهای کروز بررسی شده وسپس با بررسی الگوریتم های مورد استفاده در ناوبری پستی و بلندیهای زمین و بر اساس عوامل تاثیر گزار در طراحی مسیر به تهیه نقشه هزینه بر اساس نقشه‌های ***DEM*** تولید شده از منطقه مورد نظر پرداخته و در انتها نیز با استفاده از الگوریتم های مسیر یابی و کوتاهترین مسیر ، محتمل ترین مسیر حرکت موشک کروز بین دو نقطه مورد نظر استخراج و شبیه سازی گردید. نتایج حاصل نشان داد که با داشتن اطلاعات دقیق ، می توان مسیرهای احتمالی حرکت موشک کروز بین دو نقطه فرضی را بدست آورده تا بتوان با استفاده از نتایج آن سامانه های پدافندی و سپر دفاع موشکی قدرتمندی را جهت کشف، شناسایی، ردگیری و انهدام موشک‌های کروز مهاجم به داخل کشور و در مسیرهای به دست آمده، ایجاد و مستقر نمود.

واژگان کلیدی

موشک کروز، سیستم هدایت و ناوبری، الگوریتم مسیریابی، نقشه هزینه، مسیر بهینه

---

[۱] – کارشناس ارشد مهندسی نرم افزار- دانشگاه صنعتی مالک اشتر
[۲]- عضو هیات علمی دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا
[۳] – دانشجوی دکتری مخابرات-دانشگاه آزاد اسلامی تهران مرکز
[۴] –[۴] کارشناس ارشد مخابرات-دانشگاه هوایی شهید ستاری
* نویسنده مسئول : Email: nzrezvani@gmail.com

مقدمه

در حال حاضر نیروهای مسلحی در جهان حرفی برای گفتن دارند که به پیشرفته ترین موشکها مسلح باشند. لازم نیست که کارشناس نظامی و یا تسلیحاتی باشید تا بتوانید تاثیر موشکها را بر چهره میدانهای جنگ امروزی ببینید. در سال‌های اخیر موشک‌های کروز از مهمترین تسلیحات مورد استفاده توسط ارتش امریکا و دیگر ارتش‌های بزرگ دنیا بوده است. تجربه جنگهای اخیر نشان می‌دهد که استفاده از موشک‌هایی کروز ارزان قیمت و دقیق بر موشک‌های بالستیک ارجحیت دارد. مقابله با موشک کروز و بررسی روش‌هایی که بتوان با استفاده از آن موشک کروز مهاجم را نابود کرده و یا از کار انداخت برای ایجاد یک سامانه‌ی پدافندی، حیاتی است. یکی از روش‌های موثر مقابله با تهدیدات روزافزون کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه ارزیابی مناسب و دقیق از نحوه حرکت، شناسایی مسیر، ناوبری، ارتفاع پرواز و سایر مشخصات فنی موشک‌های کروز می‌باشد تا بتوان بر اساس اطلاعات فوق نسبت به تهیه طرح‌های پدافندی اقدام نمود.

موشک‌های کروز جدید معمولا با سرعت مادون صوت مشابه هواپیماهای بدون خلبان و در ارتفاع پایین پرواز می‌کنند. همین امر شناسایی و نابودی آنها را با سامانه‌های شناسایی عادی چون رادار و پدافند عادی مشکل می‌سازد. به همین دلیل بسیاری از کشورها برای ساختن ابزارهایی که توانایی مقابله با این موشک‌ها را داشته باشد، تلاش می‌کنند. در این تحقیق نیز بر اساس اطلاعات فنی موشک کروز Tomahawk BGM 109، مسیرهای احتمالی حرکت موشک بین مبدا پرتاب و هدف مشخص شده به دست می آید و می‌توان با بسط و گسترش آن تمامی مسیرها و کریدورهای محتمل موشک کروز بین نوار مرزی و نقاط حساس و استراتژیک داخل کشور را شناسایی نمود.

مباحث نظری

موشک کروز

موشک کروز که اسم خود را از تعریف پرواز کروز برای هواپیما گرفته است به موشکی گفته می‌شود که بیشتر مسیر خود را در حالت پایدار و نزدیک به زمین طی می‌کند. چنین موشکی توانایی بالایی در حمل سرجنگی‌های سنگین برای حمله به اهداف زمینی داشته و یکی از تسلیحات مهم و راهبردی بسیاری از ارتش‌های جهان است. موشک کروز یک موشک بلندبرد با توانایی پرواز در ارتفاع پایین است. این گونه موشک‌ها معمولا از پیشرانش

جت برای پرواز استفاده می‌کنند که به موشک اجازه می‌دهد به صورت ممتد و در مدت زمان طولانی پرواز کند. یک موشک کروز، در حقیقت هواپیمایی حامل بمب است که منتها خود نیز در عملیات بمب افکنی از میان می رود. یکی از قابلیتهای ویژه‌ی کروز، مانورپذیری بالای آن می‌باشد همین امر مشکل سیستم‌های پدافند هوایی را چند برابر می کند. سرعتی در حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر بر ثانیه داشته، لذا حین عبور باعث شکسته شدن دیوار صوتی نمی‌گردد و این باعث مخفی ماندن بیش از پیش آن می‌گردد. موشک کروز در انهدام اهداف متحرک آنچنان کارآمد نیست. مسیرهای خاصی جهت حرکت موشک نیاز می‌باشد. برای نزدیک شدن موشک به هدف سیاست‌های مختلفی قابل استفاده هستند. به این سیاست‌ها روش‌های هدایت گفته می شود. بسته به نوع ماموریت موشک و شرایط عملیاتی آن، روش-های هدایتی مختلفی اعمال می‌گردند. امروزه سیستم‌های متنوعی در موشک‌های هدایت شونده بکار می رود. در یک موشک هدایت شونده بر حسب نوع ماموریت و هزینه آن و تکنولوژی ساخت کشور سازنده، یک و یا چند نوع از سیستم‌های هدایت، جهت افزایش سطح اطمینان بکار می‌رود.

مهمترین روش‌ها و سیستم‌های هدایتی موشک کروز عبارتند از: هدایت سیمی، هدایت رادیویی، هدایت مادون قرمز (فروسرخ)، هدایت راداری نیمه فعال(آشیانه یاب نیمه فعال رادرای)، هدایت راداری فعال، هدایت راداری، هدایت تلویزیونی، هدایت لیزری، هدایت اینرسایی(INS) و سیستم هدایت مکان یاب جهانی (GPS).

الگوریتم مسیر یابی

به الگوریتمی گفته می شود که جهت یافتن کوتاهترین مسیر ممکن بین یک نود و هر نود دلخواه دیگر در یک گراف استفاده میشود مانند الگوریتم دیکسترا که به صورت حریصانه بر روی یک گراف وزن‌دار و جهت‌دار عمل می‌کند و ورودی این الگوریتم همیشه یک ماتریس دو بعدی است که همان ماتریس وزن گراف است. الگوریتم‌های مسیریابی از مسائل مهمی است که در زمینه‌های مختلفی از جمله: سیستم‌های حمل و نقل هوشمند، شبکه‌های کامپیوتری، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، کاربردهای فضایی، سیستم‌های ناوبری و هدایت‌گر نظامی و روبات‌های خودکار و... دارای کاربردهای بسزایی می‌باشد. همچنین این موضوع یکی از بخش‌های اصلی در موشک های کروز و دیگر موشک ها به شمار می‌رود،

که در آن موشک قادر خواهد بود با دریافت مبداء و مقصد حرکت، مسیر بهینه را تشخیص داده و در نهایت مستقلا و یا به همراهی عامل انسانی مسیر مورد نظر را پیمایش کند.

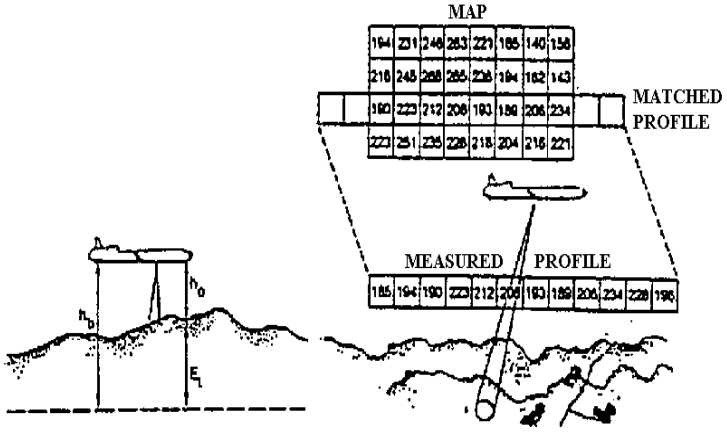
مکان‌یابی بر مبنای پستی و بلندی‌های زمین

استفاده از سیستم‌های مکانیابی بر مبنای پستی و بلندیها[1] (TAN)، همواره بعنوان یکی از روش‌های کامل خود مختار، نوین و مفید که می تواند باعث افزایش دقت تعیین موقعیت سیستم INS گردد، مورد توجه بوده است.

در این روش ابتدا قبل از پرتاب موشک، یک بانک اطلاعاتی از پستی و بلندیهای مسیر حرکت موشک در حافظه موشک بارگذاری می‌شود. و با تشخیص موقعیت دقیق موشک در بانک اطلاعاتی، این موقعیت را برای بروزرسانی سیستم INS استفاده می‌کند. در واقع میتوان از نقشه‌های ارتفاع پستی و بلندیهای زمین به عنوان ابزار ناوبری استفاده نمود که ایده اصلی، اندازه‌گیری دو کمیت فاصله هواپیما تا زمین و ارتفاع هواپیما نسبت به سطح دریا و مقایسه اختلاف آنها با نقشه در راستای محاسبه موقعیت هواپیما می‌باشد.

و بعد ازآن پروفایل تشکیل شده از سنجش ارتفاع مواضع زمینی با بانک اطلاعاتی دیجیتالی که از قبل در داخل کامپیوتر موشک وارد شده بود، مقایسه شده و یک الگوریتم کورولیشن روی آن پیاده سازی می‌شود. اگر در این مقایسه پروفایل یکسانی مشخص شود، از طریق آن پروفایل موشک موقعیت خود را تشخیص خواهد داد.

شکل ۱) Correlation در الگوریتم مکانیابی



[1].Terrain Aided Navigation (ناوبری به کمک عوارض زمین)

این الگوریتم بر مبنای این حقیقت کار می‌کند که، پروفایل ارتفاع‌های پستی و بلندی‌های زمین در یک ناحیه از زمین، یکتاست. یعنی در اطراف آن ناحیه، ناحیه‌ای با پروفایل مشابه وجود ندارد. همانگونه که اثر انگشت هویت یک شخص را معین می‌کند، کانتور پستی و بلندیها نیز مشخص کننده یک موقعیت در زمین می‌باشد.

شکل۲) ناوبری بر مبنای پستی و بلندیهای زمین

تخمین موقعیت فیلتر TAN به INS بازخورد می‌شود. و با استفاده از آن سیستم INS بروزرسانی می‌شود.

ناوبری به کمک پستی و بلندیهای زمین یک روش کمکی برای بالا بردن دقت سیستم‌های ناوبری هواپیماها، موشک‌ها، زیر دریایی‌ها و غیره می‌باشد. در این روش از تغییرات پستی و بلندی‌های زمین در طول مسیر حرکت، برای یافتن موقعیت دقیق استفاده می‌شود. از آنجایی که برای ناوبری از یافتن موقعیت دقیق استفاده می‌شود، به اینگونه از سیستم‌ها، سیستم‌های موقعیت یابی نیز اطلاق می‌شود.

چهار دسته از الگوریتم‌های ناوبری به کمک پستی و بلندیها شناسایی شده‌اند که پیاده‌سازیهای زیادی برای هر یک از آنها وجود دارد. در هر سیستم ناوبری به کمک پستی و بلندیها یکی از این الگوریتم‌ها و یا ترکیبی از اینها پیاده‌سازی شده است که ممکن است در منابع مختلف با نام‌های گوناگونی با آنها مواجه شوید.

این چهار دسته عبارتند از

الگوریتم‌های مبتنی بر تقریب سطوح .

الگوریتم‌های مبتنی بر فیلتر کالمن.

الگوریتم‌های مبتنی بر تخمین بیز.

الگوریتم‌های مبتنی بر TERCOM.

مبانی الگوریتم TERCOM

سیستم TERCOM از یک ارتفاع‌سنج راداری و یک پردازشگر داده برای محاسبه میزان تشابه پستی و بلندی‌های اندازه‌گیری شده با عوارض موجود در نقشه سه بعدی زمین به منظور تعیین موقعیت دقیق استفاده می‌کند. با حرکت وسیله پرنده ارتفاع‌سنج راداری میزان تغییرات ارتفاع زمین را اندازه‌گیری می‌کند. این اندازه‌گیری‌ها رقومی شده و بعنوان ورودی یک الگوریتم Correlator به منظور مقایسه با داده‌های پستی و بلندی ذخیره شده مورد پردازش قرار می‌گیرد. سیستم TERCOM مبتنی بر مجموعه‌ای از نقشه‌های دیجیتال است که در حافظه پرنده ذخیره شده‌اند.

پروسه تعیین موقعیت پرنده با استفاده از تطبیق کانتور عوارض زمین، معمولاً از سه مرحله اساسی زیر تشکیل می‌شود.

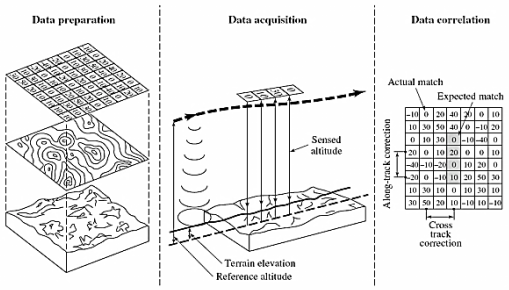
آماده‌سازی داده‌ها[1]

اندازه‌گیری داده‌ها[2]

کرولیشن داده‌ها[3]

شکل زیر سه مرحله سیستم TERCOM را نشان می‌دهد. هریک از این سه مرحله بصورت جداگانه در مرجع ۱(رضوانی، ۱۳۸۹) آمده است.

شکل 3) سه مرحله سیستم TERCOM



در مرجع (Yingrong xie 2005) دو الگوریتم تطبیق پستی و بلندی‌های زمین بر مبنای فیلتر کالمن و یک الگوریتم بر مبنای فیلتر جرم نقطه‌ای با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

[1] . Data Preparation
[2] . Data Acquisition
[3] . Data Correlation

همچنین در مرجع (Kjetil Bergh Ånonsen) دو الگوریتم فیلتر جرم نقطه‌ای و الگوریتم TERCOM با یکدیگر مقایسه شده‌اند

با توجه به معیارهای مقایسه الگوریتم‌ها می‌توان الگوریتم‌های معرفی شده را مقایسه کرده و مناسبترین الگوریتم برای استفاده در موشک‌های کروز را بدست آورد. مسلماً میزان اهمیت این معیارهای در کاربردهای مختلف، متفاوت است. الگوریتم‌های مبتنی بر فیلتر کالمن دقت لازم را نداشته و احتمال واگرا شدن آنها زیاد است. همچنین این دسته از الگوریتم‌ها حجم پردازش بسیار زیادی برای اجرا نیاز دارد. و پیاده‌سازی سخت‌افزاری آنها نیز بسیار مشکل است. الگوریتم‌های مبتنی بر فیلتر بیز دارای دقت زیادی می‌باشند. ولی این دسته از الگوریتم‌ها نیز حجم پردازش بسیار زیادی برای اجرا نیاز دارد. و پیاده‌سازی سخت‌افزاری این الگوریتم‌ها نیز بسیار پیچیده می‌باشد.

با توجه به این معیارها الگوریتم‌های مبتنی بر TERCOM الگوریتم‌های نسبتاً دقیقی برای ناوبری بر مبنای پستی و بلندیها می‌باشند. که پیاده‌سازی نرم‌افزاری و سخت‌افزاری آنها امکان‌پذیر بوده و نیاز به سخت‌افزار پیچیده‌ای ندارند. همچنین این الگوریتم قبلاً برای موشک‌های کروز پیاده‌سازی شده است.

از این‌رو الگوریتم‌های مبتنی بر TERCOM برای پیاده‌سازی انتخاب شدند.

حال با توجه به نتایج حاصل شده و بر اساس نقاط ضعف و قوت و مشخصات فنی و ویژگی-های موشک کروز Tomahowk BGM109 و همچنین بررسی‌های انجام شده از نحوه عملکرد الگوریتم TERCOM به طراحی و شبیه‌سازی عملی نرم افزار تعیین محتمل‌ترین مسیر حرکت موشک کروز بین دو نقطه فرضی پرداخته می‌شود.

تجزیه و تحلیل

طراحی و پیاده‌سازی نرم‌افزار تعیین محتمل‌ترین مسیر حرکت موشک کروز

در این تحقیق فرض شده است که مبدا حرکت موشک با استفاده از یک سیستم اطلاعاتی از قبیل رادار یا سنجنده حرارتی و صوتی شناسایی شده است و هدف آن تعیین محتمل-ترین مسیر حرکت موشک به سمت مقصد با توجه به مراکز نظامی و پایگاه‌های رادار و پدافند هوایی بین راه مبدا و مقصد می‌باشد. عوامل متعددی تعیین کننده نحوه تعیین مسیر احتمالی حرکت موشک می‌باشند که مهم‌ترین آنها عبارتند از:

دقت مسطحاتی مسیریابی در موشک

دقت ارتفاعی مسیریابی در موشک

مشخصات فنی موشک از قبیل میزان حداکثر زاویه پیچش موشک (Turn Angle)

Turn Rate
Turn Radius
Velocity for Turn

رنج تغییرات ارتفاعی در موشک

موقعیت پایگاه‌های پدافند هوایی

پوشش رادار

توپوگرافی زمین

الگوریتم مسیریابی در موشک

بر این اساس معلومات ما در اینجا عبارتند از:

دقت ارتفاعی: ۱۰ سانتی متر

دقت مسطحاتی : ۲۰ × ۱۰ متر

برد رادار : ۱۲۰ کیلومتر

حداقل و حداکثر ارتفاع: ۱۰۰- ۱۰ متر

Turn Angle=73 deg
Turn Rate = 9 deg/sec
Turn Radius = 1400 m
Velocity for Turn = 0.65 mach

برد موشک ۱۱۰۰ کیلومتر

در موشک‌های کروز بررسی شده در این تحقیق هم عوامل مسطحاتی و هم عوامل ارتفاعی بصورت توامان کنترل می‌گردد. لذا در این موشک‌ها برای کنترل عوامل مسطحاتی و ارتفاعی می‌بایست اطلاعات مربوط به این عوامل با توجه به مشخصات فنی موشک‌های کروز در این موشک‌ها موجود باشد. این اطلاعات می‌بایست با مقیاس کاربردی موشک و بر اساس دقت‌های مربوطه هماهنگی لازم را دارا باشد. هدف اولیه بررسی اطلاعات فضایی موجود کشور و انطباق با نیازمندی‌های مکانیابی و مسیر یابی موشک کروز می‌باشد.

۱-۱- تولید نقشه‌های (DEM)[1] مورد نیازپروژه

از آنجا که در ناوبری TAN مسئله اصلی، احتیاج زیربنایی به تولید نقشه‌های دیجیتالی می‌باشد لذا جهت آماده‌سازی و تبدیل نقشه های کاغذی و تصاویر ماهواره‌ای مناطق مورد نظر، به داده ها و اطلاعات قابل تحلیل جهت استفاده در سامانه های GIS و RS و به دست آوردن نقشه DEM اقدامات و عملیات‌هایی به شرح ذیل انجام پذیرفت:

اسکن و ذخیره نقشه های توپوگرافی

عملیات رقومی کردن نقشه‌ها

عملیات موزاییک کردن نقشه‌ها

عملیات بر روی تصاویر ماهواره‌ای

تهیه مدل رقومی ارتفاعی منطقه DEM

الگوریتم‌های مورد نیاز جهت شبیه‌سازی سیستم

بدیهی است طرح یک مسئله با در نظر گرفتن تمامی محدودیت‌ها، پارامترها منجر به یک مسئله پیچیده می‌شود که به منظور حل آن ناگزیر از ساده‌سازی هستیم. یکی از راهکارهای کاهش پیچیدکی مسئله، تقسیم آن به دو بخش است. در گام اول نقشه هزینه بر اساس منطقه شلیک تا منطقه هدف با یک روش اتوماتیک بدست می‌آید. در محاسبه این نقشه هزینه نیز قابلیت موشک و سایر محدودیت‌ها در نظر گرفته می‌شود. سپس با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی و از آنجا که موشک بایستی از نقاط ناامن فاصله داشته باشد، مسیر حرکت موشک تعیین می‌شود. در تعیین خودکار مسیر از الگوریتم دیکسترا به منظور یافتن مسیری که حداقل هزینه را داشته باشد استفاده می‌شود.(زردشتی ،باقریان، ۱۳۸۸)

مدل داده مورد استفاده در این پروژه رستر می باشد و لذا کلیه اطلاعات موجود باید تبدیل به رستر شده و به نقشه های ارزشی یا Cost Map تبدیل گردند. برای این منظور ابتدا باید کلیه اطلاعات موجود و موثر در مکانیابی تبدیل به نقشه‌های رستر شود. در این روش ارزش گذاری، هزینه مورد نیاز جهت رسیدن از تمامی نقاط منطقه به یک نقطه خاص محاسبه شده و بنوعی نقشه ارزش (Cost Map) مناسب با این نقطه بدست خواهد آمد.

---

[1]. Digital Elevation Model (مدل ارتفاعی رقومی زمین)

طراحی

در این مقاله یک مدل جدید جهت مسئله تعیین مسیر معرفی شده است که بر اساس یک ساختار گراف و داده های ارتفاعی عوارض زمین DEM بنیان نهاده شده است. شبیه سازی-های بعمل آمده کارایی و توانایی این روش را برای ایجاد مسیر بهینه اثبات می‌کند.

از آنجا که روش‌های جستجوی گراف ابزار استانداردی برای مسائل کوتاه‌ترین مسیرها می-باشد (زردشتی، باقریان، ۱۳۸۸) لذا در این بخش با استفاده از یک الگوی تقریبی مبتنی بر گراف این مسئله را به یک مسئله تحقیقاتی در یک گراف محدود تبدیل نمودیم.

با استفاده از نقشه DEM و اطلاعات سه بعدی عوارض زمین، مسیر پروازی سه بعدی موشک کروز از نقطه آغاز پرتاب تا هدف را با به دست آوردن تابع هزینه و در نظر گرفتن پارامترها و محدودیت‌های حرکتی موشک کروز محاسبه نموده و یک مدل گراف مبتنی بر داده‌های دیجیتالی ارتفاع از سطح زمین (DEM) را ایجاد کردیم. تابع هزینه را بر اساس ارتفاع هر سلول محاسبه نمودیم. سپس از الگوریتم دیکسترا جهت مشخص کردن مسیر و یافتن کم هزینه‌ترین مسیر از نقطه ابتدایی داده شده روی این گراف تا نقطه مقصد استفاده نمودیم. ما موشک را به مانند یک نقطه در فضای سه بعدی مورد بررسی قرار داده و سرعت موشک $V(t)$ را ثابت در نظر گرفته‌ایم.

جهت بکارگیری الگوریتم دیکسترا نقشه رقومی بصورت یک گراف وزن‌دار در نظر گرفته می‌شود، پیکسل‌های روی نقشه به همراه نقاط ارتفاعی، گره‌های گراف و بین هر پیکسل با پیکسل مجاور یک یال در نظر گرفته می‌شود، وزن یال‌های گراف مساوی با هزینه حرکت از هر پیکسل به پیکسل مجاوردر نظر گرفته می‌شود. این الگوریتم در هر بار اجرای خود بهترین گره جهت رسیدن به گره مقصد را انتخاب کرده و این کار را تا زمان رسیدن به گره مقصد ادامه می دهد.اگر چه این الگوریتم پیچیدگی زمانی از $O(n2)$ دارد (n تعداد نواحی) اما به دلیل اینکه n عدد خیلی بزرگی نیست، مشکلی را ایجاد نخواهد کرد.

از آنجا که عملکرد موشک، تابع محدودیت‌های فیزیکی است که روی قابلیت مانور آن تاثیر می‌گذارد لذا پارامترهای مهم کارایی موشک مورد بحث قرار گرفته و به منظور تعیین محدودیت‌های موشک میزان صعود و میزان تغییر زاویه آن نیز مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مصرف سوخت به طور تقریبی متناسب با زمان پرش است و در پژوهش ما، این مسئله مورد بررسی قرار گرفته است. به دلیل آنکه ما سرعت اولیه موشک را ثابت فرض شده است، (حداقل کردن مدت پرش معادل است با حداقل کردن طول مسیر پرش)؛

کوتاهترین مسیر محدود شده یا همان مسیر بهینه مد نظر محققین می‌باشد و در این خصوص نقاط مختلف مورد توجه قرار گرفته است تا قابلیت های عملکرد به منظور ایجاد مسیرهای قابل قبول مورد بازبینی قرار گیرد بنابراین این الگوریتم به صورت بالقوه برای استفاده در سیستم های آنلاین مناسب می باشد.این رویکرد شدیداً مبتنی بر هزینه نقشه-ای است که باید ایجاد گردیده و ذخیره شود و تولید نقشه هزینه یک کار بسیار زمان بر می‌باشد.

در این مقاله از یک DEM که شامل یک شبکه M×N است به عنوان ورودی الگوریتم برنامه‌ریزی مسیر استفاده شده است. هر نقطه شبکه به شکل (x,y,z) موقعیت مختصاتی را با توجه به پیش تعریفهای چهارچوب مرجع اینرسیال نشان می‌دهد. یک ساختار شبکه جریانی بر اساس شبکه DEM ایجاد شده است. به هر نقطه از شبکه به صورت یک گره اشاره می گردد.

نقشه هزینه

طرح تعیین مسیر بهینه و یا نزدیک به بهینه بین نقطه شروع و هدف در یک محیط از پیش تعیین شده با توجه به یک سری محدودیتها و خواسته های عملیاتی میباشد

همانطور که دیدیم پارامترهای مختلفی در حرکت یک موشک کروز تأثیرگذار می‌باشند که ارتفاعات منطقه، اختلاف ارتفاعات که مبین شیب منطقه می‌باشد، حداقل و حداکثر ارتفاع پرواز، حداکثر زاویه چرخش، ماکسیمم طول مسیر، اجتناب از موانع نمونه‌هایی از این پارامترها خواهند بود. یکی از قسمتهای اصلی این پروژه تعیین این پارامترها و روش تعیین نقشه هزینه خواهد بود که تمامی پارامترها در آن نقش خواهند داشت.

پس از ایجاد مدل ارتفاعی رقومی زمین DEM و با استفاده از آن میتوان نقشه هزینه را محاسبه نمود.در این نقشه هزینه حرکت به هرکدام از سلولهای مجاور به دست می آید و برای هر سلول از یک مدل هشت جهته استفاده می شود تا جهت حرکت از هر سلول مشخص شود.

تابع هزینه مورد استفاده، کوتاهترین طول وزن‌دار (یا مجموع هزینه‌های سیر از نقطه مبدأ به هر سلول از اطلاعات) را از هر سلول از اطلاعات با سلولهای مجاور محاسبه می‌کند.

جهت تولید این نقشه در اصل از روش «اتصال»/«گره» (Node/Link) استفاده می‌شود. در روش «اتصال»/«گره» مرکز هریک از سلول‌های تصویر بعنوان گره بوده و هرگره با استفاده

از یک اتصال به گره مجاور خود متصل خواهد گردید. هر اتصال حاوی یک مقدار عددی بعنوان مقاومت (impedance) می‌باشد، که این مقاومت در اصل مبین میزان مقاومت یا هزینه این اتصال جهت جابجایی یک موجودیت خاص از یک سلول به سلول مجاور می‌باشد. میزان این مقاومت با استفاده از جهت حرکت و میزان هزینه‌های مرتبط با گره‌هایی می‌باشد که دو سر اتصال به آنها منتهی می‌شود. مقدار عددی که به هریک از سلول‌های نقشه هزینه نسبت داده شده است در اصل مبین هزینه‌ای است که متحرک جهت جابجایی در داخل این سلول صرف خواهد نمود. بنابراین هزینه کامل جهت حرکت در داخل یک سلول از نقشه حاصلضرب میزان هزینه نسبت داده شده به سلول در ابعاد سلول خواهد بود. میزان هزینه مورد نیاز جهت عبور متحرک از هر سلول از رابطه زیر بدست خواهد آمد:

۱) هزینه اختصاص یافته به سلول * ابعادسلول=costpercell

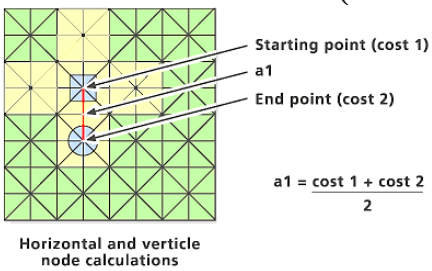
البته با توجه به اینکه ابعاد تمامی سلول‌های یک شبکه رستری با هم برابر می‌باشد، لذا می‌توان این محاسبات را بازای تک‌تک سلول‌های نقشه محاسبه نموده و این مقادیر را بصورت کلی به سلول‌های مزبور نسبت داد.

محاسبه هزینه انتقال مابین دو سلول مجاور از نقشه

با توجه به شکل زیر، در امتدادهای افقی و عمودی هزینه جابجای متحرک از یک سلول به سلول مجاور با استفاده از فرمول زیر مشخص خواهد گردید:

شکل۴) هزینه جابجایی یک سلول به سلول مجاور

$$a1 = (cost1 + cost2) / 2 \qquad (2$$



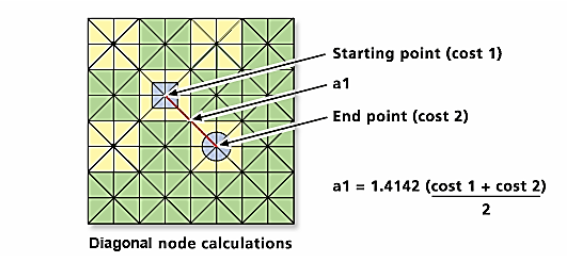
همچنین با توجه به شکل زیر، در امتداد قطرها هزینه جابجایی متحرک از یک سلول به سلول مجاور از رابطه زیر بدست خواهد آمد:

$$a1 = 1.414214\ (cost1 + cost2) / 2 \qquad (3)$$

هر وقت حرکت مورب باشد، هزینه حرکت پایانی لینک به صورت (ریشه دوم دو) و یا ۱.۴۱۴۲۱۴ برابر هزینه سلول ۱ به علاوه هزینه سلول ۲ ، تقسیم بر دو محاسبه می‌شود.

هزینه گذر از اتصال a1 هزینه سلول انتها و cost 2 مبین هزینه سلول ابتدا، cost 1که در این روابط، ارتباط دهنده سلول ابتدا به سلول انتها می‌باشد.

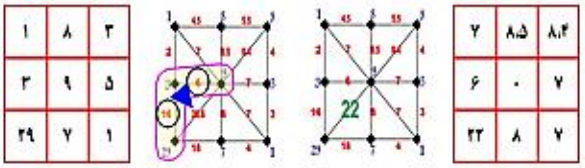
شکل ۵) هزینه جابجایی یک سلول به سلول مجاور



با توجه به اینکه الگوریتم یافتن کم‌هزینه‌ترین مسیر در یک نقشه بزرگ وابستگی بسیاری با یافتن کم‌هزینه‌ترین مسیر در یک شبکه سلولی ۳×۳ دارد، لذا ابتدا الگوریتم یافتن کم‌هزینه‌ترین مسیر در یک شبکه سلولی ۳×۳ مورد بررسی قرار می‌گیرد.

با توجه به اشکال زیر، ابتدا شبکه سلولی مورد نظر (شکل سمت چپ) به حالت نمایشی اتصال/گره تبدیل شده و با توجه به مقادیر هزینه هریک از سلول‌های این شبکه، هزینه تمامی اتصال های مجاور با سلول میانی محاسبه می‌شود (شکل وسط- چپ). سپس با استفاده از الگوریتم دیکسترا (Dijkstra) که یک الگوریتم شناخته شده در محاسبات کوتاه-ترین مسیر می‌باشد، هزینه تمامی اتصال‌ها بازبینی شده و درصورت نیاز، هزینه مربوط به آنها تصحیح می‌شود (شکل وسط- راست). نهایتاً با توجه به مقادیر تصحیح شده، یک شبکه سلولی ۳×۳ جدید که مقدار میانی آن صفر بوده و مقادیر مربوط به سلول‌های مجاور با استفاده از هزینه اتصال‌های مرتبط با سلول میانی جایگزین شده است بدست خواهد آمد (شکل سمت راست).

شکل ۶) از چپ به راست شبکه سلولی , حالت نمایشی اتصال/گره تبدیل شده , هزینه تمامی اتصال های مجاور با سلول میانی و هزینه تمامی اتصال ها با استفاده از الگوریتم دیکسترا (Dijkstra)



با توجه به شکل بالا مشاهده می‌شود که هزینه گذار از سلول سطر سوم و ستون اول به صورت مستقیم به سلول میانی معادل ۲۶.۶ می‌باشد. لیکن در صورتیکه ابتدا به سلول سطر دوم و ستون اول حرکت کرده و سپس به سلول میانی حرکت نماید مجموع هزینه‌های گذار از سلول مذکور به سلول میانی معادل ۲۲ (۶+۱۶) خواهد شد که این هزینه کمتر از هزینه گذار بصورت مستقیم می‌باشد. لذا هزینه مذکور بروز رسانی شده، و در نقشه هزینه نهایی نمایش داده می‌شود.

نقشه هزینه تجمعی (accumulative cost)

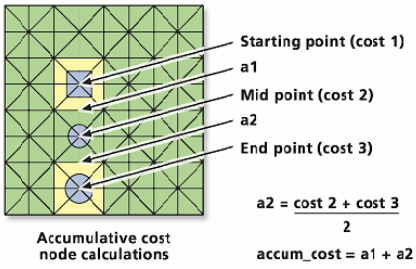
با توجه به مطالب گذشته مشخص شد که جهت گذر از یک سلول و رسیدن به سلول مجاور چگونه عمل می‌شود. ولی اگر بخواهیم از یک سلول به سلول دیگر که در مجاورت سلول مبدأ نمی‌باشد، حرکت کنیم نحوه کار چگونه است.

هزینه های تجمیع توسط فرمول زیر تعیین می شود :

$$accum_cost = a1 + (cost2 + cost3) / 2 \quad (4)$$

accum_cost هزینه‌های جمع شونده حرکت از سلول ۱ (سلول ابتدا) به سلول ۳ (سلول انتها) است. با توجه به شکل زیر این موضوع نمایش داده می‌شود.

شکل ۷) هزینه گذار از مبدا تا مقصد

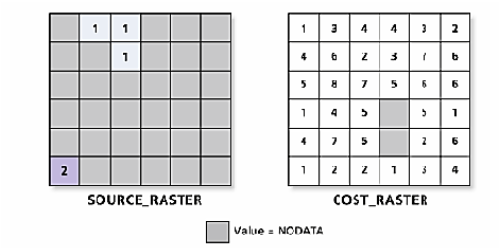


این بدان معنی است که هزینه گذر از سلول‌های متوالی متصل جهت رسیدن به یکی از مبادی مشخص شده در نقشه مبادی، معادل مجموع هزینه‌های اتصال‌های مربوطه خواهد بود. در تعیین هزینه‌های تجمیع برای حرکت مورب، فرمول زیر باید استفاده شود:

accum_cost = a ۱+ ۱.۴۱۴۲۱۴(cost ۲+ cost۳) / ۲ (5)

تا این مرحله بصورت کلی نحوه گذر از تعدادی از سلولهای یک نقشه هزینه تجمعی تبیین گردید. در این مرحله نحوه محاسبه میزان کمترین هزینه یک متحرک جهت رسیدن به یکی از مبادی نقشه یا بصورت کلی نقشه طول هزینه‌ای مشخص خواهد گردید. به این منظور باید از نقشه‌ای استفاده شود که به آن نقشه «طول هزینه‌ای تجمعی[1]» گفته می‌شود. با استفاده از یک مثال ساده روش و فرآیند تولید نقشه مزبور ارائه می‌گردد. به این منظور دو نقشه «مبادی» و «هزینه» زیر مورد استفاده قرار گرفته و روش کار بصورت مرحله به مرحله تبیین می‌شود.

شکل ۸) نقشه مبادی

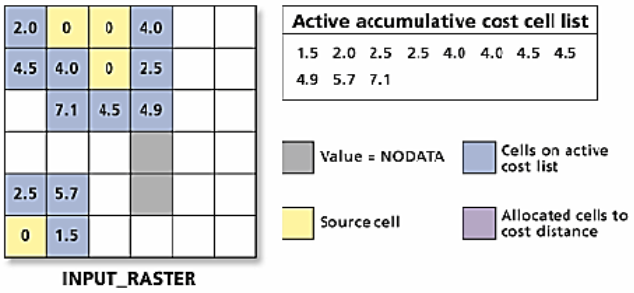


مشخص شده است، شامل دو SOURCE_RASTERبا توجه به شکل بالا، نقشه مبادی که با عنوان مشخص شده‌اند. همچنین نقشه هزینه با NODATAمحدوده ۱ و ۲ بوده و باقی سلول‌های نقشه با مقدار NODATA مشخص شده است که دو سلول آن فاقد مقدار خاص بوده و با COST_RASTERعنوان مشخص شده است. لذا برای شروع به کار و آغاز فرآیند، یک رستر با ابعاد سلولی نقشه هزینه یا نقشه مبادی ایجاد می‌شود. (با توجه به شرایط قابل تنظیم بوده و در این مثال ابعاد هر دو نقشه یکسان است) و لذا با این تفاسیر مراحل تکرار بصورت زیر انجام خواهد شد:

در اولین تکرار، سلول‌های متناظر با مبادی ۱ و ۲ مقداردهی می‌شوند. با توجه به اینکه هزینه حرکت از یک سلول به خود آن سلول شامل هیچ هزینه‌ای نخواهد بود، لذا میزان هزینه گذر از این سلول‌ها صفر خواهد بود.

[1]. accumulative cost-distance

شکل۹) محاسبه نقشه هزینه

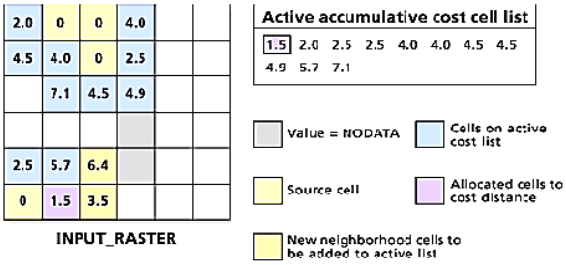


در مرحله دوم، سلول‌های همسایه سلول‌های مقدار دهی شده فعال شده و اتصال بین این سلول‌ها با توجه به الگوریتم کمترین هزینه که در قسمت‌های قبل توضیح داده شد، مقدار دهی می‌شوند. با توجه به اینکه این سلول‌ها بصورت مستقیم به سلول‌های مبدأ متصل می‌باشند، لذا می‌توان این مقادیر را در نقشه هزینه تجمعی و در سلول مربوطه ثبت نمود. زیرا ارتباط این سلول‌ها با سلول مبدأ برقرار بوده و می‌توان کمترین هزینه از این نقاط تا سلول‌های مبدأ را محاسبه نمود. همچنین جهت ادامه محاسبات یک لیست با عنوان «لیست سلول‌های هزینه تجمعی فعال»[1] ایجاد شده و مقادیر هزینه‌های تجمعی سلول‌های این مرحله به ترتیب صعودی در آن ثبت می‌شود. (شکل زیر)

در این مرحله با توجه به لیست فوق سلول مرتبط با کمترین هزینه را انتخاب نموده و مقدار آن در سلول متناظر در نقشه طول هزینه‌ای ثبت می‌شود. سپس سلول‌های همسایه این سلول در نقشه مبادی انتخاب می‌شوند. زیرا این سلولها می‌توانند به واسطه سلولهای لیست فوق به سلول‌های مبدأ متصل شوند. لذا باید توجه داشت که تنها سلول‌هایی می‌توانند انتخاب شوند که شرط مذکور را داشته باشند. سپس هزینه این سلول‌ها جهت رسیدن به مبدأ بصورت تجمعی محاسبه شده و این مقادیر در لیست سلول‌های هزینه تجمعی فعال قرار داده شده و مجدداً با ترتیب سعودی مرتب می‌شوند.

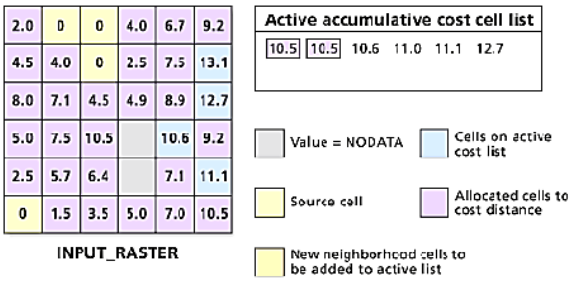
[1] . active accumulative cost cell list

شکل ۱۰) ترتیب سعودی سلول‌های هزینه تجمعی فعال



مجدداً از لیست مذکور، سلول متناظر با کمترین هزینه انتخاب شده و مراحل قبل مجدداً تکرار می‌شود.

شکل ۱۱) محاسبه نقشه هزینه



در صورت وجود محدوده‌های متعدد، یا مجموعه‌ای از سلول‌های منفصل بعنوان مبادی در نقشه اولیه، بدون توجه به مبدأ اولیه، این پروسه‌های تکراری افزایش یابنده ادامه یافته و گام به گام مسیرهایی با کمترین هزینه محاسبه شده و در لیست سلول‌های هزینه تجمعی بروز رسانی می‌شود. نهایتاً پس از آنکه گسترش سلول‌های نقشه کامل گردید، تمامی سلول‌های موجود در لیست سلول‌های هزینه تجمعی بروزرسانی شده و به تمامی سلول‌های مجاز در نقشه طول هزینه‌ای مقدار داده خواهدشد

شکل ۱۱) نقشه هزینه نهایی

2.0	0	0	4.0	6.7	9.2
4.5	4.0	0	2.5	7.5	13.1
8.0	7.1	4.5	4.9	8.9	12.7
5.0	7.5	10.5		10.6	9.2
2.5	5.7	6.4		7.1	11.1
0	1.5	3.5	5.0	7.0	10.5

Cost distance output raster

هنگامی که تمامی سلول‌های لیست سلول‌های هزینه تجمعی پردازش شود، محصول نهایی بدست آمده نقشه هزینه تجمعی و یا نقشه فاصله وزن‌دار خواهد بود. با توجه به مراحل اشاره شده در این الگوریتم، نقشه‌ای که بدست آمده است، رسیدن به یکی از مبادی را بازای هر سلول موجود برروی نقشه، با کمترین هزینه ممکن میسر می‌سازد. به این منظور با انتخاب یک نقطه بعنوان مقصد، کم‌هزینه‌ترین سلول مجاور در نظر گرفته شده و این امر تا زمانی‌که به یکی از مبادی و یا مرز نقشه برسیم ادامه داشته و با اتصال این سلول‌های متوالی، کم‌هزینه‌ترین مسیر مشخص می‌شود. به این ترتیب الگوریتم و روش محاسبه طول هزینه‌ای مشخص گردید. لذا بطور خلاصه می‌توان گفت که ورودی‌های موردنیاز نقشه هزینه و نقشه مبادی و خروجی‌های این پردازش را نقشه طول هزینه‌ای و نقشه اتصالات قبلی برشمرد. نهایتاً جهت یافتن کم‌هزینه‌ترین مسیر از یک نقطه یا نقاط مشخص به مبادی موجود، با استفاده از این نقشه‌ها، اقدام نمود.

اعمال محدودیت‌ها

از آنجا که موشک‌ها محدود شده‌اند تا در ارتفاعات پایین پرواز کنند تا از تهدیدات دور مانده و با استفاده از عوارض زمین خود را پوشش دهند. برای این منظور کافی است که مراحل زیر را انجام دهیم. اول با توجه به حداکثر سقف پروازی موشک یک آستانه برای حداکثر ارتفاع پرواز آن تعیین می‌شود. سپس هنگام محاسبه برچسب‌های نقشه هزینه، کلیه سلول‌ها و نودهایی که مقادیر آنها در نقشه بزرگتر از عدد آستانه باشد حذف می‌گردند. بدین ترتیب این نودها در محاسبه نقشه هزینه نیامده و مسیر بدست آمده عملا از نواحی دارای ارتفاع بیشتر از ارزش آستانه عبور نمی‌کند. و چون نقشه هزینه بر اساس ارتفاع نقاط

بدست می‌آید در نتیجه عبور از نقاط دارای کمترین هزینه در واقع به معنای عبور از نقاط و مناطق پست با کمترین ارتفاع می‌باشد و این دقیقا کاریست که موشک انجام می‌دهد.

یافته‌ها

نرم افزار تولید شده

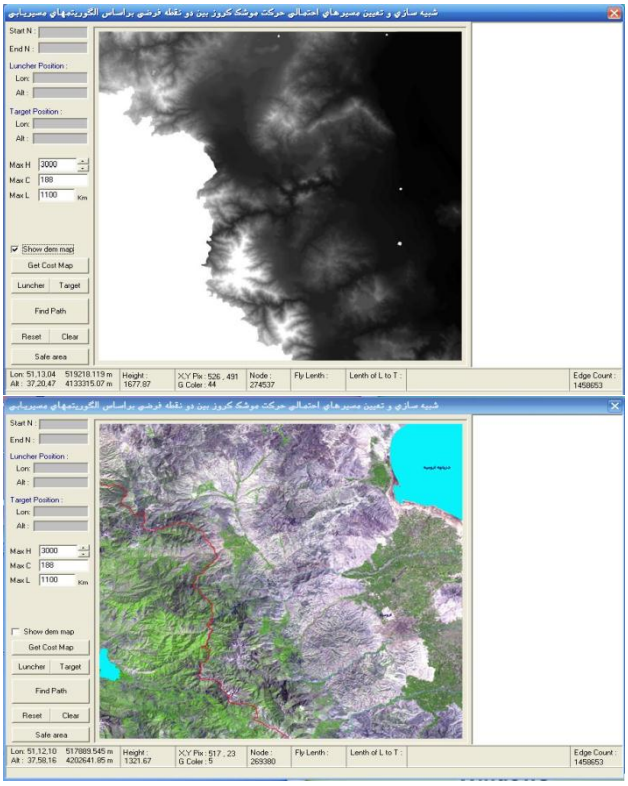
در این تحقیق فرض شده است در صورتیکه مبدا اولیه پرتاب موشک به سمت هدف(شهر ارومیه) با استفاده از یک سیستم اطلاعاتی از قبیل رادار یا سنجنده حرارتی و صوتی شناسایی گردد، محتمل ترین مسیر حرکت موشک از کدام مسیر است و در واقع هدف آن تعیین بهترین مسیر حرکت موشک به سمت مقصد با توجه به مراکز نظامی و پایگاههای رادار و پدافند هوایی بین راه مبدا و مقصد می باشد. بر اساس این اطلاعات می توان نسبت به برنامه‌ریزی مناسب برای پدافند از نقطه هدف اقدام نمود. در اینجا نقطه فرضی مستقر در شمال غرب (مرز مشترک ایران و ترکیه) به عنوان نقاط مبنا و محل اولیه پرتاب انتخاب گردیده است.

در این راستا و جهت تولید نقشه عملیاتی مورد نیاز ابتدا محدوده مورد مطالعه و اطراف آنرا از نقشه های ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی با استفاده از نرم افزار AutoCAD رقومی کرده و سپس خطوط ارتفاعی آن تفکیک گردیده اند. بدین ترتیب فایل رقومی ارتفاعی منطقه به همراه دیگر لایه ها تهیه گردید و در مرحله بعد فایل رقومی تهیه شده را که ماهیت بردار (Vector) دارد به کمک نرم افزار به ساختار رستری[۱] تبدیل می کنیم.

از فایل مزبور میتوان مدل رقومی (DEM) را تهیه نمود که در آن رنگهای روشن نشان دهنده ارتفاع بیشتر و رنگهای تیره تر نشان دهنده ارتفاع کمتر است و هر سلول دارای ارتفاع معین است. از شبکه نقاط تهیه شده و مدل رقومی ارتفاعی منطقه در نرم افزارهای GIS میتوان عدد ارتفاع را به هر یک از نقاط شبکه تخصیص داد، سپس مختصات X و Y و رقوم ارتفاعی Z این نقاط را استخراج کرد بدین ترتیب برای هر یک از نقاط شبکه با مختصات معلوم Xو Y، مقدار ارتفاعی Z مشخص می گردد.

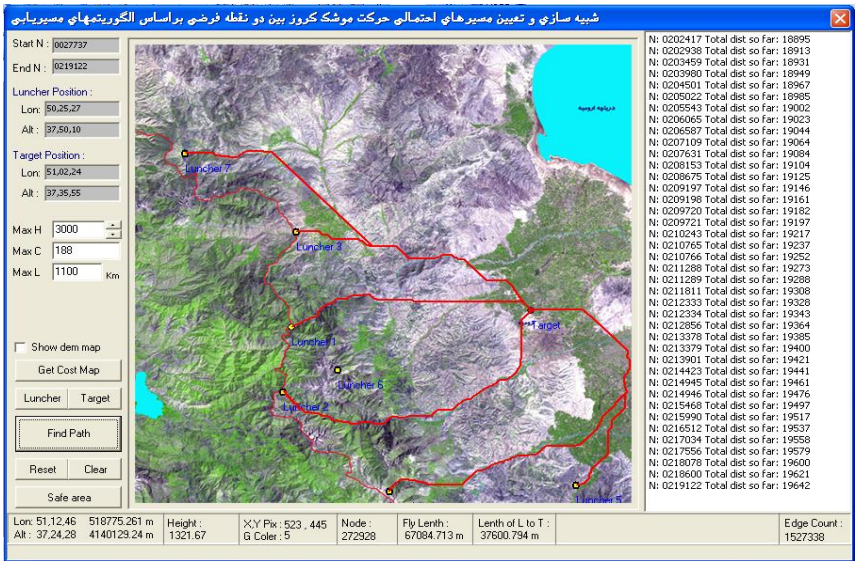
۱- Raster نوعی فرمت داده که شامل Pixelهاي اطلاعاتی می باشد

شکل ۱۳)نقشه ماهواره ای و مدل رقومی ارتفاع زمین (DEM) یکی از مناطق شمالغرب کشور که با استفاده از نقشه های ۵۰۰۰۰: ۱ تولید شده است.



حال با توجه به مطالب بالا، می‌توان با تعیین یکسری از نقاط دیگر، (که می‌توان آنها را نقاط ورود موشک‌های کروز به سمت محدوده‌های حساس در نظر گرفت)، کوتاهترین مسیر دسترسی از این نقاط به مناطق حساس بصورت ذیل محاسبه شده و بصورت زیر در اختیار کاربران قرار خواهد گرفت.

شکل ۱۴) مسیرهای فرضی حرکت موشک کروز از مرز ترکیه تا شهر ارومیه



اصلاح مسیرهای احتمالی با لحاظ نمودن تهدیدات و موانع موجود

مسائل مسیر یابی زیادی، وجود دارد که مشکل آن یافتن مسیرهایی است، که نسبت به موانع دور باشد. هدف از این بخش ارائه مدلی برای تعیین کوتاهترین مسیر حرکت موشک است که کمترین هزینه کل را داشته و از مناطق مشخصی، مانند شهرها، فرودگاه‌ها، اماکن نظامی و... که به هر دلیل موشک نباید از آنها عبور نماید، دور باشد .

در این روش ابتدا منطقه مورد نظر مورد ارزیابی قرار گرفته و نقاطی که به علت خطرات جغرافیای یا نظامی یا محدودیت‌های دینامیک، موشک نباید از آن نقاط عبور نماید مشخص شده و با مدلسازی آنها و تعریف این محدوده به عنوان شرایط و محدودیت‌های تابع اصلی، مدل را کامل می‌کنیم.

در این خصوص یک الگوریتم ابتکاری برای مسئله یافتن یک مسیر مرکب از خطوط متقاطع از یک مبدا مشخص تا یک مقصد معین با وجود موانع گوشه ای ارائه شده است که ایده اصلی شامل ایجاد مثلث‌های محاط بر اطراف موانع است . الگوریتم ابتکاری مسیرهای ترکیبی از خطوط متقاطع را که با بخشی از لبه های این مثلث‌های محاط شده مطابقت دارد، بررسی کرده و از یک روش ساده انشعاب و تهدید برای یافتن مسیری که به نسبت

کوتاهترین مسیر است ، استفاده می کند . (Solka, J., J. Perry, B. Poellinger, and G. Rogers،1995)

اولین مسئله تولید یک مسیر برای یک موشک کروز است. این مسئله به شدت با مسئله کوتاهترین مسیر بین دو نقطه معین در میان یک مجموعه ای از موانع چندضلعی گسسته در ارتباط است (O'Rourke, J 1994; Liu, Y.H. and S. Arimoto1994) که می توان از طریق بدست آوردن کوتاهترین مسیر در گراف مرئی مربوطه حل شود به هر حال ، برخی از موانع در مسئله ما، مناطق تهدیدآمیز مرتبط با پوشش راداری هستند که بطور کل به صورت مناطق دایره ای نشان داده شده اند و نه به صورت شکلهای چند ضلعی.

از آنجایی که یک موشک در زمینه تغییر زاویه ناگهانی با محدودیت روبروست لذا می بایست محدودیت‌هایی را در اندازه زاویه بین تقاطع‌های یک مسیر به اجرا در آورد، بنابراین رویکرد گراف مرئی بجز از طریق تخمین و تقریب به نظر نمی رسد به طور مستقیم قابل اجرا باشد. همچنین یک گراف مرئی با $O(n^2)$ که n تعداد رئوس چندضلعی است. (Welzl, E198.) یا به صورت $\Theta(m + n \log n)$ نشان داده می شود که m تعداد یالهای گراف مرئی است (Ghosh, S. and D. Mount. 1987)

تلاش اولیه ما در این جهت ، طرح ریزی یک شبکه و از بین بردن ارتباطاتی که نواحی تهدید آمیـز دایره ای از آن عبور کرده به منظور پیدا کردن کوتاهترین مسیر شبکه ای بین موشک و هدف است(Helgason, R.; J. Kennington, ; B. Stewart. 1993)

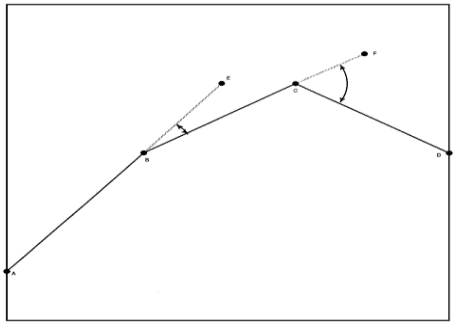
در این تحقیق ، نواحی تهدیدآمیز به صورت مجموعه ای از چندضلعی های محدب یا نواحی دایره ای مدلسازی شده اند ، طرح ماموریت از مجموعه ای از خطوط متقاطع تهیه شده است و خطوط متقاطع همجوار در حداکثر زاویه چرخش دارای محدودیت هستند. مسیر نشان داده شده در شکل زیر از سه خط متقاطع (AB , BC , CD) و دو ایستگاه هوایی (C و B) تشکیل شده است . تغییر زاویه بوسیله $\hat{EBC}$ و $\hat{FCD}$ نشان داده شده است .

دو نقطه $M,T \in R^2$ محدودیت تغییر زاویه λ و K مجموعه های محدب R1 , . . . ، Rk

داده شده یک مجموعه از خطوط متقاطع [y1, y2] , [y2, y3] , . . . , [ys, ys+1]

با y1 =M و ys+1 = T باید یافت به طوریکه هیچ خط متقاطعی از مجموعه های محدب R1,…, Rk عبور نکند ، و هیچ تغییر زاویه ای بیشتر از λ نمی باشد.

شکل ۱۵) نمایش تغییرات زاویه ها

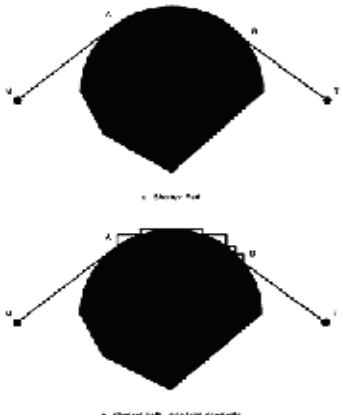


مجموعه r را برابر (M , T , λ , R1,..., Rκ) قرار داده‌ایم یا به زبان ساده تر r نشانه مجموعه ای از مسیرهای امکان پذیر برای یک موشک است.

توجه داشته باشید که اگر $r \neq \Phi$ است پس تعدادی از مسیرهای بیکران (بی پایانی) در r وجود دارد اگر ما توانستیم تابع هدف را برای طراحی مسیر بیابیم (f(y) برای $y \in r$) آنگاه ما یک مسئله بهینه سازی که خوب تعریف شده است ، خواهیم داشت. برای مسئله نشان داده شده در شکل ۱۶، کوتاهترین مسیر از M تا T که از قسمتهای تهدید آمیز عبور نمی کند خط متقاطع MA ، کمان AB و خط BT است

برآورد این مسیر با خطوط متقاطع ، به صورت نشان داده شده در شکل ۲(b) ، منتج به تعداد زیادی تقاطع می شود.

شکل ۱۶) یک موشک با یک تهدید



a. کوتاهترین مسیر.

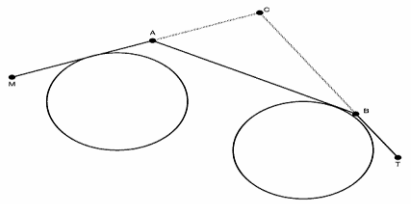
b. کوتاهترین مسیر با استفاده ازخطوط متقاطع.

طراحان ماموریت هیچ علاقه‌ای به طرح‌های از نوع نشان داده شده در شکل (b) ۱۶ ندارند، برای مسئله نشان داده شده در شکل ۱۶، یک حل دوتقاطعی بوسیله MC و CT داده شده ، حل سه تقاطع MA و AB و BT کوتاهتر است.

بیشترین تحقیقات در زمینه طراحی مسیر بوسیله گماردن یک شبکه بندی برفراز تهدیدات قبلی و بکارگیری الگوریتم اصلاح شده دیکسترا به منظور بدست آوردن مسیر ایمن از مبدا تا مقصد ، انجام شده است (Dijkstra, E1959)(Boroujerdi, A., C. Dong, Q. Ma, and Solka, J., J.)(Helgason, R., J. Kennington, and K. Lewis1996)(B. Moret. 1993 Solka, J., J. Perry, B. Poellinger,)(Perry, B. Poellinger, and G. Rogers1995a Zuniga, M., J.)(Zuniga, M. and P. Gorman1995)(and G. Rogers1995b (Uhlmann, and J. Hofmann1995

هدف ما پیدا کردن ماموریت‌های (مسیرهای) کوتاه ممکن فقط با تعداد کمی تقاطع است. ما براین باوریم که یک طرح مسیر می‌تواند به یک نمایشگر بصری مسیر نگاه کند و نتیجه بگیرد که آیا این طرح خوب است یا نه؛ بنابراین ما به دنبال الگوریتم‌هایی هستیم که مسیرهای ممکن با سه کاراکتر اساسی: یک مجموعه مسافت کوتاه، یک تعداد کم تقاطع و تغییر زاویه با محدودیتهای قابل قبول ، را پیدا کند.

شکل ۱۷) یک موشک با دو تهدید



در مسیریابی این پروژه از لایه های اطلاعاتی ذیل جهت مشخص نمودن موانع موجود در مسیر حرکت استفاده شده است:

نواحی اطراف فرودگاهها به شعاع ۱۰ کیلومتر

نواحی اطراف مراکز استانی به شعاع ۲۰ کیلومتر

ارزش گذاری لایه های اطلاعاتی در این پروژه مبنای علمی نداشته و برای ارزش گذاری واقعی می بایست مطالعات مربوطه انجام گیرد. در این پروژه فقط جهت اجتناب از عبور موشک از این مناطق ارزش های فوق به سیستم اعمال گردید.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق ما سیستمی را طراحی و شبیه سازی کردیم که با استفاده از عوارض ارتفاعی زمین به تعیین محتمل ترین مسیر حرکت موشک کروز بین دو نقطه فرضی میپردازد.بدین منظور از روش الگوریتم دیکسترا برای حل مسئله مسیر یابی بهینه ناوبری موشک استفاده شد، در این روش کلیه عوامل موثر در مکانیابی مسیر حرکت موشک از طریق نقشه های مختلف جمع آوری شده و با یکدیگر بصورت جبری جمع گردید در این مقاله تابع هزینه چند منظوره تحت قیود پروازی غیر خطی مختلف موشک در نظر گرفته و محاسبه شد. بعلاوه مسئله اجتناب از برخورد با عوارض و عبور از مناطق ممنوعه بصورت یک الگوریتم ابتکاری در قیود مسئله گنجانده شده است. همانگونه که در نتایج نشان داده شد تست برنامه تحت سناریوها و عوارض واقعی مختلف بخوبی کارایی این روش را در تعیین مسیر موشک از آغاز تا مقصد بصورت موثر و در زمان مناسب به اثبات میرساند.مشاهده شد که تولید نقشه هزینه خیلی زمانبر , وقت گیر و سنگین می باشد ولی می توان نقشه هزینه را برای هر منطقه یکبار محاسبه نمود تا با دریافت هشدار مشاهده موشک در مبادی ورودی کشور بتوان به پایگاههای مستقر در مسیر حرکت موشک اعلام آماده باش داده و در طول مسیر حرکت موشک را منهدم نمود.

منابع

- رضوانی حسین، مهر ماه ۱۳۸۹.تعیین مسیرهای احتمالی حرکت موشک کروز بین دو نقطه فرضی بر اساس الگوریتم های مسیر یابی و شبیه سازی آن، پایان نامه کارشناسی ارشد نرم افزار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر،
- رحمتی محمد، باوفای حقیقی الهام، "مسیر یابی با استفاده از عاملهای هوشمند در نقشه رقومی جهت سیستم های اطلاع رسانی"دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
- زردشتی، ر، باقریان، م ,۱۳۸۸، یک مدل جدید برای مسئله طراحی مسیر پرواز بهینه TF/TA ، مجله فضانوردی
- طرح فراسازمانی فاوا ن .م (کمیته الکترونیک) شهریور ۸۸، ضروریات، مطالبات عملیاتی و مطالعات امکانپذیری ساخت رادار کشف ، شناسائی وردگیری موشک کروزدر صنایع دفاعی،
- Hyeon Cheol Gong, “Development Of Terrain Contour Matching Algorithm For The Aided Inertial Navigation Using Radial Basis Functions”, Koreasat Group, Space Division Korea Aerospace Research Institute

- Dmitry B. Goldgof, Thomas S. Huang, Hua Lee , "Feature Extraction And Terrain Matching" , IEEE Transactions CH2605-4/88/0000/0899$01.00 , 1998 , Department of Electrical and Computer Engineering University of Illinois at Urbana-Champaign Urbana, IL 61801.
- LARRY D. HOSTETLER, RONALD D ANDREAS, "Nonlinear Kalman Filtering Techniques for Terrain-Aided Navigation", 001 8-9286/83/0300-03 15$01 .OO 01983 IEEE
- Interpolating scattered data with RBFs, Applied Research Associates NZ Ltd , http://aranz.com/research/modelling/theory/rbffaq.html
- Niclas Bergman, Lennart Ljung, Fredrik Gustafsson, "Point-mass filter and Cramer-Rao bound for Terrain- Aided Navigation", 0-7803-3970-8/97 $10.00 0 1997 IEEE
- Fredrik Gustafsson, Fredrik Gunnarsson, Nicolas Bergman, Urban Forssell, Jonas Jansson, Rickard Karlsson, and Per-Johan Nordlund , "Particle Filters for Positioning, Navigation, and Tracking ", IEEE Transactions On Signal Processing , VOL. 50, NO. 2, February 2002.
- Newton Johnson, Wang Tang, PH.D. , Gene Howell, "Terrain Aided Navigation Using Maximum Aposteriori Estimation", 1990 IEEE
- N. Bergman, L. Ljung, and F. Gustafsson, "Terrain navigation using Bayesian statistics," IEEE Contr. System Management., vol. 19, no. 3, pp. 33–40, 1999.
- Kjetil Bergh Ånonsen, Oddvar Hallingstad, "Terrain Aided AUV Navigation .A Comparison of the Point Mass Filter and Terrain Contour Matching Algorithms", University Graduate Center (UniK)
- Niclas Bergman, "Recursive Bayesian Estimation Navigation and Tracking Applications", Link¨oping Studies in Science and Technology. Dissertations No. 579, Department of Electrical Engineering Link¨oping University, PH.D Thesis
- YINGRONG XIE, "Terrain aided navigation", Master of Science Thesis Stockholm, Sweden 2005-05-05 ,
- Liu, Y.H. and S. Arimoto. (1994). "Computation of the Tangent Graph of Polygonal Obstacles by Moving-Line Processing." IEEE Transactions on Robotics and Automation 10(6), 823–830.
- O'Rourke, J. (1994). Computational Geometry in C. Cambridge: Cambridge University Press.
- Welzl, E. (1985). "Constructing the Visibility Graph for n Line Segments in O(n2) Time." IPL 20, 167–171.
- Ghosh, S. and D. Mount. (1987). "An Output Sensitive Algorithm for Computing Visibility Graphs." In Proc. Of the 28th Ann. Symp. on Foundations of Computer Science. Los Angeles, California: 12–14 October 1987, IEEE, pp. 11–19.

- Helgason, R., J. Kennington, and B. Stewart. (1993). “The One-to-One Shortest-Path Problem: An Empirical Analysis with the Two-Tree Dijkstra Algorithm,” Computational Optimization and Applications 1,47–75.
- Dijkstra, E. (1959). “A Note on Two Problems in Connection with Graphs.” Numerische Mathematik 1, 269–271.
- Boroujerdi, A., C. Dong, Q. Ma, and B. Moret. (1993). “Joint Routing in Networks,” Undated Technical Report, Department of Computer Science, University of New Mexico, Albuquerque, NM.
- Helgason, R., J. Kennington, and K. Lewis. (1996).“Finding Safe Paths in Networks,” Technical Report 96-CSE-7, Department of Computer Science and Engineering, SMU, Dallas, TX 75275–0122.
- Solka, J., J. Perry, B. Poellinger, and G. Rogers. (1995a). “Fast Computation of Optimal Paths Using a Parallel Dijkstra Algorithm with Embedded Constraints.” Neurocomputing 8, 195–212.
- Solka, J., J. Perry, B. Poellinger, and G. Rogers. (1995b). “Autorouting Using a Parallel Dijkstra Algorithm with Embedded Constraints,” Technical Report, The Naval Surface Warfare Center, Dahlgren, VA.
- Zuniga, M. and P. Gorman. (1995). “Threat Site Overflight Modeling for Strike Route Optimization,” Undated Technical Report, Naval Research Laboratory, Washington, D.C.
- Zuniga, M., J. Uhlmann, and J. Hofmann. (1995). “The Interdependent Joint Routing Problem: Description and Algorithmic Approach,” Technical Report, Naval Research Laboratory, Washington, D.C.