

(علمی-پژوهشی)

بررسی اثر زمین در شکل‌دهی پرتو سیستم ناوبری تنظیم ارتفاع Glide Path

سیستم تنظیم ارتفاع *Glide Path* یکی از ابزارهای سیستم ناوبری فرود (ILS) است که وظیفه آن در هنگام فرود هواپیما کمک به یافتن زاویه ارتفاع هواپیما نسبت به باند فرود از طریق ارسال سیگنال‌های رادیویی است. این کار از طریق ارسال دو سیگنال با الگوی خاصی انجام می‌گیرد که نسبت این دو سیگنال در یافتن زاویه ارتفاع به کار می‌آید. رفتار موج الکترومغناطیسی فرستاده شده از سیستم و انعکاس آن از زمین باعث برهم خوردن الگوی تشعشعی ارسال می‌شود. مدلسازی این اثر که تحت عنوان اثر زمین شناخته می‌شود در وزن‌دهی و شیفت فاز مناسب سیگنال‌های آنتن‌های ارسال بسیار اهمیت دارد. در این مقاله شکل‌دهی الگوی تشعشعی ارسال سیستم *G/P* با در نظر گرفتن انعکاس زمین مدل‌سازی دقیق شده است و چند شکل پرتو سیستم واقعی نیز شبیه‌سازی شده است.

واژه‌های کلیدی: سیستم ناوبری فرود (ILS)، گلایدپث، اثر زمین، الگوی تشعشعی

زهرا داودآبادی فراهانی^{۱*}، معین احمدی^{۱**} و حامد خوش‌نیت^{۱**}

۱- دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران، کدپستی: ۳۸۱۸۱۴۶۷۶۳

* دانش‌آموخته کارشناسی (نویسنده پاسخگو)، ایمیل:

farahanizahra717@gmail.com

** استادیار

Investigation of Ground Effect on the Beamforming of the Glide Path Altitude Adjustment Navigation System

The *Glide Path* altitude adjustment system is one of the tools of the landing navigation system (ILS) that helps the airplane to find its angle related to the runway by sending radio signals. It is done by sending two signals with a predetermined radiation pattern. The ratio of these two signals is used to find the elevation angle. The behavior of the electromagnetic wave sent from the system and its reflection from the ground causes the transmitted pattern to be distorted. This effect, known as the ground effect, is very important in transmitting antenna signals' accurate weight and phase shift. In this paper, the pattern of the transmitted pattern of the *G/P* system is modeled by considering the ground reflection, and several real systems are simulated.

Keywords: Landing Navigation System, Glide Path, Ground Effect, Beamforming

Z. Davoodabadi Farahani^{1*}, M. Ahmadi^{1**}, and H. Khoshniyat^{1**}

1- Department of Electrical Engineering, Arak University of Technology, Postal Code: 3818146763, Arak, IRAN

* B.Sc. Holder (Corresponding Author); Email:

farahanizahra717@gmail.com

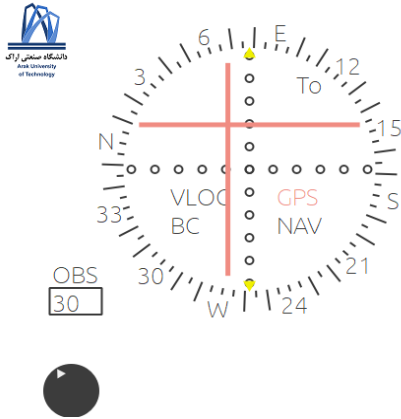
** Assistant Professor

(علمی-پژوهشی)

زهرا داودآبادی فراهانی، معین احمدی و حامد خوش‌نیت

۱- مقدمه

بسیار ملایم ارتفاع کم می‌کند تا به نزدیکی سطح باند برسد. سیگنال‌های دریافتی ایستگاه زمینی G/P نیز بر روی نشانگر^۴ نمایش داده می‌شود (شکل ۱). بدین صورت که اگر هواپیما بر روی زاویه صحیح فرود باشد، نشانگر در وسط باقی می‌ماند و اگر هواپیما بالاتر از زاویه صحیح فرود (۳ درجه) باشد، انحرافی به سمت پایین دارد و همچنین اگر هواپیما پایین‌تر از زاویه صحیح فرود باشد، انحرافی به سمت بالا بر روی CDI نمایش داده می‌شود.



شکل (۱): نشانگر شاخص موقعیت هواپیما در شبیه‌ساز.

آنتن فرستنده G/P در فاصله حدود ۳۰۰ متر از ابتدای باند مورد استفاده نصب می‌شود (شکل ۲). پوشش G/P می‌تواند تا ۱۸٫۵ کیلومتر و حداکثر ۸ درجه در هر دو طرف از خط مرکزی گسترش یابد. با توجه به پیچیدگی‌های سامانه سیستم G/P، برخی محدودیت‌ها در خصوص استفاده گسترده از آن وجود دارند. به عنوان مثال، سیستم‌های G/P در مقابل عوارض زمین که در جلوی آنتن‌های فرستنده G/P قرار دارند حساسیت نشان می‌دهند و اگر زمین دارای شیب یا ناهموار باشد، بازتاب امواج زمینی G/P و به طبع آن دریافت پراکنده آن‌ها توسط گیرنده هواپیما می‌تواند نشانگر G/P را دچار انحراف نماید.

آنتن‌ها معمولاً بالای زمین واقع می‌شوند و این باعث می‌شود که موج رسیده به گیرنده، مجموعه‌ای از موج تابش مستقیم و موجی ایجاد شده در اثر وجود زمین باشد (که معمولاً انعکاس نامیده می‌شود)، بنابراین پرتو آنتن تغییر خواهد کرد. اثر زمین بر اساس اینکه زمین خاکی، دریا، کوه، جنگل و یا دارای ساختمان‌های بلند باشد، متفاوت است. اثر ناهمواری‌ها به زاویه و فرکانس کار بستگی دارد. زمین واقعی در حقیقت یک محیط با افت، سطحی ناصاف و انحنادار است. فرض می‌کنیم که صفحه زمین کاملاً صاف دارای ابعاد بی‌نهایت و همچنین فرض

در گذشته جهت‌یابی کشتی‌ها و حتی هواپیماها از طریق ستارگان انجام می‌شد اما امروزه جهت‌یابی یا ناوبری هواپیما از طریق سیستم‌های متعدد در شرایط پروازی متفاوت انجام می‌پذیرد. اصول اساسی ناوبری هوایی شامل روند برنامه‌ریزی، ضبط و کنترل حرکت یک پرنده از یک مکان به مکان دیگر است [۱]. با مجهز بودن هواپیما به دستگاه‌های کمک ناوبری رادیویی، خلبانان می‌توانند جهت‌یابی و ناوبری را با دقت بیشتری انجام دهند. این دستگاه‌ها در شرایطی با بینایی کم بسیار مفید هستند و خلبانان می‌توانند به جای پرواز از یک نقطه به نقطه دیگر، در مسیری مستقیم به یک نقطه مشخص و یا فرودگاه پرواز کنند.

سیستم ابزار فرود^۱ یکی از سیستم‌های کمک ناوبری رادیویی است [۲-۳] که به زبان ساده به سیستمی گفته می‌شود که به خلبان‌ها امکان فرودی ایمن (حتی در شرایطی که باند فرود برای آن‌ها به خوبی قابل مشاهده نیست) را از طریق امواج رادیویی می‌دهد. استفاده از سیستم ILS در سال ۱۹۲۹ در ایالات متحده شروع شد [۴]. اولین فرود کاملاً اتوماتیک با استفاده از ILS در مارس ۱۹۶۴ در فرودگاه انگلیس رخ داد [۵]. اداره هوانوردی کشوری^۲ مسئول نصب سیستم در سال ۱۹۴۱ در شش منطقه بود. این سیستم با ترکیب شدن دو سیگنال مدوله شده در حامل یکی در فرکانس ۹۰ هرتز و دیگری در فرکانس ۱۵۰ هرتز شروع می‌شود [۶]. این سیستم از دو زیر سیستم لوکالایزر^۳ برای تعیین موقعیت هواپیما در سطح افقی و سیستم G/P برای تعیین موقعیت در ارتفاع مورد استفاده قرار می‌گیرد [۷]. فرکانس سیگنال‌های ارسالی در لوکالایزر بین ۱۰۸٫۱۰ و ۱۱۱٫۹۵ مگاهرتز بر روی باند VHF منتقل می‌شود و در سیستم G/P، بین ۳۲۸٫۶ تا ۳۳۵٫۴ مگاهرتز است [۸-۹]. وظیفه سیستم G/P، ارسال سیگنال‌هایی برای راهنمایی خلبان جهت فرود با زاویه مناسب بر روی باند فرود می‌باشد. بدین منظور با ارسال سیگنال ۱۵۰ هرتز در پایین محدوده زاویه صحیح فرود (معمولاً ۳ درجه) و ۹۰ هرتز در بالای آن، به خلبانان جهت پایین آمدن بر روی زاویه صحیح فرود و نشستن در ابتدای باند کمک می‌کند. فرکانس سیگنال‌های ارسالی بر روی باند UHF می‌باشد.

زاویه مناسب ذکر شده (معمولاً ۳ درجه) نسبت به افق در نظر گرفته می‌شود [۱۰]. هواپیما با کمک این دستگاه با زاویه

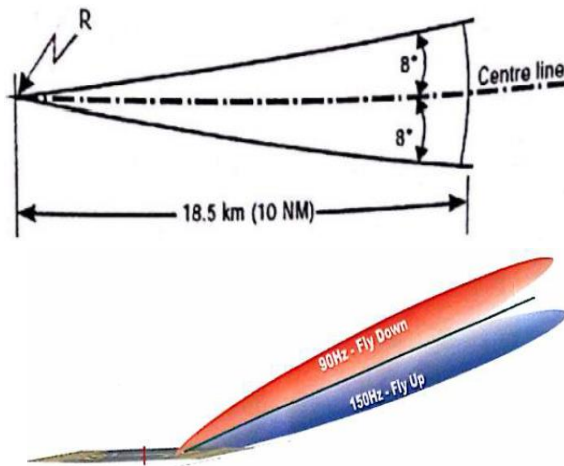
1. Instrument Landing System (ILS)
2. Civil Aviation Authority (CAA)
3. Localizer

4. Course Deviation Indicator (CDI)

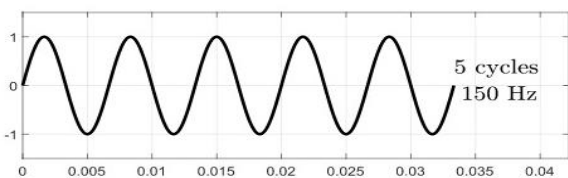
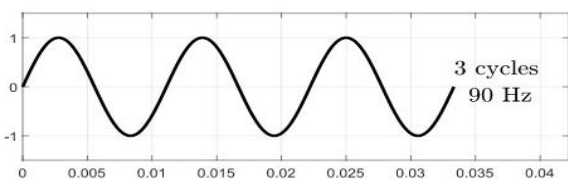
۲- تشریح مسئله

اصل ILS بر مبنای مقایسه عمق (شاخص) مدولاسیون برای دو تک فرکانس است. دو تک فرکانس 90° و 150° هرتز در حامل مدوله شده و سیگنال‌های CSB^2 و SBO^2 را تشکیل می‌دهند (شکل ۳ و ۵). این کار در قسمت الکترونیکی تجهیزات زمینی انجام می‌شود [۱۷]. هنگامی که دو سیگنال CSB و SBO در میدان نزدیک و دور از آنتن ترکیب می‌شوند (شکل ۴ و ۶)، یک فرایند مدولاسیون جدید به نام مدولاسیون فضا به دست می‌آید که یک روش مدولاسیون دامنه است که در سیستم‌های فرود (ILS) برای استفاده همزمان چند آنتن با توان‌های فرکانسی و فازهای متفاوت رادیویی برای ایجاد اعماق متفاوت مدولاسیون در میان حجم‌های متفاوت سه بعدی استفاده می‌شود [۱۸]. با مقایسه عمق مدولاسیون پس از تشخیص سیگنال‌ها، گیرنده هواپیما میزان و جهت جابجایی هواپیما را از خط مسیر موردنظر می‌یابد. با این حال، برای G/P، عمق مدولاسیون ۴۰٪ است.

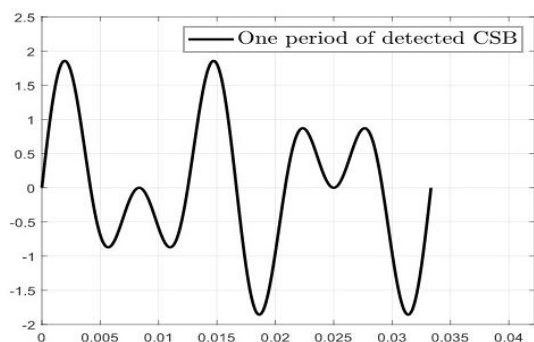
می‌کنیم زمین دارای بازگشت با ضریب انعکاس قابل تنظیم در شبیه‌ساز است. این فرض کمک می‌کند که مسئله را با روش استفاده از تصویر حل کنیم.



شکل (۲): پوشش سمت G/P [۱۱].



شکل (۳): ۹۰ هرتز و ۱۵۰ هرتز هم‌فاز برای سیگنال باند جانبی با حامل.



شکل (۴): آشکارسازی سیگنال باند جانبی با حامل.

بر اساس قضیه منحصر به فرد بودن جواب می‌دانیم که اگر شرایط حدی دو مسئله یکی باشد، جواب مسئله در دو حالت یکی است. بنابراین، اگر ما به جای صفحه زمین از آنتن‌های جایگزینی استفاده کنیم که همان شرایط حدی زمین را ایجاد کند، مسئله وجود زمین قابل حل خواهد بود. برای این کار از روش تصویر که در آن آنتن‌هایی را در محل تصویر آنتن اصلی نسبت به زمین، قرار می‌دهیم استفاده می‌کنیم. فاصله، دامنه و فاز جریان آنتن‌ها طوری انتخاب کردیم که شرط حدی زمین هادی کامل ارضا شود. البته واضح است که میدان‌های زیر صفحه زمین صفر خواهد بود. شرط حدی روی هادی کامل صفر شدن میدان الکتریکی عمودی و یا میدان مغناطیسی مماسی است [۱۲]. مسئله طراحی شکل الگوی تشعشی ارسال در زاویه ارتفاع همانند مسئله شناسایی اهداف زاویه کم در رادار که یکی از مسئله‌های دشوار در رادار است، با پدیده چندمسیرگی و انعکاس امواج از سطح زمین مواجه است و یکی از چالش‌های تحقیقاتی است [۱۶-۱۳]. پدیده چندمسیرگی نقش مهمی در شکل‌دهی الگوهای ارسال سیستم G/P و تشخیص هدف در ارتفاع کم رادار دارد و می‌تواند سیگنال دریافتی در گیرنده را دچار تضعیف کند و یا حتی آن را حذف کند. در این مقاله به بررسی نحوه شکل‌دهی الگوی تشعشی ارسال سیستم G/P در حضور اثر زمین و پدیده چندمسیرگی می‌پردازیم.

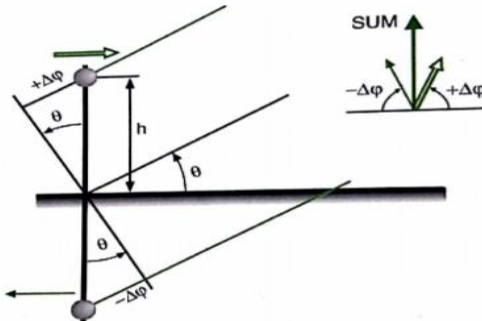
1. Tone
2. Carrier Side Bands
3. Side Band Only

(علمی-پژوهشی)

زهرا داودآبادی فراهانی، معین احمدی و حامد خوش‌نیت

ارتفاع آنتن از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$h = \frac{\lambda}{4 \cdot \sin \theta} \quad (5)$$



شکل (۷): آنتن بالای سطح زمین (پیکان مضاعف=سیگنال واقعی و تک پیکان=سیگنال تصویر).

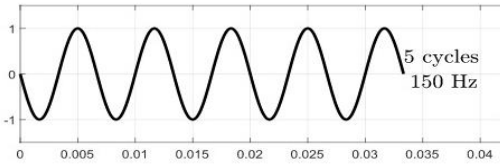
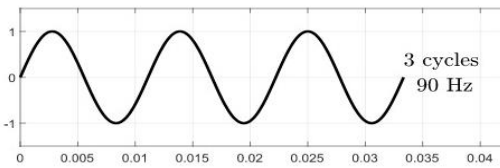
G/P در فرکانس ۳۲۹,۱۵ مگاهرتز تا ۳۳۵ مگاهرتز کار می‌کند. محاسبه ارتفاع آنتن با استفاده از رابطه فوق براساس صفحه بازتاب کاملاً افقی انجام شده است، اگر سطح بازتابی دارای شیب رو به جلو مثبت باشد زاویه G/P تغییر خواهد کرد [۱۱]. یک آرایه آنتن عبارت است از سیستم تشعشی که شامل چندین تشعش‌کننده یا عنصر تکی است. این عناصر چون در یک آرایه در کنار هم قراردارند که هر یک در میدان القایی بقیه واقع می‌شوند. بنابراین، این‌عناصر بر روی هم اثر گذاشته و یک پرتو کلی ایجاد می‌کنند که به صورت جمع برداری تک تک پرتوها حاصل می‌شود. در حالت کلی، با استفاده از شیفت فاز^۲ می‌توان به شکل‌دهی گلبرگ آنتن^۳ رسید و بدون چرخاندن فیزیکی آنتن‌ها، الگوی تشعشی آرایه‌ای از آنتن‌ها را در فضا به دست آورد. ضریب آرایه با M عنصر از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$AF(\Phi) = \sum_{m=0}^{M-1} A_m e^{jm \left(\frac{2\pi d}{\lambda} \cos \Phi + \alpha \right)} \quad (6)$$

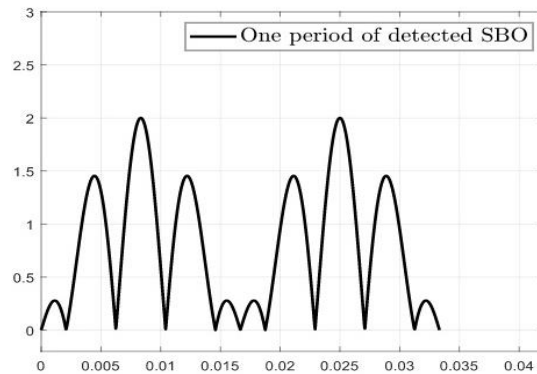
که در آن A_m دامنه، λ طول موج، $\left(\frac{2\pi d}{\lambda} \cos \Phi \right)$ فاز و α تغییر فاز است [۱۹].

۴- شبیه‌سازی و نتایج

با توجه به پیچیدگی‌های سامانه سیستم G/P، برخی محدودیت‌ها در خصوص استفاده گسترده از آن وجود دارند. از جمله می‌توان به اثرات زمین که در مقابل آن قرار دارند،



شکل (۵): ۹۰ هرتز و ۱۵۰ غیر هم‌فاز برای سیگنال تک باند جانبی.



شکل (۶): یک دوره زمانی از سیگنال آشکارسازی شده تک باند جانبی.

در این‌جا از سه آنتن واقعی و سه آنتن تصویر که در مجموع از شش آنتن استفاده شده است، که مبحث آنتن‌های آرایه‌ای پیش می‌آید. برای شبیه‌سازی اثر زمین، فاصله نسبت به یک مرجع مهم است که تبدیل به اختلاف فاز می‌شود که در این‌جا، فاصله اقلیدسی حساب شده که موج از راه دور با زاویه تنا می‌آید. ارتفاع آنتن‌ها برابر با مقادیر ۲,۱۵، ۳,۳ و ۴,۴۵ است و موقعیت هر آنتن با شیب زمین و محل تصاویرشان تعیین شد. یک بار SBO و بار دیگر CSB به عنوان سیگنال‌های G/P در نظر گرفته شده است.

۳- تشریح مسئله

سیگنال‌های SBO و CSB عبارت‌اند از:

CSB=Carrier and sidebands (Modulation=90+150 Hz tone)
 SBO= Sidebands only (Modulation=90-150 Hz tone)
 $f_1 = 90 \text{ Hz}$ and $f_2 = 150 \text{ Hz}$ (۱)

$CSB = m(f_1 + f_2)$ and $SBO = n(f_1 - f_2)$ (۲)

m و n به گین آنتن و قدرت فرستنده (tx) در یک نقطه در میدان دور بستگی دارند.

$CSB + SBO = (m + n)f_1 + (m - n)f_2, f_1 > f_2$ (۳)

$CSB - SBO = (m - n)f_1 + (m + n)f_2, f_1 < f_2$ (۴)

1. Forward Slope
2. Phase Shifter
3. Beamforming

antennasGP2.append(ILSAntenna(4.3,0,0,100,0)
 antennasGP2.append(ILSAntenna(8.6,11.674,0,0,0)
 antennasGP3.append(ILSAntenna(2.15,5.835,180,100,0)
 antennasGP3.append(ILSAntenna(4.3,11.67,0,50,180)
 antennasGP3.append(ILSAntenna(6.45,5.835,180,0,0)

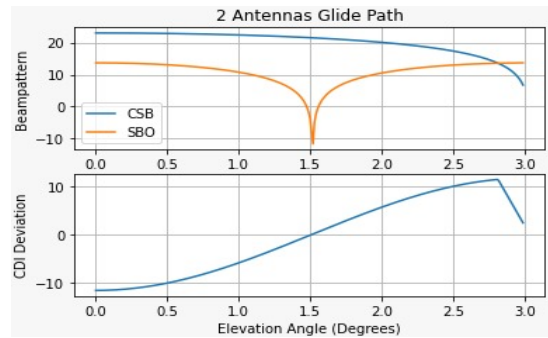


شکل (۱۰): تصویری از نرم‌افزار سیستم‌های فرودگاهی.

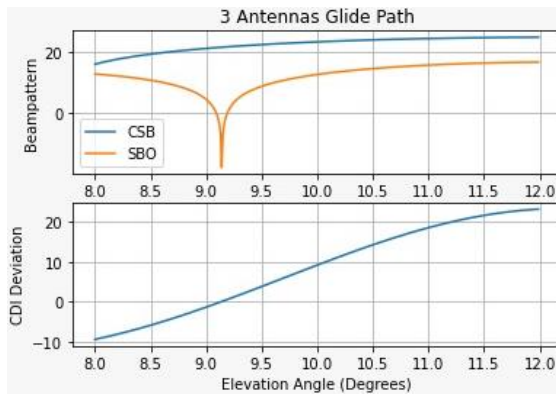
سیستم G/P یکی از سیستم‌های شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار سیستم‌های فرودگاهی توسعه داده شده در این پژوهش است. این نرم‌افزار شامل سیستم‌های مختلف فرودگاه از جمله localizer, Glide Path, VOR, DME, رادار اولیه و ثانویه می‌باشد. این نرم‌افزار به زبان ++C توسعه داده شده است. همان‌طور که سیستم G/P یکی از سیستم‌های فرودگاهی است، محتوای این مقاله یکی از زیر بخش‌های نرم‌افزار کلی توسعه داده شده است. شکل‌های ۱۶-۱۱ نتایج حاصل از این نرم‌افزار (شبیه‌ساز جامع توسعه داده شده در این پژوهش) است. با افزایش تعداد المان‌ها و فاصله ۵ بین المان‌ها در آرایه، تعداد گلبرگ‌های فرعی زیاد می‌شود از طرفی باعث ایجاد لوب‌جلی‌آمی‌شود که اصلاً خوب نیست و باعث ابهام در گیرنده و اتلاف توان در فرستنده می‌شود (در واقع در چند زاویه دیگر هم داریم سیگنال را ارسال و دریافت می‌کنیم). همچنین، با افزایش ارتفاع آنتن تعداد لوب در هر ربع بیشتر (لوب نازک‌تر) خواهد شد. برای مثال آنتنی که در ارتفاع ۶٫۴۵ متر قرار دارد نسبت به آنتنی که در ارتفاع ۲٫۱۵ متر قرار دارد، تعداد لوب بیشتری دارد. همان‌طور که در شکل‌های ۱۲ و ۱۵ دیده می‌شود، تعداد لوب‌ها در پرتو CSB با دو آنتن کمتر از تعداد لوب‌ها در پرتو CSB با سه آنتن است. هر دو سیستم، با دو آنتن و سه آنتن در عمل استفاده می‌شوند. عملکرد سیستم با سه آنتن بهتر است، ولی از لحاظ هزینه و تعمیرات سیستم با دو آنتن برتری دارد.

اشاره کرد. در این جا فرض شده است که صفحه زمین صاف، دارای ابعاد بی‌نهایت و همچنین فرض شده است زمین دارای بازگشت با ضریب انعکاس قابل تنظیم در شبیه‌ساز است. با کمک این فرض، مسئله با روش استفاده از تصویر حل شد. بنابراین، به جای صفحه زمین از آنتن‌های جایگزینی استفاده شده است. شبیه‌سازی در پایتون پیاده‌سازی شده است.

در شبیه‌سازی، موقعیت هر آنتن (آنتن واقعی و آنتن تصویر) با توجه به شیب زمین تعیین شد و یک بار SBO و بار دیگر CSB به عنوان سیگنال‌های G/P در نظر گرفته شد. در شکل‌های ۸ و ۹ پرتوهای SBO و CSB با دو آنتن و سه آنتن نشان داده شده است.



شکل (۸): شکل‌دهی الگوی تشعشعی ارسال سیگنال‌های تک باند جانبی و باند جانبی با حامل سیستم G/P با دو آنتن ارسال و اثر زمین. نشانگر موقعیت هوائیما بر حسب زاویه آن نسبت به باند فرود.



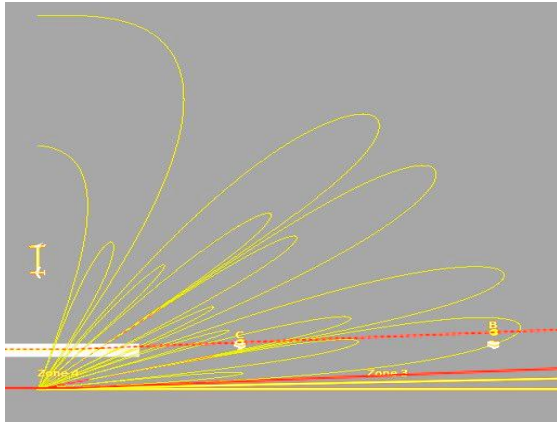
شکل (۹): شکل‌دهی الگوی تشعشعی ارسال سیگنال‌های تک باند جانبی و باند جانبی با حامل سیستم G/P با سه آنتن ارسال و اثر زمین. نشانگر موقعیت هوائیما بر حسب زاویه آن نسبت به باند فرود.

همانطور که در کدهای زیر مشاهده می‌شود دو نوع سیستم G/P با دو آنتن و سه آنتن در نرم‌افزار تعریف شده است که آرگومان‌های ورودی به ترتیب ارتفاع آنتن، دامنه و فاز سیگنال‌های CSB و SBO آن آنتن هستند (شکل ۱۰).

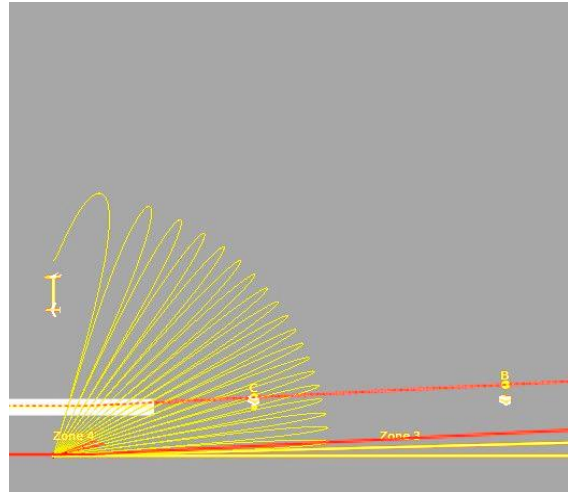
1. VHF Omni-Directional Range
2. Distance Measuring Equipment
3. Grating Lobe

(علمی-پژوهشی)

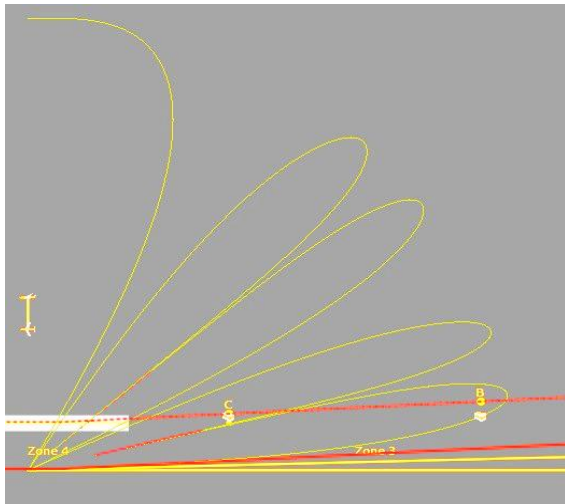
زهرا داودآبادی فراهانی، معین احمدی و حامد خوش‌نیت



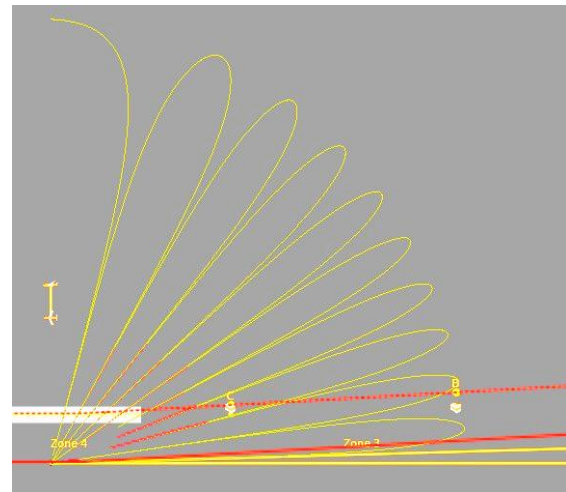
شکل (۱۴): پرتو سیگنال‌های باند جانبی با حامل و تک باند جانبی با دو آنتن.



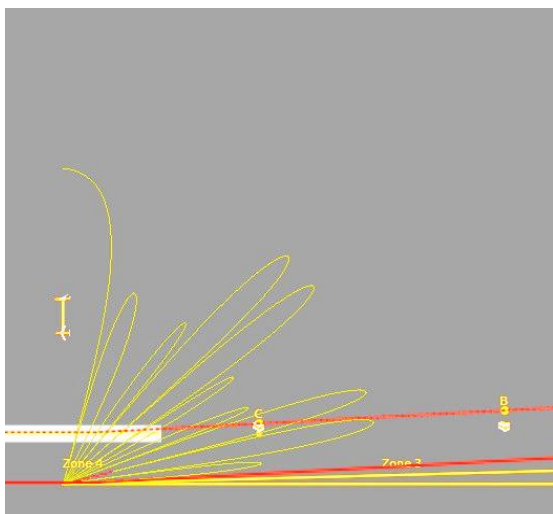
شکل (۱۱): پرتو سیگنال تک باند جانبی با سه آنتن.



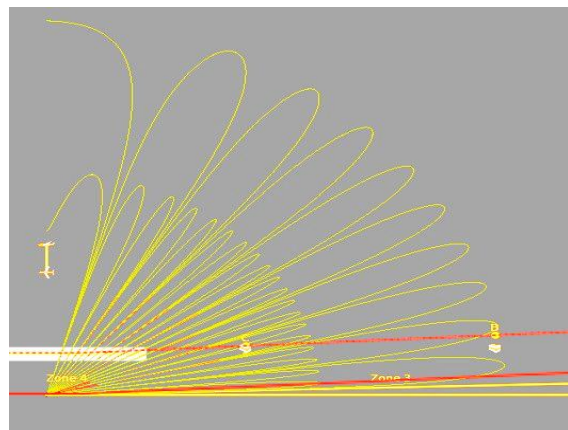
شکل (۱۵): پرتو سیگنال باند جانبی با حامل با دو آنتن.



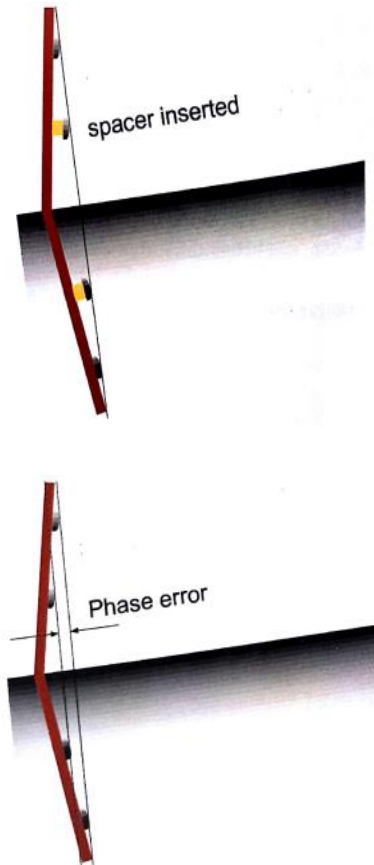
شکل (۱۲): پرتو سیگنال باند جانبی با حامل با سه آنتن.



شکل (۱۶): پرتو سیگنال تک باند جانبی با دو آنتن.



شکل (۱۳): پرتو سیگنال‌های باند جانبی با حامل و تک باند جانبی با سه آنتن.

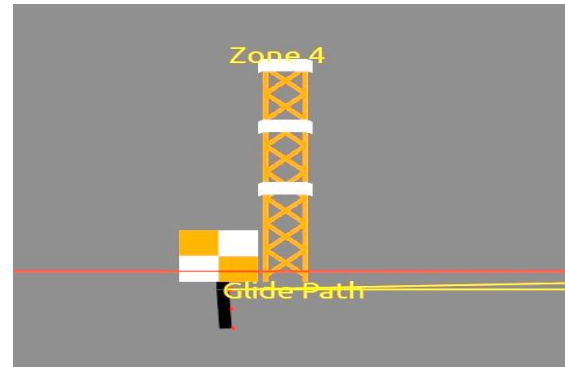


شکل (۱۹): قرارگرفتن اسپیسر در پشت یکی از آنتن‌ها.

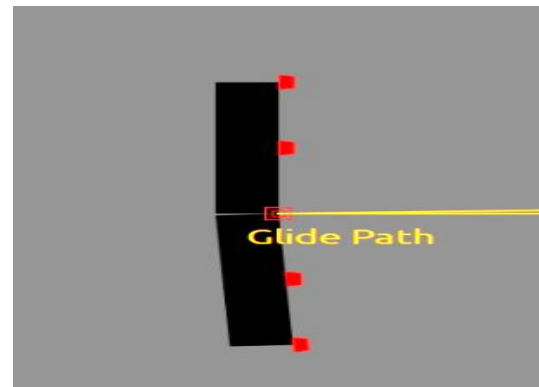
جابه‌جایی جانبی عناصر آنتن: همانطور که در شکل ۲۰ و ۲۱ مشاهده می‌شود، آنتن‌ها با آنتن‌های تصویر خود روی دو دایره بزرگ که مبدأ آن‌ها در خط مرکز باند است، واقع شده‌اند. دو دایره شعاع کمی متفاوت دارند و باعث ایجاد اختلاف فاز بین آنتن‌های ۱ و ۲ می‌شوند که در امتداد خط مرکز باند دیده می‌شوند. در امتداد خط مرکزی دایره‌ها به مخروط تبدیل می‌شوند و اختلاف به تدریج کوچک‌تر می‌شود. اما فاصله آنتن فوقانی همیشه کمی بیشتر از آنتن تحتانی است. بسیار مهم است که سیگنال‌های آنتن ۱ و ۲ در فاز در تمام طول رویکرد دریافت شوند تا این که این کار را با حرکت دادن آنتن تحتانی در جهت به دور از خط وسط تا زمانی که دو دایره برابر نباشد، اصلاح شود. در این حالت از G/P، آنتن بالایی را که متمرکز بر دکل گلاید اسلوپ است انتخاب کرده‌ایم، در حالی که آنتن پایین چند متر از خط مرکز باند دور شده است. برای آنتن تصویر هم دقیقاً همین اصل مکان‌یابی عناصر آنتن در امتداد یک دایره مشترک با مرکز باند اعمال شده است، این کار تضمین می‌کند که روابط فاز در هر مسیری در امتداد خط مرکز باند دقیق باشد [۱۱].

۵- شبیه‌سازی و نتایج

صفحه زمین همیشه صاف نیست و ممکن است دارای شیب یا ناهموار باشد که در این صورت بازتاب امواج زمینی G/P و به طبع آن دریافت پراکنده آن‌ها توسط گیرنده هواپیما می‌تواند نشانگر نشان‌دهنده G/P را دچار انحراف نماید. ما به جای صفحه زمین از آنتن‌های جایگزینی استفاده کردیم [۱۲] (شکل‌های ۱۷ و ۱۸).



شکل (۱۷): آنتن سیستم G/P.



شکل (۱۸): آنتن‌های سیستم G/P به همراه آنتن‌های جایگزین به جای صفحه زمین.

اصول کلی محل آنتن عبارتست از:

تراز کردن آنتن‌های G/P: اثر زمین باید دقیق مدل شود. اگر صفحه بازتاب دارای شیب رو به جلو باشد تصویر خم می‌شود. برای جبران دکل می‌تواند عمود بر صفحه زمین باشد یا با توجه به شیب زمین در پشت یکی از آنتن‌ها اسپیسر قرار می‌دهیم که اگر این اسپیسرها را قرار ندهیم ممکن است در یک صفحه نباشند (شکل ۱۹). یک شیب رو به جلو صفحه انعکاسی باعث ایجاد خطای فاز بین آنتن ۱ و ۲ به دلیل جابجایی مجدد آنتن‌های تصویر می‌شود.

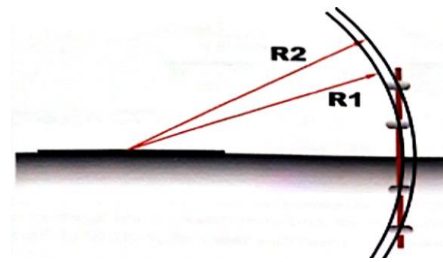
1. Spacer

(علمی-پژوهشی)

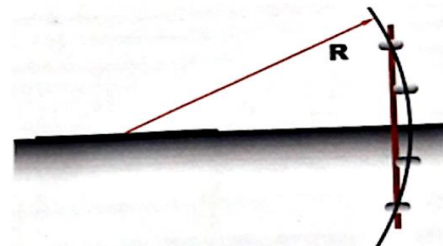
زهرا داودآبادی فراهانی، معین احمدی و حامد خوش‌نیت

۳- نتیجه‌گیری

پدیده چندمسیرگی، نقش مهمی در شکل‌دهی الگوهای ارسال سیستم G/P و تشخیص هدف در ارتفاع کم رادار دارد و می‌تواند سیگنال دریافتی در گیرنده را دچار تضعیف کند و یا حتی آن را حذف کند. در این مقاله، به بررسی نحوه شکل‌دهی الگوی تشعشی ارسال سیستم G/P در حضور اثر زمین و پدیده چندمسیرگی پرداخته شد. نتایج نشان می‌دهد که الگوهای تشعشی آنتن‌های ارسالی از سیستم G/P با در نظر گرفتن انعکاس زمین به صورت دقیق قابل مدل‌سازی است.



شکل (۲۰): آنتن ۱،۲ در دو دایره متمركز بر خط مركز باند.



شکل (۲۱): با جابجایی جانبی، دو آنتن دارای دایره یکسانی هستند [۱۱].

۸- مراجع

- [1] Bowditch, N., *The American Practical Navigator*, National Imagery and Mapping Agency (NIMA), ISBN 978-0-939837-54-0, 1995.
- [2] Cutler, T.J. and Dutton, B., *Dutton's Nautical Navigation*, 15th Edition, Naval Institute Press, 2012.
- [3] Kayton, M. and Fried, W.R., *4 - Terrestrial Radio-Navigation Systems, Avionics Navigation Systems*, John Wiley & Sons., NewYork, USA, 1977.
- [4] Online Available at: "https://books.google.com/books?id=uIDAAAAMBAJ&pg=PA205&dq=Popular+Mechanics+1931+curtiss&hl=en&ei=3bTyTKD7AZPfnQeEr635Cg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=3&ved=0CDAQ6AEwAg#v=onepage&q&f=true".
- [5] Online Available at: "<https://en.m.wikipedia.org/wiki/Autoland>".
- [6] Online Available at: "<https://www.skyradar.com/blog/navaids-a-technical-introduction-into-architecture-and-signals-of-ilsdme-and-vor>".
- [7] ITU Radio Regulations, Section IV. Radio Stations and Systems - Article 1.106, Definition: Instrument Landing System (ILS), 2016.
- [8] Online Available at: "<https://fargoairport.com/wpcontent/uploads/2018/08/far-ch01-inventory-of-facilities-v6-final.pdf>".
- [9] Online Available at: "https://en.wikipedia.org/wiki/Instrument_landing_system".
- [10] Online Available at: "<https://www.radarworld.org/flightnav.pdf>".
- [11] Holm, R., *ILS Fundamentals: The Instrument Landing System in Theory*, Createspace Independent Publishing Platform, Scotts Valley, California, USA, 2017.
- [12] Abutorab, S.M., *Antenna 1*, Pamphlet of Khajeh Nasir University, 2016 (In Persian).
- [13] Barton, D.K., "Low Angle Tracking", *IEEE Proceeding*, Vol. 62, No. 6, 210-225, 1974.
- [14] Silon, S.L. and Carlson, B.D., "Radar Detection in Multipath", *IEE Proc. Radar, Sonar and Navigation*, Vol. 146, No. 1, 45-54, 1999.
- [15] Sen, S. and Nehorai, A., "Adaptive OFDM Radar for Target Detection in Multipath Scenarios", *IEEE Trans. on Signal Process.*, Vol. 59, No. 1, 78-90, 2011.
- [16] Ding, J., Chen, H., Wang, H., Li, X., and Zhuang, Z., "Low-crazing Angle Target Detection and System Configuration of MIMO Radar", *Progress in Electromagnetics Research B*, Vol. 48, pp. 23-42, 2013.
- [17] Jere, O.R., "Modelling the Effects of Engineering Errors in Air Navigational Aids Case of Instrument Landing System in Kenya", *Intrnational Institute of Aviation Safety Technology Report*, 2008.
- [18] Online Available at: "https://en.wikipedia.org/wiki/Instrument_landing_system".
- [19] Online Available at: "<https://vetchworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/27291/ch3>".