روش‌های نیمه خودکار ردگیری ماهواره در شبیه‌ساز ردیاب KNTUSAT2

مهرزاد نصیریان[1]، احسان دانش نیا[2]

۱. دکترای برق، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، nasirian@mut.ac.ir

۲ .کارشناس ارشد هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۶ تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۲۸

چکیده

یکی از الزامات بهره‌برداری از ماهواره‌ها ایجاد لینک ارتباطی بین ماهواره و ایستگاه است. این کار مستلزم ردیابی دقیق ماهواره‌ها هنگام عبور از روی ایستگاه است. برای ردیابی و کنترل آنتن روش‌های متعددی وجود دارد. در این مقاله چند روش عملیاتی جدید و ابتکاری از دسته روش‌های جست‌جوی ماهواره به صورت نیمه خودکار ارائه می‌شود. با کمک این روش‌ها، نیاز به استفاده از تکنیک‌های پیچیده و پرهزینه متداول مانند ردگیری خودکار مونوپالس، هوشمند و پله‌ای نیست. اولین بار در ایران استفاده از این روش‌های نیمه خودکار، منجر به ردگیری ماهواره با هزینه کم شده و دقت زیاد آن فقط با استفاده از روش‌های نرم‌افزاری حاصل می‌شود.این روش‌ها به صورت عملیاتی روی نمونه‌های متعدد ردگیری ماهواره‌های هواشناسی «نُوا» آزموده شده است. سطح سیگنال دریافتی پس از به‌کارگیری این روش‌ها افزایش یافته و کیفیت تصاویر استخراج شده به این روش نشان از افزایش دقت ردگیری دارد. میزان حساسیت روش‌های نیمه‌خودکار، در ردیابی ماهواره‌ها متفاوت است. با توجه به آزمایش‌های تجربی و تحلیل شدت سیگنال‌های حاصل، مشخص می‌شود در بین روش‌های معرفی شده در این مقاله، روش جست‌جوی پله با اعمال افست تک محور توانایی بیشتری در جست‌جو و دنبال کردن سیگنال بیشینه دارد.

کلیدواژه

روش‌های نیمه خودکار ردگیری ماهواره، شبیه‌ساز ردیاب ماهواره

مقدمه

از الزامات ردیابی ماهواره توسط آنتن‌های ایستگاه‌های زمینی، پیش‌بینی مسیر ماهواره و حرکت آنتن به سمت نقطه طلوع، قبل از شروع گذر ماهواره است. با توجه به اینکه در پیش‌بینی مسیر ردیابی خودکار یا همان جست‌جو مطابق با استاندارد IEEE 686 به این صورت بیان می‌شود[۱]: «یک حرکت برنامه‌ریزی شده به منظور شناسایی و کاوش ناحیه زاویه‌ای بزرگتر نسبت به حالتی که یک موقعیت منفرد از بیم پوشش داده شده یا برای اندازه‌گیری موقعیت زاویه‌ای یک هدف که به بیم اصلی یک آنتن داده می‌شود.» یک دسته از روش‌های ردیابی خودکار، بر پایه سیگنال‌های مخابراتی ارسالی از آنهاست. با استفاده از این روش‌ها الگوی[1] اصلی آنتن گیرنده همواره در نقطه بیشینه دریافت خود قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر سیستم کنترل آنتن گیرنده از حالت حلقه باز (پیش برنامه) به حالت حلقه بسته تبدیل می‌شود. یک دسته از روش‌های جست‌جو، روش جست‌جوی نیمه‌خودکار است. در این مقاله به چهار روش ابتکاری نیمه‌خودکار کاربردی برای تصحیح زوایای سمت و سو اشاره شده است. ویژگی این روش‌ها در امکان وقوع خطاهای مختلف وجود دارد و همچنین در باندهای فرکانسی بالا نیاز به ردگیری با دقت کمتر از یک درجه است، عملیات ردیابی به صورت پیش‌برنامه غیر قابل قبول بوده و نیاز به استفاده از روش‌های ردیابی خودکار است.

سادگی، هزینه کم و کاربردی بودن آنهاست. استفاده از این چهار روش به سادگی اعمال دستورات کنترلی به سکو یا اصلاح زمانی مسیر پیش‌بینی شده ماهواره است.

در ایجاد لینک مخابراتی بین ایستگاه و ماهواره با توجه به پارامترهایی مثل دقت، هزینه و غیره روش‌های ردیابی متفاوتی وجود دارد. پیشینه استفاده از این روش‌ها به شرح زیر است[۲]:

- روش دستی که با دقتی کم توسط کاربر انجام می‌گیرد و معمولا در ایستگاه‌ها در مواقعی که روش‌های دیگر با مشکل مواجه می‌شود، استفاده خواهد شد.
- روش پیش‌برنامه‌ریزی[2] که بسته به ورودی‌های برنامه حداکثر دقتی تا ۰/۰۱ درجه می‌تواند داشته باشد. سیستم از سادگی برخوردار است و معمولا به عنوان پشتیبان در مواقعی که سیستم ردیابی اصلی دچار مشکل می‌شود، استفاده خواهد

1. Pattern

2. Priprogram

شد. استفاده از این روش که برای ردیابی ماهواره‌های «تل‌استار» از اواسط دهه ۱۹۶۰ در سایت گانهیل[3] شروع شد، تاکنون مورد استفاده قرار می‌گیرد.

– یکی از روش‌های ردیابی خودکار استفاده از تکنیک‌های ردیابی است که در سیستم‌های راداری استفاده می‌شود. دقیق‌ترین و پیچیده‌ترین روش ردگیری خودکار، روش مونوپالس است. مونو پالس، روشی است که در ایستگاه‌های زمینی ماهواره‌های ارتفاع پایین[4] با باند X و قطر آنتن بیشتر از پنج متر استفاده می‌شود. این نوع آنتن‌ها دارای عرض بیم کمتر از ۰/۴ درجه هستند[۳]. دقت ردیابی حاصل از این روش بسیار خوب بوده و در حدود ۰/۰۰۵ درجه است. در عوض از نظر هزینه، پر هزینه‌ترین مدل بوده و نیاز به چندین کانال گیرنده همدوس دارد. این روش به صورت عملیاتی اولین بار سال ۱۹۶۳ در سایت اندوور[5] در آمریکا و سایت بودو[6] در فرانسه و برای ردیابی ماهواره‌های «تل‌استار» استفاده شد.

– روشی دیگر، جستجوی مخروطی بوده که دقتی در حدود ۰/۰۱ درجه دارد، دارای پاسخ دینامیکی متوسط است و جزو روش‌های کم هزینه به شمار می‌رود. جستجوی مخروطی کل آنتن برای آنتن‌های کوچک استفاده می‌شود. برای یک آنتن کاسگرین بزرگ، جستجوی مخروطی با تغییرات چرخشی در آفست فید یا با استفاده از یک فید ثابت و تغییرات چرخشی در آفست منعکس‌کننده فرعی انجام می‌شود. آفست فید توسط ناکس و دابل[7] در سال ۱۹۷۰ توصیف شد[۴و۵]. جستجوی مخروطی علاوه بر استفاده روی آنتن‌هایی در گانهیل، بحرین و هنگ‌کنگ، در بسیاری از سیستم‌های آمریکایی مانند آنتن بشقابی ۶۴ متری در گلدستون نیز استفاده شده است[۶].

– از روش‌های دیگر روش پله‌ای است. این روش دقتی در حدود ۰/۱ درجه دارد و دارای هزینه کم، به همین دلیل در بسیاری از ایستگاه‌های زمینی کوچک استفاده می‌شود. این روش هم مانند روش منوپالس با کمک سیگنال رادیویی بیکن دریافتی عمل ردگیری را انجام می‌دهد. در این روش آنتن آنقدر حرکت می‌کند تا بیشینه سیگنال را از بیکن داشته باشد. در این لحظه روی این موقعیت قفل می‌کند و با ردگیری پیش‌برنامه به مسیر خود ادامه می‌دهد. این روش دارای دو مشکل اساسی است: [۷]

۱. مکان‌یابی بیم بیشینه با دقت زیاد هرگز امکان‌پذیر نیست.

۲. عملکرد مطلوب ردیابی ممکن است توسط نوسانات دامنه سطوح سیگنال دریافتی، کاهش یابد.

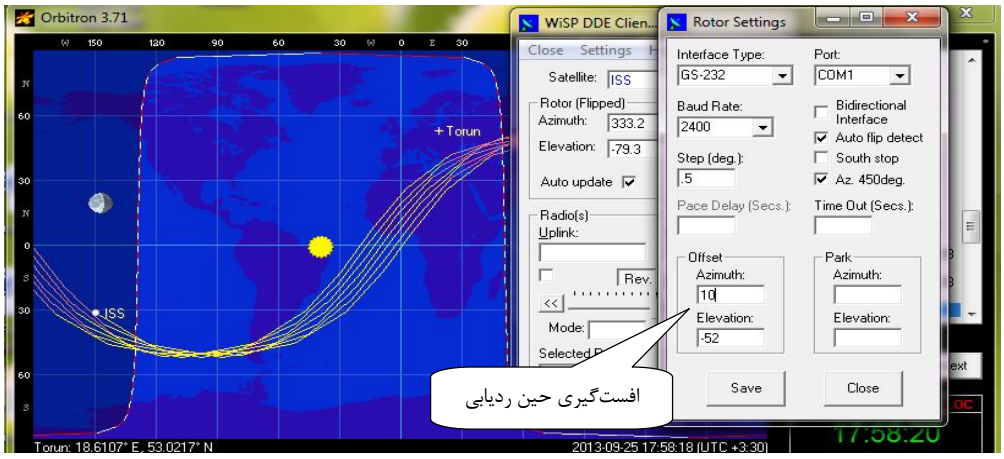
– جدیدترین روش در زمینه ردیابی، روش هوشمند است. در این روش یک مدل دقیق از مدار ماهواره و نحوه حرکت ماهواره در آن طراحی می‌شود. همچنین از اطلاعات متفرقه مانند اطلاعات روزهای قبل، سیستم‌های دیگر ردیاب ماهواره، مشخصات آب و هوایی و آنتن استفاده می‌کند. ردگیری‌های هوشمند به شدت در مقابل تغییرات سیگنال رادیویی ورودی، مصونیت یافته‌اند، زیرا آنها سیگنال را در طول دوره‌های اندازه‌گیری‌های منفرد، بیشینه نمی‌کنند، بلکه بر فیلترینگ بهینه تعداد زیادی از اندازه‌گیری‌ها تکیه دارند[۸].

برای بیان اهمیت موضوع این مقاله، جدای از بررسی روش‌های ردیابی ماهواره، بررسی روش‌های نرم‌افزاری ردیابی و اصلاح مسیر نشانه‌روی آنتن‌ها در نرم‌افزارهای ردیابی مورد استفاده در دنیا لازم و ضروری است. در این رابطه به دو نرم‌افزار پرکاربرد جهانی اشاره می‌شود.

نرم‌افزار Orbitron 3.71

این نرم‌افزار یک سیستم ردیابی ماهواره برای اهداف نمایشی و رادیوآماتوری است. این نرم‌افزار به وسیله کارشناسان هواشناسی، کاربران ارتباطات ماهواره‌ای و حتی ستاره‌شناسان مورد استفاده قرار گرفته و قادر به نمایش مکان ماهواره‌ها در هر لحظه دلخواه به صورت شبیه‌سازی یا بلادرنگ است. این محصول با توجه به تعداد فراوان کاربران آن در سراسر جهان یکی از قوی‌ترین و ساده‌ترین ردیاب‌های ماهواره است [۹]. ردیابی در این نرم‌افزار به روش پیش‌برنامه انجام می‌شود. این نرم‌افزار دارای هیچ روش ردیابی خودکار یا نیمه خودکار نبوده و تنها در حین ردگیری، به صورت دستی می‌توان خطای زوایای سمت و سوی تولید شده توسط نرم‌افزار را جبران کرد شکل(۱).

3. Goonhilly
4. LEO
5. Andover
6. Pleumeur-Bodou
7. Knox &Doble



شکل ۱. نمایش ردپای ماهواره روی زمین و جبران بلادرنگ زوایای محورهای سمت و سو در نرم‌افزار Orbitron

نرم‌افزار Nova for Windows

نرم‌افزار Nova یک سیستم ابداعی بر پایه‌ی نقشه در ردیابی ماهواره‌ها است. این نرم‌افزار قابلیت نمایش تعداد نامحدود ماهواره، ایستگاه و پنجره نمایش در حین کنترل بلادرنگ پدستال آنتن توسط واسطهای سخت‌افزاری معمول را دارد [۱۰]. در این نرم‌افزار نیز ردیابی به روش پیش‌برنامه انجام می‌شود. این نرم‌افزار نیز مانند Orbitron دارای هیچ روش ردیابی خودکار یا نیمه‌خودکار نبوده و تنها در حین ردگیری، به صورت دستی می‌توان خطای زوایای سمت و سوی تولید شده توسط نرم‌افزار را جبران کرد، همچنین در این نرم‌افزار انحراف از مرکز محورها قبل از ردیابی ماهواره قابل اصلاح است شکل(۲).

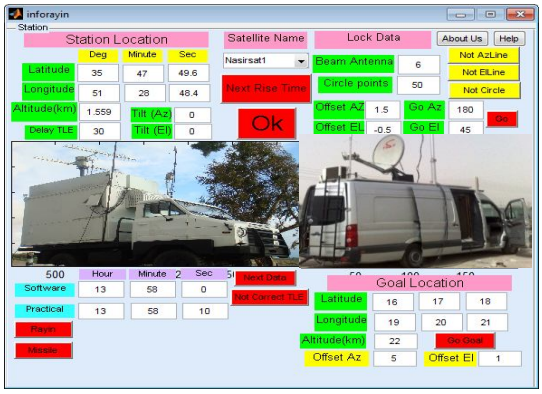
شکل ۲. نمایش ردپای ماهواره و جبران پیش از گذر و بلادرنگ زوایای محورهای سمت و سو در نرم‌افزار Nova

در این مقاله در ابتدا ویژگی‌های نرم‌افزار ردیابی KNTUSAT2 توضیح داده خواهد شد. سپس چهار روش ابتکاری جست‌جو به تفصیل بیان خواهد شد. در انتها نتایج ردگیری با استفاده از این روش‌ها با ارائه تصاویر دریافتی از ماهواره‌های هواشناسی نمایش داده می‌شود.

نرم‌افزارهای ردیابی ماهواره

در حال حاضر نرم‌افزارهای بسیاری در سراسر دنیا برای محاسبات ریاضی مدار ماهواره‌ها، شبیه‌سازی مسیر ماهواره نسبت به ایستگاه و محاسبات زوایای دید آنتن نسبت به ماهواره استفاده می‌شود. نرم‌افزارهای شبیه‌ساز گذر ماهواره، دارای قابلیت‌های متفاوتی هستند، اما همه به صورت معمول دارای قابلیت‌های مشترکی مثل دریافت اطلاعات مداری ماهواره با فرمت اطلاعات دو خطی ماهواره، محاسبه پارامترهای ردیابی (زوایای سمت و سو) در

حین گذر، محاسبه گذرهای آینده و زمان‌های طلوع و غروب ماهواره و نمایش مکان ماهواره روی نقشه گسترده زمین هستند. با توجه به وجود خطا در محاسبه اطلاعات دو خطی ماهواره، همچنین عدم مدل‌سازی دقیق اغتشاشات مداری، شبیه‌سازی گذر ماهواره توسط این نرم‌افزارها به صورت معمول همراه با خطا خواهد بود. این امر در ردیابی‌های بلادرنگ ماهواره‌ها اثرگذار خواهد بود. برای داشتن یک ارتباط سالم حین گذر ماهواره از ایستگاه، نیاز است این خطای ردگیری به نحوی اصلاح شود. بعضی از نرم‌افزارهای تجاری ردیابی ماهواره برای حل این مسئله تنها قابلیت افست‌گیری خارج از خط محورهای سکو را در محیط نرم‌افزاری خود لحاظ کرده و بعضی به صورت بلادرنگ نیز عمل افست‌گیری را انجام می‌دهند. نرم‌افزار KNTUSAT2 یک نرم‌افزار بومی ردیاب ماهواره طراحی شده در ایران است. KNTUSAT2 با استفاده از دریافت پارامترهای مداری ماهواره توسط فرمت استاندارد اطلاعات دو خطی ماهواره و اعمال جداگانه اغتشاشات مختلف مداری، مسیر ماهواره را در آینده پیش‌بینی می‌کند شکل(۳).



شکل۳. صفحه کنترل کاربر در نرم‌افزار ردیاب ماهواره KNTUSAT2 [۱۱]

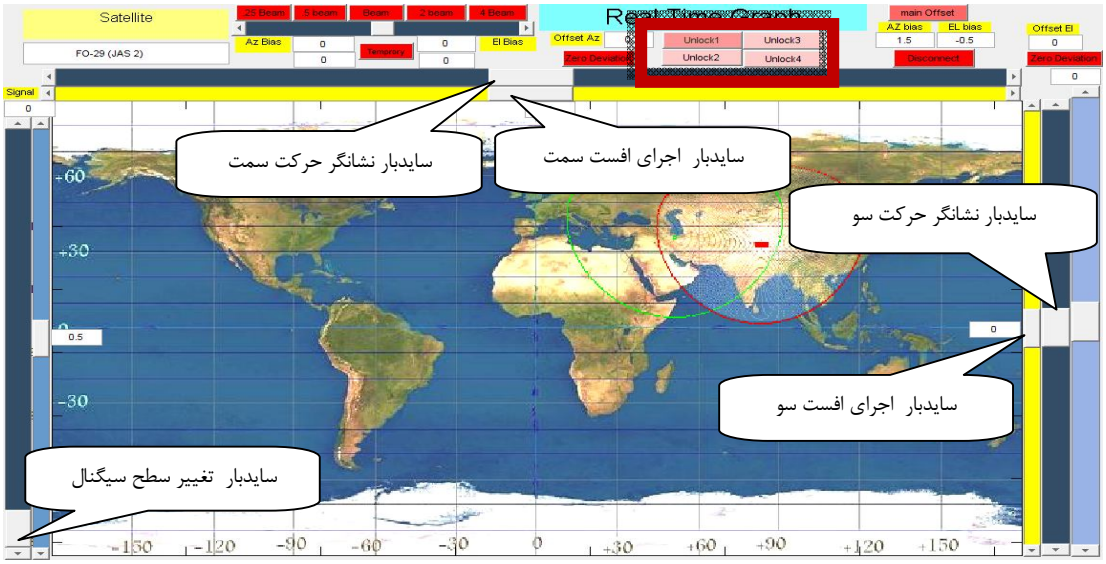
این نرم‌افزار به راحتی با در اختیار داشتن پروتکل ارتباطی با سکو، به کنترل و ردیابی ماهواره می‌پردازد. این نرم‌افزار غیر از قابلیت‌های افست‌گیری محورها به صورت خارج از خط، توانایی دارد به صورت بلادرنگ در حالتی که نرم‌افزار در مد پیش‌برنامه مشغول به ردیابی ماهواره است، با روش‌های مختلفی حول ماهواره جستجو کرده و با افزایش سیگنال، افست‌های لازم را بر محورهای سکوی آنتن اعمال کند. KNTUSAT2 نرم‌افزاری با کاربری بسیار ساده است. این نرم‌افزار دارای ویژگی‌های زیر است[۱۱].

۱. دریافت یک لیست اختصاصی از اطلاعات دو خطی ماهواره و ردیابی ماه و خورشید.
۲. حرکت به سمت محور بورسایت با ورود مختصات جغرافیایی محل آن و چرخش و جستجو به روش‌های مختلف حول محور بورسایت.
۳. اعمال افست اولیه به محورهای سمت و سو.
۴. تصحیح و شیفت زمانی روی اطلاعات دو خطی ماهواره قبل از گذر و در حین گذر.
۵. ارائه لیست زوایای ردیابی و رنج ماهواره برای گذرهای ماهواره در طول زمان.
۶. محاسبه شیفت داپلر ماهواره در طول گذر.
۷. کنترل بلادرنگ واسط‌های سخت‌افزاری کنترل سکو.
۸. نمایش مکان ماهواره و ایستگاه روی نقشه گسترده زمین.
۹. نمایش بلادرنگ رنج ماهواره و زوایای ردیابی تئوری و فیدبک سکوی آنتن در صفحه نمایش.
۱۰. محاسبه زوایا، زمان و اطلاعات مرتبط با طلوع و غروب ماهواره و مدت گذر ماهواره.

روش‌های جست‌جوی نیمه‌خودکار در نرم‌افزار ردیابی KNTUSAT2

پس از اینکه مسیر ماهواره توسط نرم‌افزار شبیه‌سازی شد، زوایای سمت و سوی ماهواره به صورت پیش‌برنامه تولید می‌شود. سپس این پارامترها به سکوی آنتن اعمال می‌شود. در این حالت نرم‌افزار قابلیت دارد به چهار روش مختلف، افست‌گیری بلادرنگ زوایای محورهای سکو را انجام دهد شکل(۴).

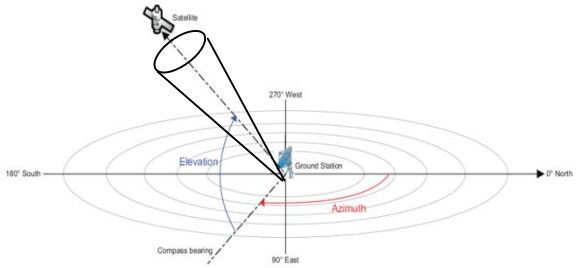
۱- روش جست‌جوی مخروطی آنتن با اعمال افست دو محور
۲- روش جست‌جوی پله‌ای با اعمال افست تک‌محور
۳- روش جست‌جوی چهار جهتی
۴- روش انحراف زمانی



شکل۴. جعبه فعال کردن روش‌های جست‌جوی نیمه‌خودکار در حین گذر

روش جست‌جوی مخروطی آنتن با اعمال افست دو محور

در این روش آنتن در حال ردگیری به صورت پیش‌برنامه است و سکو با زاویه بیم دلخواه به صورت مخروطی حول ماهواره می‌چرخد شکل(۵). در این حالت سایدبارهای نشانگر حرکت محورها با چرخش آنتن حول نقطه هدف به صورت خودکار شروع به حرکت می‌کنند.



شکل۵. شماتیک جست‌جوی مخروطی آنتن

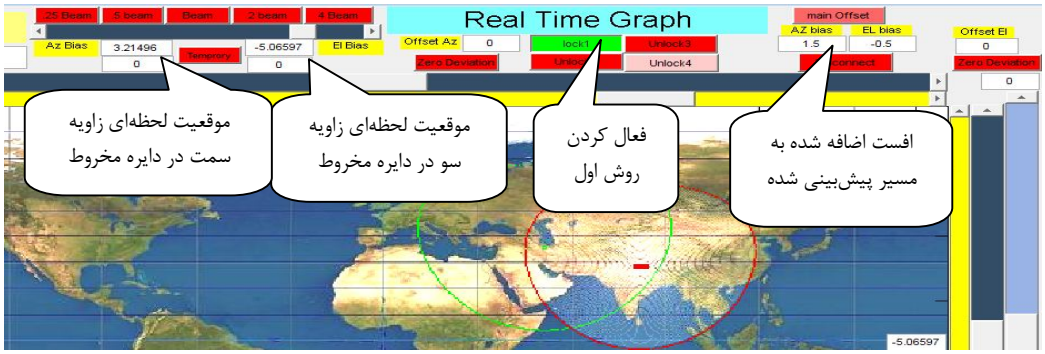
سایدبار نشانگر حرکت سمت متناسب با محل لحظه‌ای محور سمت از مرکز به سمت چپ و راست و سایدبار نشانگر حرکت سو متناسب با محل لحظه‌ای محور سو از مرکز به سمت بالا و پایین حرکت می‌کنند. در این حالت اگر سیگنال مشاهده شده روی سنجنده‌ها در نقطه‌ای افزایش یابد، به سه روش می‌توان افست‌های مطلوب را به محورها اضافه کرد:

۱- در نقطه‌ای که سطح سیگنال بیشینه است، با فشردن دکمه (Temporary) افست زوایا به مسیر پیش‌بینی شده اضافه می‌شود. در این حالت افست هر دو محور به صورت همزمان اضافه می‌شود.

۲- در نقطه‌ای که سطح سیگنال بیشینه است، سایدبارهای افست را به محل لحظه‌ای سایدبارهای نشانگر حرکت جابه‌جا کرده تا افست‌های مطلوب به صورت تک به تک به محورها اضافه شود.

۳- در حین چرخش آنتن حول نقطه هدف، همزمان با افزایش و کاهش سطح سیگنال، سایدبار تغییر سطح سیگنال به صورت دستی افزایش و کاهش داده می‌شود. به این ترتیب با تغییرات همین سایدبار، افست‌های مطلوب به صورت خودکار محاسبه و به محورها اضافه می‌شود.

این جست‌جو در طول گذر ماهواره انجام می‌شود تا سیگنال ماهواره همواره در حالت بیشینه خود بماند شکل(۶).



شکل۶. نمایش استفاده از روش جست‌جوی مخروطی آنتن با اعمال افست دو محور

الگوریتم تصحیح مسیر به این روش به صورت زیر است:

با فرض اینکه (θ) زاویه لحظه‌ای چرخش آنتن باشد، الگوریتم تغییرات سمت و سوی آنتن در هر چهار ربع دایره به صورت زیر است.El زاویه (سوی) ماهواره بوده و از افق محل و به سمت بالا تا ۹۰ درجه محاسبه می‌شود. Az زاویه (سمت) ماهواره و از جهت شمال محلی در صفحه افق و به صورت ساعتگرد تا ۳۶۰ درجه محاسبه می‌شود[۱۲].

در ابتدا آنتن با شعاعی فضایی به اندازه (β) روی دایره‌ای با تغییرات زیر به صورت نقطه به نقطه شروع به حرکت می‌کند شکل(۷).

$$El = El_0 + \beta \sin \theta_t \quad (۱)$$

$$Az = Az_0 + \beta \cos \theta_t \quad (۲)$$

سپس در لحظاتی که دامنه سیگنال صعودی و به سمت بیشینه خود حرکت می‌کند، مسیر آنتن با استفاده از رابطه زیر اصلاح می‌شود:

$$El = El_0 + \Delta El \quad (۳) \quad Az = Az_0 + \Delta Az \quad (۴)$$

$$\Delta El = \alpha(El_t + \Delta t - El_t) \quad (۵) \quad \Delta Az = \alpha(Az_t + \Delta t - Az_t) \quad (۶)$$

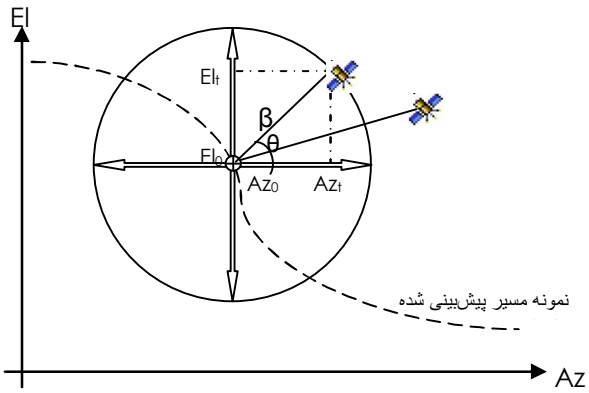
$$El_t = \beta \sin \theta_t \quad (۷) \quad Az_t = \beta \cos \theta_t \quad (۸)$$

با توجه به امکان دریافت بیشینه سیگنال در ربع‌های مختلف دایره و اینکه هدف الگوریتم، نزدیک کردن مرکز دایره به محل بیشینه سیگنال است شکل(۷)، چون ΔAz به ترتیب در ربع اول و سوم و ΔEl به ترتیب در ربع دوم و چهارم به صورت تئوری عددی کوچکتر از صفر می‌شود، قدر مطلق این مقادیر با مسیر مرجع جمع می‌شوند.

t گام‌های زمانی تغییر زوایای سمت و سو و α ضریب نزدیک شدن به هدف است. مقدار این ضریب عددی بین صفر تا یک است. اگر این ضریب به یک نزدیک شود در هر چرخش، نقطه هدف به طور متوالی به بیرون و داخل دایره می‌افتد و دقت رسیدن به نقطه هدف کاهش می‌یابد. از طرفی اگر این ضریب به صفر نزدیک شود زمان رسیدن به هدف کاهش می‌یابد. با استفاده از داده‌های تجربی، این ضریب نباید از ۰/۵ بیشتر و از ۰/۲ کمتر باشد.

روش جست‌جوی پله‌ای با اعمال افست تک‌محور

در این روش محورهای سکو به صورت تک به تک، متناوب و خطی حول مسیر پیش‌بینی شده با زاویه بیم دلخواه تغییر می‌کنند. یعنی ابتدا محور سمت به اندازه زاویه مورد نظر نسبت به مسیر کم و زیاد شده، پس از آن محور سو شروع به تغییرات می‌کند و به همین صورت تغییرات دو محور به صورت مرتب با هم جابه‌جا می‌شوند. در این حالت با تغییرات هر کدام از محورها، اگر سطح سیگنال بیشتر شود، می‌توان افست لحظه‌ای آن محور را توسط همان سه روش قبلبه مسیر اضافه کرد شکل(۷).

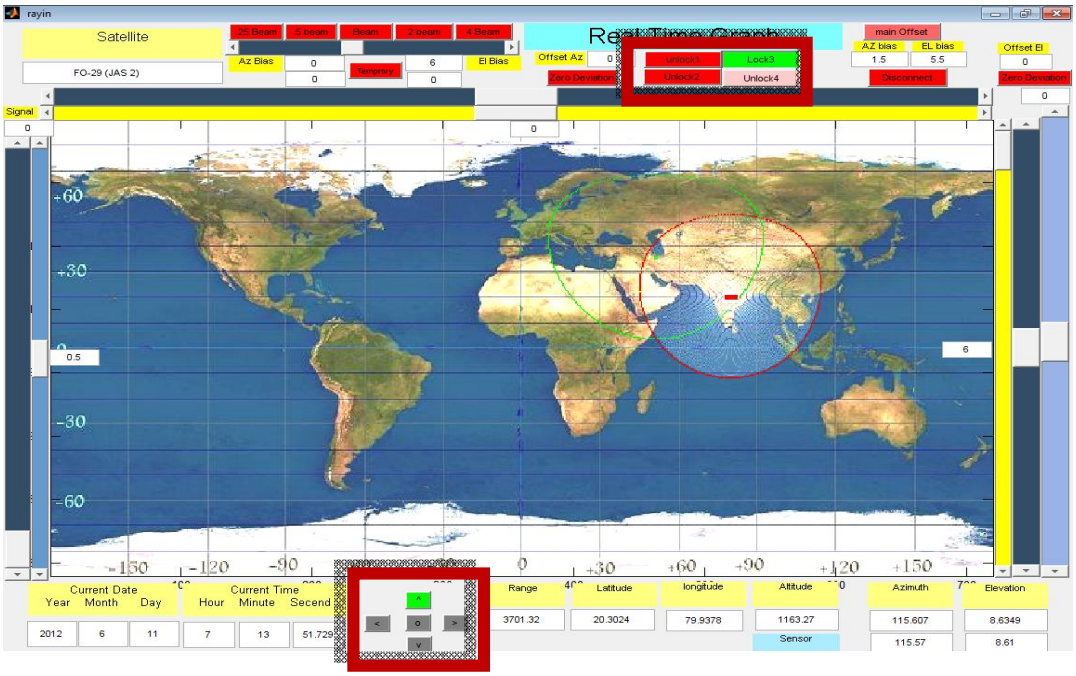


شکل۷. جست‌جوی پله‌ای

روش جست‌جوی چهار جهتی

در این روش در حین گذر ماهواره، آنتن پس از هر چند ثانیه یک افست زاویه‌ای کوچک (به طور نمونه یک درجه) که مقدار آن از قبل در نرم‌افزار وارد شده است، به جهت مثبت یا منفی محورهای سمت یا سو (یا ترکیبی از این دو محور درون اضلاع یک چند ضلعی) اضافه می‌کند. پس از اضافه کردن این افست، چند ثانیه به حرکت گذر خود ادامه می‌دهد.

در صورتی که در سطح توان سیگنال تغییری به وجود نیامد، افست از محور قبلی کم و به محور بعدی اضافه می‌شود. در صورتی که در هر کدام از این چهار جهت سطح توان سیگنال قوی‌تر شد با کلیک روی جهت مورد نظر در جعبه چهار جهتی، این افست تا زمان مورد نظر روی محورهای سکو باقی می‌ماند. به این ترتیب و با اعمال یا تعویض به موقع این افست، تا انتهای گذر ماهواره دریافت خوبی حاصل خواهد شد شکل(۸).

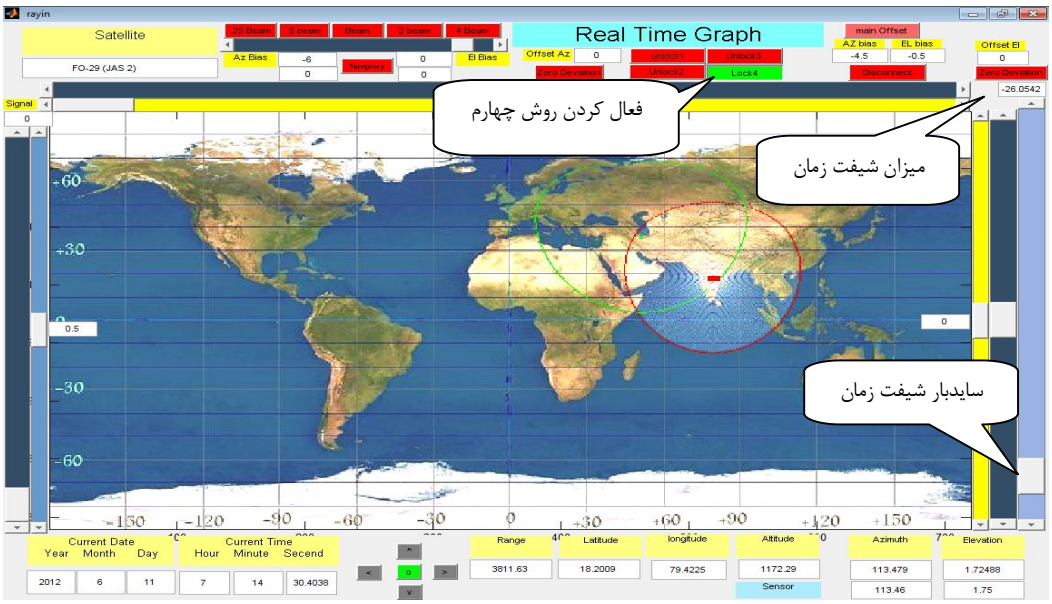


شکل ۸. نمایش استفاده از روش جست‌جوی چهار جهتی

روش انحراف زمانی

در این روش که بسیار کاربردی است، قابلیت شیفت زمان کل گذر وجود خواهد داشت. در محاسبات زمان گذر ماهواره از اطلاعات دو خطی ماهواره‌ها که به طور معمول با خطا مواجه هستند، استفاده می‌شود. شبیه‌سازی گذر به این طریق ممکن است با انحراف زمانی همراه باشد.

با استفاده از قابلیت اصلاح زمان در نرم‌افزار، یعنی جلو و عقب بردن زمانی ماهواره در نرم‌افزار روی مسیر پیش‌بینی شده با زمان واقعی، می‌توان در کلیه محاسبات مکانی ماهواره، انحراف زمانی به وجود آورد. بیشینه و کمینه میزان این انحراف زمانی در نرم‌افزار وارد شده و سپس در زمان گذر، مکان ماهواره در این بازه زمانی قابل تغییر در مسیر خود خواهد بود شکل(۹). در حین گذر بسته به ماهواره و مسیر گذر آن، ممکن است نیاز باشد این روش‌ها با هم جایگزین تا موثرترین روش در آن گذر انتخاب شود.

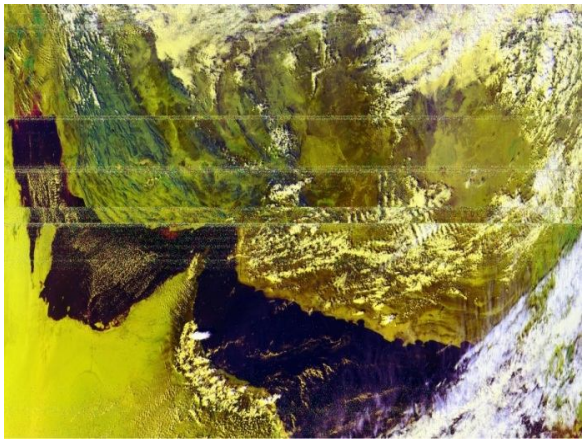


شکل ۹. نمایش استفاده از روش انحراف زمان

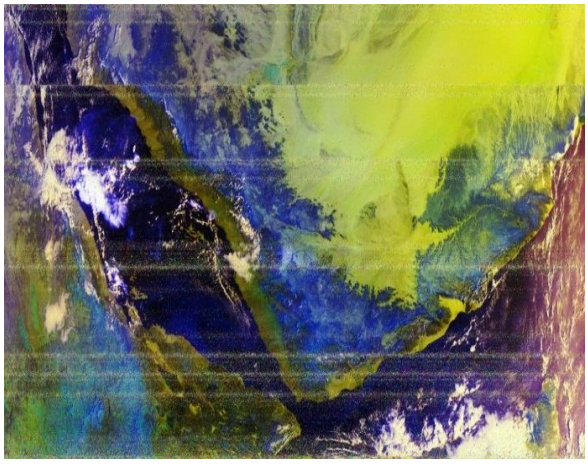
نتایج استفاده از این روش

از این روش‌ها به صورت عملیاتی برای بهبود دریافت تصویر ماهواره‌های هواشناسی سری NOAA در یکی از ایستگاه‌های زمینی داخل ایران استفاده شده است. آنتن ایستگاه از نوع بازتابی (بشقاب) و برای دریافت سیگنال در باند فرکانسی L با پهنای بیم سه درجه طراحی شده است. برای آنتنی با بیم سه درجه، شعاع افست به اندازه یک درجه مناسب است.

تصاویر (۱۰و۱۱) بدون استفاده از روش‌های جستجوی نیمه‌خودکار و صرفا با استفاده از روش پیش‌برنامه دریافت شده است. وجود نویز در ابتدا و انتهای گذر به صورت طبیعی حاصل می‌شود. اما شرایط مطلوب، نبود نویز در طول زمان ردیابی ماهواره است. تصاویر دریافتی به جز در ابتدا و انتها، در طول گذر نیز حاوی نویز بوده و در بعضی نقاط دچار خطوط قطع تصویر است.

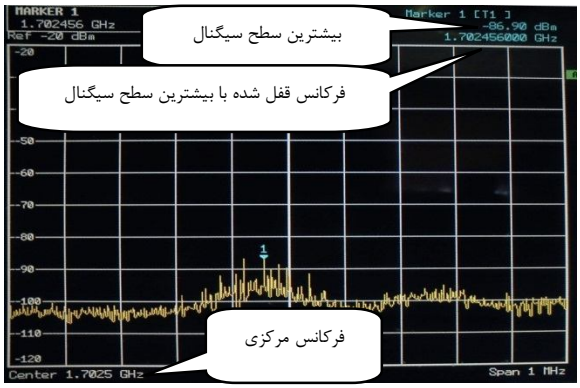


شکل۱۰. تصویر دریافتی به صورت بلادرنگ با استفاده از روش پیش‌برنامه

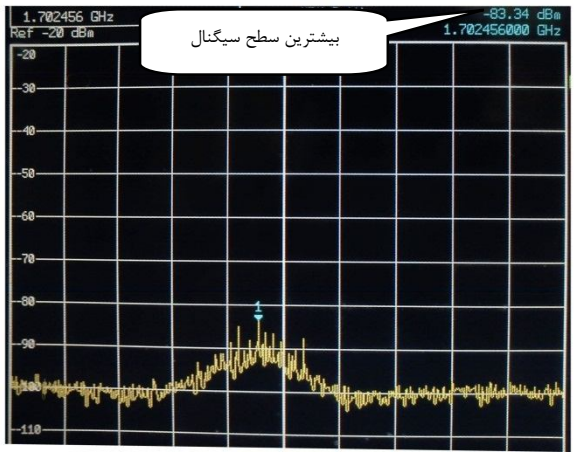


شکل۱۱. تصویر دریافتی به صورت بلادرنگ با استفاده از روش پیش‌برنامه

شکل‌های (۱۲و۱۳) نیز سطح سیگنال دریافتی از ماهواره نوآ۱۸[8] با فرکانس مرکزی ۱۷۰۲/۵ مگاهرتز هنگام دریافت تصاویر (۱۰و۱۱) را نشان می‌دهد. بالاترین سطح سیگنال حاصله در گذر ماهواره‌ای که منجر به استخراج شکل(۸) شده،۸۶/۹dBm- و در گذر ماهواره‌ای که منجر به استخراج شکل(۹) شده،۸۳/۳۴dBm- است.



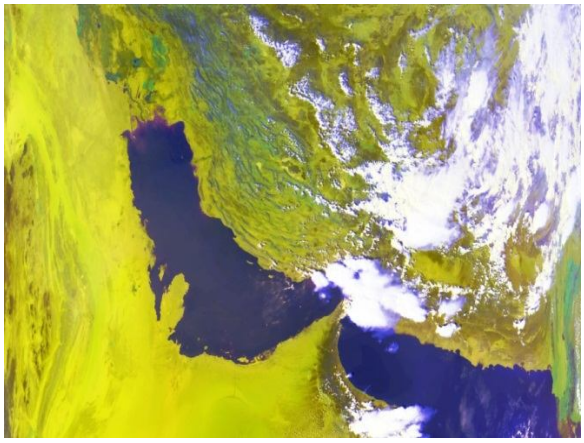
شکل۱۲. نمایش سطح و طیف سیگنال دریافتی از ماهواره NOAA18در گذر اول با استفاده از روش پیش‌برنامه



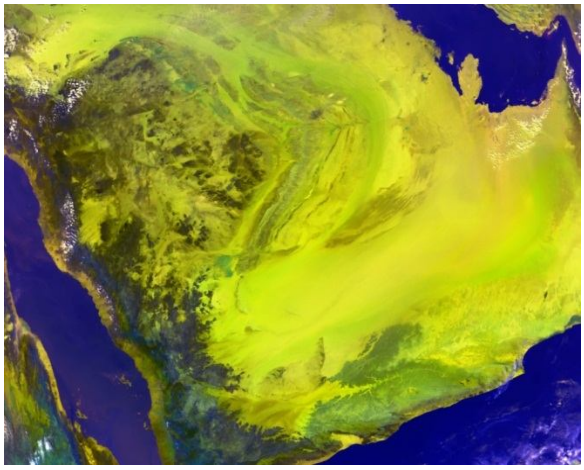
شکل۱۳. نمایش سطح و طیف سیگنال دریافتی از ماهواره NOAA18در گذر دوم با استفاده از روش پیش‌برنامه

تصاویر (۱۴و۱۵) با استفاده از روش‌های جستجوی نیمه‌خودکار دریافت شده است. آنتن در طول گذر همواره حول نقطه بیشینه دامنه سیگنال در جستجو بوده و سیگنال با کیفیت خوب دریافت شده است.

8.NOAA18



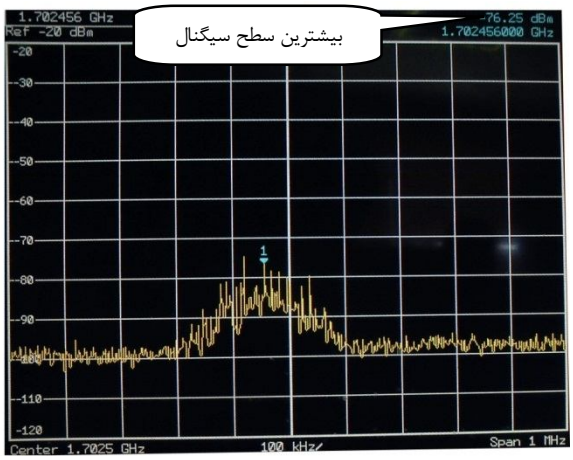
شکل۱۴. تصاویر دریافتی با استفاده روش پیش‌برنامه و تصحیح حرکت آنتن با استفاده از روش جست‌جوی مخروطی آنتن با اعمال افست دو محور



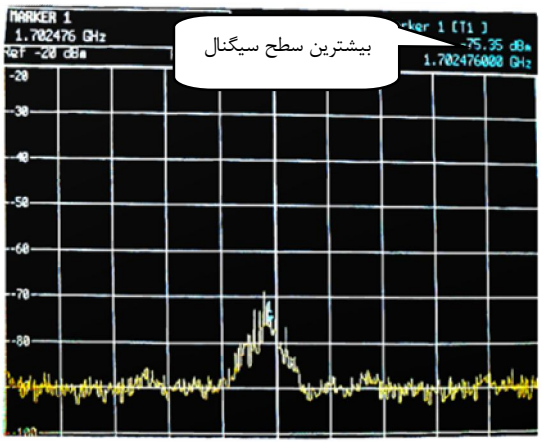
شکل۱۵. تصاویر دریافتی با استفاده روش پیش‌برنامه و تصحیح حرکت آنتن با استفاده از روش جست‌جوی پله‌ای با اعمال افست تک‌محور

تجربه استفاده از این روش‌های نیمه‌خودکار در ردیابی ماهواره‌ها و دریافت‌های متعدد سیگنال و تصاویر ماهواره‌های هواشناسی نشان می‌دهد: اولا به کار بردن این روش‌ها در کنار روش پیش‌برنامه، منجر به افزایش دقت نشانه‌روی آنتن و در نتیجه افزایش سطح سیگنال و دریافت تصاویر با خطای کمتر و کیفیت بهتر خواهد شد. ثانیا به صورت کلی و در تجمیع آزمون‌های فراوان، نتایج حاصل شده نشان می‌دهد در بین این چهار روش، روش جست‌جوی پله‌ای با اعمال افست تک محور بهتر از سه روش دیگر کارآیی دارد. اما این یک قاعده مبنایی نیست و بسته به باند فرکانسی، مدار ماهواره و زمان به روز بودن اطلاعات دو خطی، ممکن است هر کدام از سه روش دیگر کاربرد بیشتری داشته باشد.

شکل‌های (۱۶و۱۷) نیز سطح سیگنال دریافتی از همان ماهواره نوآ۱۸ هنگام دریافت تصاویر (۱۴و۱۵) را نشان می‌دهد. بالاترین سطح سیگنال حاصله در گذر ماهواره‌ای که منجر به استخراج شکل(۱۴) شده، ۷۶/۲۵dBm- و در گذر ماهواره‌ای که منجر به استخراج شکل (۱۵) شده، ۷۵/۳۵dBm- است. با مقایسه شکل‌های (۱۶و۱۷) با شکل‌های (۱۲و۱۳) می‌توان دید با به کاربردن روش‌های جست‌جوی نیمه‌خودکار با افزایش دقت نشانه‌روی سطح سیگنال در حدود۱۰dBm بهبود یافته است.



شکل۱۶. نمایش سطح و طیف سیگنال دریافتی از ماهواره NOAA18 در گذر اول با استفاده از روش جست‌جوی مخروطی آنتن با اعمال افست دو محور



شکل۱۷. نمایش سطح و طیف سیگنال دریافتی از ماهواره NOAA18 در گذر دوم با استفاده از روش جست‌جوی پله‌ای آنتن با اعمال افست تک‌محور

نتیجه‌گیری

دقت بالای مورد نیاز حرکت آنتن، برای برقراری ارتباط سالم با ماهواره مستلزم استفاده از روش‌های دقیق ردیابی است. نتایج عملیاتی نشان می‌دهد روش‌های جدید ردیابی نیمه‌خودکار جست‌جوی سیگنال، روش‌های مناسبی برای تصحیح مسیرهای پیش‌برنامه است. با به کاربردن این روش‌ها دقت نشانه‌روی آنتن افزایش یافته و سطح سیگنال دریافتی از ماهواره افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج آزمون‌های انجام شده، میزان این افزایش سیگنال یک مقدار ثابت نبوده ولی افزایش کیفیت تصاویر و کاهش نویز در

داده‌های دریافتی به صورت واضح مشهود است. در بین این روش‌های معرفی شده، روش جست‌جوی پله با اعمال افست تک‌محور توانایی بیشتری در جست‌جو و دنبال کردن سیگنال بیشینه دارد. به صورت کلی استفاده از این روش‌ها علاوه بر سادگی و عدم نیاز به تجهیزات پیشرفته، روش‌های کم هزینه‌ای برای افزایش دقت ردگیری ماهواره می‌باشد.

مرجع‌ها

[1] IEEE Std 686, Standard for Radar Definitions.

[2]Hawkins, G. J.;Edwards, D. J. and McGeehan,J. P., "Tracking System for Satellite Communication" IEE, Proceeding, 1988, Vol. 135, pp. 393-407.

[3]Samual M. Sherman, "Monopulse Principles and Techniques", Artech House, 1984.

[4]Harries,G. and Heaviside, J. W., "Naval satellite communication terminals". IEE Conference Proceedings on Satellite Systems for Mobile Communication and Surveillance, 1973, pp.48-51.

[5]Knox, D. M. and Doble, J. E., "The modified primary feed and tracking system for Goonhilly No. 1 aerial". IEE Conference Proceeding on Earth Station Technology, 1970, PP.201-207.

[6]Ohison, J.E. and Reid, M.S., "Conical scan tracking with the 64m diameter antenna at Goldston". Contract NAS7-100, Jet Propulsion Lab, Calif. Inst. Of Technology, Pasadena,1976.

[۷] ایرج بابایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد برق-کنترل: «طراحی و شبیه‌سازی ردگیر رادیویی پیشبین آنتن ایستگاه‌های زمینی»، دانشگاه صنعتی مالک اشتر،دانشکده مهندسی برق ۱۳۸۹.

[۸] سید یاسر مختاری، پایان نامه کارشناسی ارشد برق-کنترل: «طراحی و شبیه‌سازی ردگیر رادیویی ماهواره به روش منوپالس تراک»، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، دانشکده مهندسی برق ۱۳۸۹.

[9]Sebastion Stoff, "Orbitron Version 3.71", http://www.stoff.pl, 2001-2005

[10]Michael R. Owen, "Nova for Windows User's Manual", Northern Lights Software Associates, 2000

[۱۱] مهرزاد نصیریان، رساله‌ی دکترا برق-کنترل: «طراحی شبیه‌سازهای ردگیر ایستگاه‌های زمینی و کنترل وضعیت ماهواره»، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی برق ۱۳۸۶.

[۱۲] مهرزاد نصیریان، احسان دانش‌نیا، «ردیابی خودکار ماهواره و ماهواره‌بر به روش جست‌جوی مخروطی آنتن»، بیستمین همایش سالانه بین‌المللی مهندسی مکانیک ایران، شیراز، ISME2012-1924، ۱۳۹۱.