

## Detection of Spoofing Attack Based on Multi-Layer Neural Network in Single-Frequency GPS Receivers

E. Shafiee, M. R. Mosavi\* and M. Moazedi

\*Iran University of Science and Technology

( Received: 25/12/2014, Accepted: 10/05/2015)

### ABSTRACT

*A GPS spoofing attack attempts to deceive a GPS receiver by broadcasting counterfeit GPS signals. Structured to resemble a set of normal GPS signals, but it is a little stronger. In the recent years, there have been presented many different solutions for detection and reduction of spoofing attack. Neural Networks (NNs) are the modern computational method for learning machine and then imposing the acquired knowledge for predicting the output response of complicated systems. This paper presents a main approach to GPS spoofing detection based on intelligent systems. Signals are classified using auto-correlation features. Indices of early-late phase, delta and total signal level as inputs of multi-layer NN in order to detect spoofing signal in GPS receiver tracking loop. Authentic and spoof signals have different statistical pattern in named parameter and NN can detected it. Since NN is able to exploit multiple features from different methods, it classifies signals with error less than the conventional techniques. Finally, the least precision obtained from simulation of NN based GPS software receiver is 98.78% in correct detection of spoofing signal from valid signal. Moreover, the detection time is less than the existing methods.*

**Key words:** Detection, GPS, Spoofing Attack, Neural Network.

## تشخیص و آشکارسازی حمله فریب در گیرنده تک فرکانسه GPS مبتنی بر شبکه عصبی چندلایه

ابراهیم شفیعی<sup>۱</sup>، سید محمدرضا موسوی<sup>۲\*</sup>، مریم معاضدی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- استاد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران

۳- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران

(دریافت: ۹۳/۱۰/۰۴؛ پذیرش: ۹۴/۲/۲۱)

### چکیده

فریب GPS تلاشی برای گمراه کردن گیرنده GPS با انتشار سیگنال‌های جعلی است. ساختار سیگنال فریب شبیه به سیگنال‌های معتبر ماهواره‌های GPS و کمی قوی‌تر از آن‌ها است. در سال‌های اخیر راه کارهای متنوعی جهت تشخیص و کاهش فریب ارائه گردیده است. شبکه‌های عصبی، روش محاسباتی نوینی برای یادگیری ماشین و سپس اعمال دانش به دست آمده در جهت پیش‌بینی پاسخ خروجی سامانه‌های پیچیده هستند. در مقاله حاضر، استفاده از سیستم هوشمند رویکرد اصلی در الگوریتم پیشنهادی تشخیص فریب GPS قرار داده شده است. با استفاده از مشخصه‌های همبستگی، سیگنال‌ها را با کمک شبکه عصبی دسته‌بندی نموده‌ایم. شاخص‌های فاز مقدم و مؤخر، دلتا و سطح کل سیگنال را به عنوان ورودی‌های شبکه عصبی چندلایه اعمال کرده تا سیگنال فریب را در حلقه ردیابی گیرنده GPS شناسایی کند. سیگنال‌های فریب و معتبر الگوی آماری متفاوتی در شاخص‌های نامبرده دارند و شبکه عصبی این تفاوت را تشخیص می‌دهد. شبکه عصبی با خطای کمتری نسبت به روش‌های پیشین سیگنال‌ها را دسته‌بندی می‌نماید، زیرا می‌تواند چندین روش را به طور هم‌زمان به کار گیرد. در نهایت، کمترین دقت به دست آمده از شبیه‌سازی گیرنده نرم‌افزاری مبتنی بر شبکه عصبی، دقت ۹۸/۷۸ درصدی در تشخیص صحیح سیگنال فریب از سیگنال معتبر است. همچنین بیشترین زمان تشخیص سیگنال فریب ۰.۶ ثانیه است.

واژه‌های کلیدی: فریب GPS، شبکه عصبی، تشخیص و آشکارسازی سیگنال فریب.

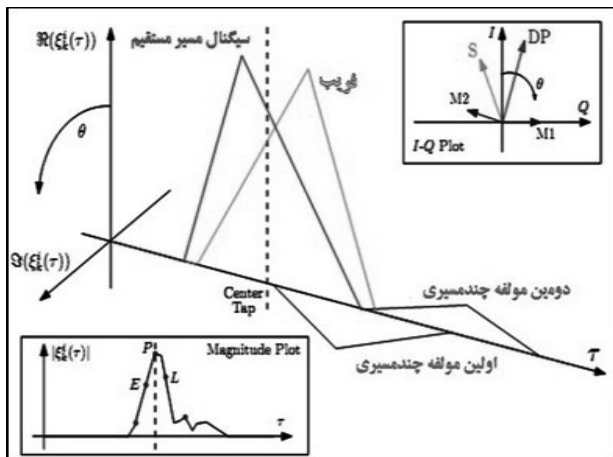
### ۱. مقدمه

فریب‌دهنده منحرف گردد [۱-۳].

شکل (۲) دنباله‌ای از فریب‌ها را در دو نوع حمله به گیرنده GPS نشان می‌دهد. سه نقطه نشان‌دهنده نقاط ردیابی حلقه قفل تأخیر هستند که به طور پیوسته تلاش می‌کنند به صورتی خود را تطبیق دهند که نقطه مرکزی بیشینه و نقاط جانبی هم‌تراز شوند. بازه زمانی  $T_1$  نشان می‌دهد که نقاط ردیابی به خوبی با بیشینه همبستگی سیگنال اصلی تطبیق پیدا کرده‌اند. در یک حمله فریب هم‌گام، درحالی‌که بیشینه سیگنال جعلی به طور پنهانی نزدیک می‌شود، بیشینه سیگنال جعلی در ابتدا کوچک‌تر از بیشینه سیگنال اصلی است. بعد از آن که تأخیر زمانی بیشینه همبستگی سیگنال فریب داده شده با بیشینه اصلی تطبیق پیدا کرد، توان سیگنال جعلی به تدریج افزایش پیدا کرده تا شروع به کنترل نقاط ردیابی کند. در نهایت، سیگنال جعلی کنترل حلقه را تحت اختیار خود درآورده است. سه نقطه نمایش داده شده نمادی از سه شاخه همبسته‌ساز در

افزایش اهمیت امنیت در سامانه‌های مخابراتی و الکترونیکی منجر به ارائه روش‌های محافظت از سیگنال‌ها شده است. از جمله سیگنال‌های مهم موجود می‌توان سیگنال GPS<sup>۱</sup> را نام برد. سیگنال دریافتی از ماهواره‌های GPS در سطح زمین بسیار ضعیف و در برابر تداخل در باند آسیب‌پذیر است؛ بنابراین یک تداخل کم توان نیز می‌تواند به راحتی گیرنده GPS را فریب دهد. فریب یک دخالت عمدی است که هدف آن وادار کردن گیرنده ی GPS به تولید سیگنال ناوبری غلط است. سیگنال فریب می‌تواند تأخیر در انتشار مجدد سیگنال ذخیره‌شده معتبر GPS باشد. شکل (۱) یک فریب در حال اتفاق را نشان می‌دهد که فریب‌دهنده توانسته با در اختیار گرفتن پیک همبستگی گیرنده مطابق شکل (۲)، داده ناوبری غلط تولید کند تا گیرنده GPS از مسیر اصلی به مسیر مورد نظر

\*ایرانامه نویسنده پاسخگو: M\_Mosavi@iust.ac.ir

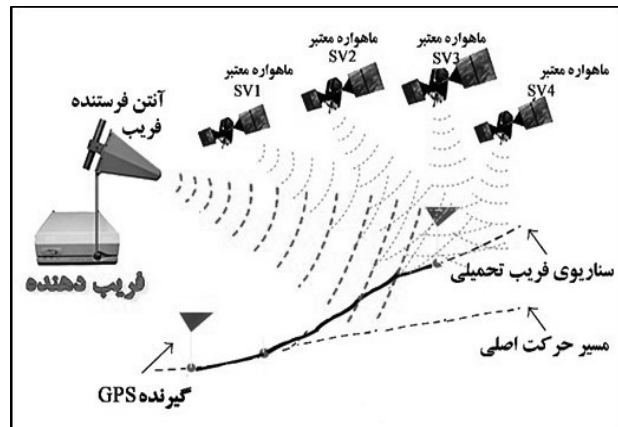


شکل (۴). ساختار سیگنال فریب، شکل ناحیه همبستگی مختلط یک حمله فریب و نمودار دامنه و فاز

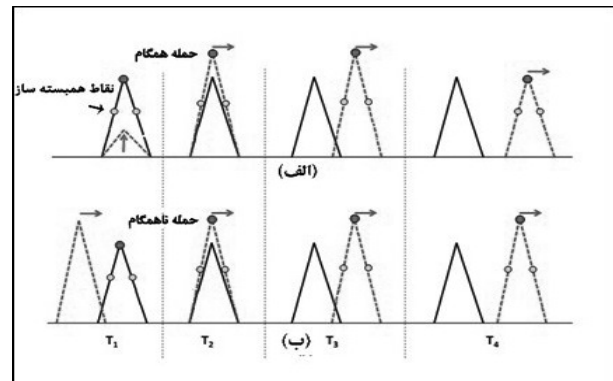
روش‌های مختلفی برای تشخیص و مقابله با فریب وجود دارند [۶]. اغلب روش‌های مقابله با فریب متناسب با نوع حمله فریب طراحی و پیاده‌سازی می‌شوند. یکی از روش‌های ابتدایی در این زمینه به تحلیل دامنه‌های خروجی همبسته‌ساز برای آشکارسازی فریب می‌پردازد. رویکرد دیگر به بررسی نسبت حامل به نویز  $C/N_0$  پرداخته و با تغییرات ناگهانی در سیگنال دریافتی حضور فریب را مشخص می‌نماید [۷].

در شرایط مناسب جوی، فقط تغییرات یونسفر و حرکت ماهواره‌ها می‌توانند تغییرات همواره تدریجی را در توان دریافتی به وجود آورند. در گیرنده ضدفریب، پی‌دپی  $C/N_0$  بررسی می‌شود و هر تغییر غیرعادی نسبت حامل به نویز می‌تواند نشانه‌ای از وجود حمله فریب باشد [۹].

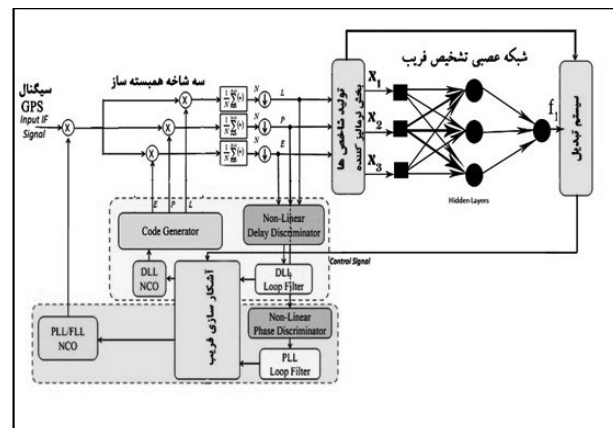
روش‌های نظارت بر کیفیت سیگنال  $^4$  SQM) قله‌های غیرطبیعی نوک تیز سیگنال و یا یکسانی پیک‌های روی هم افتاده سیگنال GPS را که توسط فریب‌دهنده تحمیل می‌شود، تشخیص می‌دهند. این روش‌ها وقتی به کار گرفته می‌شوند که تابع همبستگی مختلط، نامتقارن می‌گردد. بررسی و تصمیم‌گیری برای حضور یا عدم حضور حمله فریب با آزمون‌های فرضیه آماری انجام می‌شود [۱۰-۱۱]. دفاع سیگنال باقی‌مانده  $^5$  (VSD) روشی بر اساس نظارت بر خرابی ناحیه همبستگی مختلط است تا یک حمله فریب در جریان را تشخیص دهد. عملکرد این روش به میزان تضعیف سیگنال اصلی GPS در طول حمله فریب وابسته است. در این حالت اثری از سیگنال معتبر باقی می‌ماند و به‌عنوان یک انحراف از تابع همبستگی مختلط آشکار می‌شود [۱۲].



شکل (۱). سناریوی یک فریب در حال اتفاق، انحراف گیرنده GPS از مسیر اصلی.



شکل (۲). دو سناریوی فریب، شکل ناحیه همبستگی در حلقه ره‌گیری: (الف) فریب همگام و (ب) فریب ساده [۸].



شکل (۳). ساختار گیرنده بردار پایه تشخیص فریب (رویکرد پیشنهادی مبتنی بر شبکه عصبی)

گیرنده GPS می‌باشند که در شکل (۳) ترسیم شده‌اند. همچنین نقاط همبستگی مختلط به نام‌های همبسته‌ساز بی‌درنگ<sup>۱</sup>، همبسته‌ساز مقدم و مؤخر<sup>۲</sup> (P, E و L) هستند که در شکل (۴) نشان داده شده‌اند [۴-۵].

3-Carrier to Noise Ratio  
4-Signal Quality Monitor  
5-Vestigial Signal Defense

1- Prompt Correlator  
2- Early-Late Correlator

مختلف در مسیرهای گوناگون فرستاده می‌شوند. از این رو می‌توان روش پردازش فضایی را برای تخمین اثر سه‌بعدی سیگنال‌های دریافت‌شده و تفکیک این سیگنال‌ها که رابطه فضایی مشخصی دارند، به کار گرفت. روش زاویه ورود بر مبنای این واقعیت، یکی از روش‌های معتبر و معمول برای شناسایی و کاهش فریب محسوب می‌شود. برای اجرای این روش به داشتن آرایه‌ای از آنتن‌ها نیاز است. یک آرایه آنتن می‌تواند توزیع فضایی سیگنال دریافتی را تخمین بزند و سیگنال رسیده از فرستنده معتبر را از نمونه جعلی تفکیک کند. آرایه چند آنتنه، آرایه دو آنتنه و آرایه مصنوعی تک آنتنه متحرک سه روش متفاوت برای پیاده‌سازی آرایه مورد نظر هستند [۱۹-۲۲].

هدف از این مقاله، ارائه روش نوین آشکارسازی فریب سیگنال GPS مبتنی بر شبکه عصبی برای پیاده‌سازی در گیرنده نرم‌افزاری GPS است. بدین صورت که در حضور سیگنال فریب، شبکه عصبی به محض مشاهده هر توزیع غیرعادی، نسبت به آن واکنش نشان می‌دهد. این روش در واقع یک دفاع نرم‌افزاری محسوب می‌شود و بدون تغییر سخت‌افزاری در گیرنده GPS آن را در برابر فریب مقاوم می‌نماید. در نتیجه هزینه اجرای کمی دارد و ابعاد گیرنده را افزایش نمی‌دهد. در ادامه پس از توضیح پایه تئوری روش پیشنهادی، روش کار شبکه عصبی ارائه‌شده شرح داده می‌شود. در نهایت بعد از گزارش نتایج حاصل از ارزیابی شبکه عصبی به مقایسه کیفی با دیگر الگوریتم‌های شناسایی فریب می‌پردازیم.

## ۲- الگوریتم پیشنهادی تشخیص فریب مبتنی بر شبکه عصبی

از مزایای شبکه عصبی می‌توان به مواردی هم چون یادگیری تطبیقی، تحمل خطا، دسته‌بندی، تعمیم‌دهی، پایداری و انعطاف‌پذیری اشاره کرد؛ بنابراین می‌توان به‌منظور مقابله با فریب، از سامانه‌های هوشمند مانند شبکه عصبی بهره برد که در ادامه به شرح و بسط این ابزار و شبیه‌سازی آن جهت آشکارسازی فریب پرداخته می‌شود [۲۳].

شبکه عصبی پیشنهادی می‌تواند از چندین معیار و روش به‌صورت ترکیبی استفاده کند و ویژگی منحصر به فرد هر روش را به خود اختصاص دهد. روش‌های بررسی همبستگی در چندمسیری دچار خطا می‌شوند و روش‌های بر پایه توان به اختلال‌های دیگر حساس هستند. شبکه عصبی با ترکیب روش‌های نامبرده دقت و صحت اندازه‌گیری را بهبود می‌دهد و امکان تشخیص فریب‌های پیچیده با حضور چندمسیری و نویز را مؤثر می‌سازد [۲۴].

در این مقاله برای مقابله با فریب در گیرنده GPS از شبکه عصبی برای آشکار کردن پیک‌های همبستگی جعلی هنگامی که

در روش بردار پایه<sup>۱</sup> گیرنده GPS در حال ردیابی، بر روی تعقیب پیک همبستگی سیگنال اصلی تمرکز دارد. در این روش دامنه‌های خروجی پنج شاخه همبسته‌گر به‌طور اختصاصی در آزمون فرضیه آماری برای آشکارسازی فریب بررسی می‌گردند. به عبارتی خروجی بلوک هیستوگرام بر مبنای میانگین انحراف معیار خروجی همبسته‌سازها تعریف می‌شود و مقدار آزمون برای خروجی محاسبه می‌گردد. اگر همه پنج شاخه همبسته‌ساز زیر حد آستانه بودند، سیگنال معتبر است و تا زمانی که همه مقادیر آزمون به ازای همه شاخه‌ها به زیر حد آستانه نرسند، وجود حمله فریب مورد تأیید است [۱۳-۱۲].

تفکیک زمان ورود<sup>۲</sup> (TOA) در صورتی که انتقال بیت داده ناوبری در لحظاتی از زمان با فاصله‌گذاری غیر از ۲۰ms رخ دهد، حمله فریب‌نده ظاهر می‌شود [۱۴]. در روش بررسی سازگاری موقعیت‌یابی گیرنده GPS با دیگر روش‌های تعیین موقعیت، می‌توان از اطلاعات تجهیزات کمکی موقعیت‌یابی برای تفکیک تهدید فریب کمک گرفت. به‌کاربردن این روش، پیچیدگی سخت‌افزاری و نرم‌افزاری گیرنده GPS را افزایش می‌دهد [۱۵]. در رویکرد بررسی سازگاری و تخمین پارامترهای سیگنال ورودی، گیرنده سیگنال GPS را دریافت، ذخیره و با داده‌های دقیقه قبل مقایسه می‌کند. گیرنده با استخراج مشخصه‌های سیگنال و مشاهده هرگونه تغییرات بزرگ و پیش‌بینی‌نشده در اندازه آن، وجود فریب را اعلام می‌کند [۱۶].

روش انتخاب پیک معتبر بر اساس مشخصه CNR ادغام شده با یک قاعده تصمیم‌گیری در مقابله با فریب به کار گرفته می‌شود. این روش پیاده‌سازی ساده‌ای دارد، ولی در حمله‌های تأخیری کارآیی مطلوبی ندارد [۱۷].

از دیگر روش‌های ارائه‌شده در این حوزه می‌توان به بررسی اندازه توان اشاره نمود. این روش با بررسی توان سیگنال‌های اصلی و جعلی می‌تواند وجود سیگنال فریب را در سناریوهای مختلف فریب، تشخیص دهد. معمولاً فرستنده‌های فریب، چندین سیگنال جعلی را از یک آنتن می‌فرستند، در حالی که سیگنال‌های معتبر GPS از ماهواره‌های مختلف در مسیرهای گوناگون فرستاده می‌شوند. از این رو می‌توان از روش پردازش فضایی، برای تخمین اثر سه‌بعدی سیگنال‌های دریافت‌شده و تفکیک این سیگنال‌ها استفاده کرد و اقدام به کاهش فریب نمود [۱۸].

به‌دلیل محدودیت‌های عملی، معمولاً فرستنده‌های فریب (به جزء فریب پیچیده) چندین سیگنال جعلی را از یک آنتن می‌فرستند، در حالی که سیگنال‌های معتبر GPS از ماهواره‌های

1-Vector-Base  
2-Time of Arrival  
3- Carrier to Noise Ratio

حالت فریب و معتبر وجود دارد. این دو حالت فریب و معتبر به ترتیب به دو عدد  $+1$  و  $-1$  در لایه خروجی نسبت داده شده‌اند. ورودی‌ها پس از محاسبات داخلی به دسته‌ای که نشان‌دهنده ماهیت سیگنال است، در لایه خروجی با یک نرون نگاشته می‌شوند [۲۵].

### ۳- طراحی و ارزیابی عملکرد شبکه عصبی پیشنهادی

هنگام کار با شبکه عصبی MLP با دو مسئله انتخاب معماری مناسب و انتخاب الگوریتم آموزشی مناسب روبرو هستیم. معماری مناسب به معنی انتخاب بهینه تعداد لایه‌ها، تعداد نرون‌ها در هر لایه و نوع تابع تحریک هر نرون می‌باشد و الگوریتم بهینه شبکه‌های عصبی مبتنی بر مجموعه داده‌ها و ویژگی‌های آنان است. قبل از استفاده از شبکه عصبی برای دسته‌بندی سیگنال‌ها، ابتدا باید شبکه توسط بردار معیار سیگنال با دسته مشخص آموزش داده شود. شبکه عصبی شبیه‌سازی شده دارای سه معیار تشخیص فریب است که تلاش می‌کند به کمک فرآیند یادگیری  $LM^2$  و نرون‌های پردازشگر با شناخت روابط ذاتی بین داده‌ها، نگاشتی میان فضای ورودی یا همان معیارهای تشخیص فریب (لایه ورودی) و فضای ماهیت سیگنال (لایه خروجی) برقرار کند [۲۶]. لایه‌های مخفی، اطلاعات دریافتی از لایه ورودی را پردازش کرده و در اختیار لایه خروجی قرار می‌دهند. هر شبکه با دریافت داده‌های معتبر و فریب آموزش می‌بیند. آموزش فرآیندی است که در نهایت منجر به یادگیری می‌شود. یادگیری شبکه زمانی انجام می‌گردد که وزن‌های ارتباطی بین لایه‌ها چنان تغییر کند که اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی شده و محاسبه شده در حد قابل قبولی باشد. با دست‌یابی به این شرایط، فرآیند یادگیری محقق شده است. این وزن‌ها بیانگر حافظه و دانش شبکه می‌باشند. شبکه عصبی آموزش دیده می‌تواند جهت تشخیص فریب با مجموعه جدید داده‌های حقیقی GPS به کار رود [۲۷].

الگوریتم  $LM$ ، الگوریتمی برای همگرایی سریع در آموزش شبکه‌های عصبی است. این الگوریتم، یک روش استاندارد برای مسائل حداقل مربعات غیرخطی بوده و به‌عنوان ترکیبی از روش نیوتن گوس و بیشترین شیب نزول بیان می‌شود. در این مقاله به‌منظور آموزش گیرنده GPS مجهز به تشخیص فریب از الگوریتم مطرح  $LM$  استفاده گردیده که از سرعت همگرایی بهتری در مقایسه با روش‌های دیگر استاندارد برخوردار است و محاسبات و حافظه کمتری لازم دارد [۲۷].

نزدیک به پیک اصلی هستند، استفاده شده است. شبکه عصبی با بهره‌گیری از سه شاخه همبسته‌ساز در حلقه ردیابی امکان تشخیص فریب را فراهم می‌کند.

در حضور یک سیگنال فریب، شبکه عصبی به محض مشاهده توزیع غیرعادی هر خروجی همبسته‌ساز با کمک ابزار حد آستانه‌های ضرایب معیار VSD و نظارت بر سطح سیگنال به‌هنگار شده همبستگی، فریب را آشکار می‌کند. شکل (۳) ساختار گیرنده تشخیص فریب مبتنی بر شبکه عصبی پیشنهادی را نشان می‌دهد. سیگنال GPS پس از عبور از سه شاخه همبسته‌گر وارد بلوک مولد شاخص‌های تشخیص فریب می‌شود. پس از آن به‌هنگار شده‌اند و آماده اعمال به شبکه عصبی پیشنهادی می‌گردند. به‌هنگار کردن مقادیر شاخص‌ها باعث جلوگیری از اشباع شدن نرون‌ها می‌شود. به دلیل متفاوت بودن گستره بازه تغییرات هر یک از شاخص‌های ورودی شبکه عصبی، آن‌ها را در محدوده  $[-1, +1]$  به‌هنگار می‌کنیم. در صورتی که به‌هنگار نشوند و تغییرات در حد بالای مقادیر یک شاخص رخ دهد، باعث کاهش حساسیت نرون‌ها به ورودی‌ها می‌شود و با توجه به نمودار تابع  $tansig$  به‌ازای تغییرات در مقادیر بالای یک شاخص ورودی یک نرون، تغییرات جزئی در خروجی خواهد داشت و نرون اشباع شده است. شبکه با توجه به ورودی‌های خود می‌تواند وجود فریب را با یک شدن خروجی خود تشخیص دهد. همان‌گونه که در نمودار دامنه فاز شکل (۴) مشاهده می‌شود، تطبیق فاز سیگنال فریب با سیگنال معتبر صورت نگرفته است و این موضوع در نمودار I-Q بالای شکل مشخص‌تر است. سیگنال‌های چندمسیری<sup>۱</sup> به علت انعکاس از اشیاء علاوه بر تضعیف دامنه دچار تأخیر نسبت به سیگنال مسیر مستقیم ماهواره می‌شوند.  $M_1$  و  $M_2$  مؤلفه اول و دوم چندمسیری<sup>۱</sup> می‌باشند و مؤلفه‌های دیگر به‌علت تضعیف زیاد در نظر گرفته نشده است. روابط (۱) و (۲)، معادله سیگنال نمایش داده شده است. اساس دسته‌بندی سیگنال‌ها در این مطالعه، با توجه به ویژگی‌های بردارهای سیگنال‌ها بوده است. در واقع این روش از دشوار بودن ایجاد فریبی که بتواند به‌طور همزمان هر سه مشخصه توان، فاز و توزیع همبستگی سیگنال فریب را منطبق با سیگنال اصلی نگه دارد، استفاده می‌نماید؛ بنابراین معیارهای VSD و سطح سیگنال به‌هنگار شده از خروجی همبسته‌ساز استخراج و به ورودی‌های شبکه عصبی اعمال می‌شوند.

نحوه عملکرد شبکه عصبی  $MLP^2$  برای دسته‌بندی و تخمین نظارت‌شده فریب بدین‌صورت است که یک بردار سه‌بعدی از معیارهای تشخیص فریب به لایه ورودی شبکه با سه گره وارد می‌شود. این بردار شامل مشخصه‌های مربوط به سیگنال GPS دریافتی است. فرض بر این است که برای هر سیگنال ورودی دو

1-Multi-path

2-Multi-Layer Perceptron

3-Levenberg Marquardt

در این رابطه،  $I_{E,\tau}(t)$  و  $I_{L,\tau}(t)$  به ترتیب بخش حقیقی شاخه‌های مقدم و مؤخر همبستگی می‌باشند که به اندازه  $\tau$  ثانیه جلوتر و عقب‌تر از شاخه بی‌درنگ  $I_p(t)$  در جزء فازی در زمان  $t$  هستند. ورودی دوم شبکه معیار فاز مقدم و مؤخر است که از رابطه (۴) محاسبه می‌گردد [۱۸]:

$$x_2 = ELP_{\tau}(t), ELP_{\tau}(t) = \tan^{-1} \left( \frac{Q_{L,\tau}(t)}{I_{L,\tau}(t)} - \frac{Q_{E,\tau}(t)}{I_{E,\tau}(t)} \right) \quad (4)$$

در اینجا،  $Q_{L,\tau}(t)$  و  $Q_{E,\tau}(t)$  به بخش موهومی شاخه‌های مقدم و مؤخر اشاره می‌کنند که به اندازه  $\tau$  ثانیه جلوتر و عقب‌تر از نواخت بی‌درنگ  $I_p(t)$  در جزء توان  $\tau$  در زمان  $t$  هستند. ورودی سوم شبکه عصبی  $x_3$  سطح کل سیگنال به‌هنجار شده است:

$$x_3 = SL, SL = \frac{1}{T} \int_T |x(t, \tau)|^2 d\tau \quad (5)$$

پس از تعیین شاخص‌های ورودی، داده‌های ورودی‌های شبکه عصبی را طبق روابط (۶) و (۷) بین  $[-1]$  و  $[+1]$  به‌هنجار می‌نماییم.

$$X_{Scale} = X_{input} \times S + O \quad (6)$$

$$S = \frac{Hi - Low}{Max - Min}, O = \frac{Max \times Low - Min \times Hi}{Max - Min} \quad (7)$$

در رابطه (۶)،  $S$  و  $O$  به ترتیب مبین ضریب مقیاس و انحراف می‌باشند. پارامترهای  $Max$  و  $Min$  حداکثر و حداقل داده ورودی و  $Hi$  و  $Low$  تعیین‌کننده حدود مقیاس هستند. در شکل‌های (۷-۵) سه ورودی توصیف‌شده ترسیم شده‌اند. نمونه‌های سیگنال فریب در شاخص‌های دلتا و فاز مقدم و مؤخر شکل‌های (۶-۵) رفتاری متفاوت با سیگنال اصلی دارند. این بدین دلیل است که سیگنال فریب نتوانسته تطبیق فاز با سیگنال معتبر را حفظ کند و حفظ تطبیق فاز مستلزم نزدیک بودن فریب‌دهنده به مرکز فاز آنتن‌گیرنده است. فریب‌دهنده جهت در اختیار گرفتن پیک همبستگی گیرنده GPS نیاز به سطح سیگنال بالاتری نسبت به سیگنال معتبر دارد و این نیز در شکل (۷) مشاهده می‌شود. شکل (۸) فرآیند تشخیص فریب الگوریتم پیشنهادی با توجه به مراحل توضیح داده‌شده را نشان می‌دهد.

### مرحله سوم

آموزش شبکه عصبی با داده‌های مناسب برای شرکت در دسته‌بندی بر اساس مشخصات آماری دسته‌ها و همچنین تفسیر دسته‌ها در این مرحله انجام می‌گردد. خروجی شبکه عصبی،  $f$  است که مبین معتبر یا جعلی بودن سیگنال ورودی است.

در این مطالعه، مراحل آماده‌سازی شبکه عصبی جهت استفاده در الگوریتم‌های مقابله با فریب به‌صورت زیر است:

### مرحله اول

این گام شامل به‌دست آوردن تابع مختلط همبستگی (هندسه بردارها) است که با استخراج داده‌ها از خروجی سه همبسته‌ساز صورت می‌گیرد. تطبیق فاز حامل سیگنال فریب با سیگنال اصلی برای فریب‌دهنده دشوار است. اگر همبستگی سیگنال  $C/A$  تولیدی با کل سیگنال ورودی گرفته شود، یک تابع همبستگی مختلط  $x$  در زمان  $t$  و تأخیر آفست مانند شکل (۴) ایجاد می‌گردد که طبق روابط (۱) و (۲) محاسبه می‌شود [۱۱]:

$$x(t, \tau) = x_d(t, \tau) + x_m(t, \tau) + x_s(t, \tau) + \eta(t, \tau) \quad (1)$$

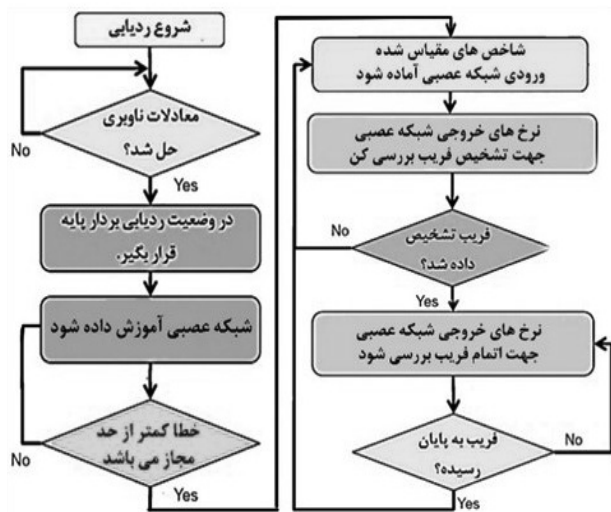
$$x(t, \tau) = \alpha_d(t)R(\tau - \tau_d(t))e^{j\theta_d(t)} + \sum_{k=1}^N \alpha_{m,k}(t)R(\tau - \tau_{m,k}(t))e^{j\theta_{m,k}(t)} + (\alpha_s(t)R(\tau - \tau(t))e^{j\theta_s(t)}) \times 1_{spoofing} \quad (2)$$

در رابطه (۱)،  $x_d$  بیانگر تابع همبستگی سیگنال معتبر مسیر مستقیم و به عبارتی دیگر سیگنال اصلی GPS است.  $x_m$  و  $x_s$  به ترتیب مبین جزء چندمسیری و سیگنال فریب می‌باشند و  $\eta$  مبین نویز سفید گوسی جمع‌شونده است. در رابطه (۲) نیز  $R(\tau)$  بیانگر همبستگی مختلط،  $0 \leq \alpha(t) \leq 1$  عامل مقیاس‌بندی،  $\tau(t)$  مبین تأخیر برحسب ثانیه و فاز برحسب رادیان است که همگی متغیر با زمان هستند.

### مرحله دوم

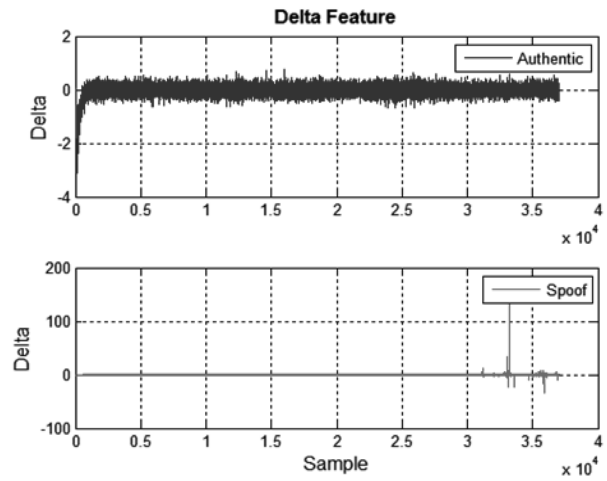
در این مرحله شاخص‌های ورودی‌های شبکه عصبی جهت بررسی سیگنال GPS تولید می‌شوند. دلیل استفاده از شاخص (معیار) VSD و سطح کل سیگنال به‌هنجار شده، انتخاب بهترین ترکیب‌بندی تحلیل سیگنال است. معیار دلتا، ضریب معیار فاز مقدم و مؤخر و سطح کل سیگنال به‌هنجار شده برای استفاده به‌عنوان ورودی‌های شبکه عصبی به‌کار گرفته می‌شوند. شاخص‌های فریب به‌گونه‌ای محاسبه می‌گردند تا دسته‌های خروجی شبکه عصبی باهم همبستگی کم و واریانس بالا داشته باشند. ورودی اول شبکه عصبی معیار دلتا نامیده می‌شود و مطابق رابطه (۳) است [۱۲]:

$$x_1 = \Delta_{\tau}(t), \Delta_{\tau}(t) = \frac{I_{E,\tau}(t) - I_{L,\tau}(t)}{2I_p(t)} \quad (3)$$

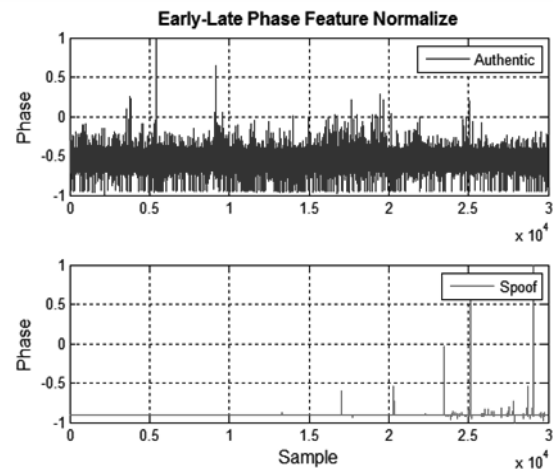


شکل (۸). الگوریتم تشخیص فریب پیشنهادی

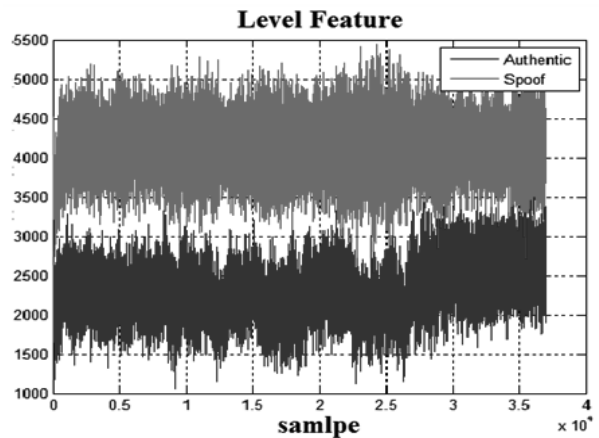
آموزش شبکه عصبی قبل از راه اندازی<sup>۱</sup> گیرنده GPS پیشنهادی با دو مجموعه داده صورت می گیرد. الگوریتم پیشنهادی برای گیرنده های تجاری تک فرکانسه در نظر گرفته شده است. به منظور عملکرد بی درنگ گیرنده، آموزش در زمان موقعیت یابی صورت نمی گیرد. داده ها شامل دو مجموعه داده نرم افزاری و اندازه گیری شده می باشند. آموزش با داده های واقعی ذخیره شده (اندازه گیری شده) و شبیه سازی شده (نرم افزاری) در حضور فریب و عدم حضور آن همراه با نویز گوسی و سیگنال چندمسیری قبل از شروع به استفاده صورت می گیرد. ابتدا وزن نرون های شبکه با داده های نرم افزاری تعیین می گردند و در مرحله بعدی با داده های اندازه گیری شده مجدداً آموزش داده می شود تا شبکه در محیط های با نویز و سیگنال چندمسیری عملکرد بهتری داشته باشد. داده های آموزش و آزمون از این دو مجموعه داده نرم افزاری شبیه سازی شده و داده واقعی ثبت شده از گیرنده GPS انتخاب می گردند. شبکه ابتدا با داده های شبیه سازی شده که در ادامه روش تولید آن ها ذکر می گردد، آموزش داده شده و در مرحله بعد به منظور بهبود کارایی، شبکه با داده های واقعی آموزش داده می شود. ارزیابی شبکه عصبی طراحی شده، با داده های جمع آوری شده است. جمع آوری داده واقعی بدین صورت است که سیگنال های ماهواره های GPS که تحت تأثیر فریب قرار دارند، پس از دریافت از آنتن گیرنده تقویت شده و از بخش Front End عبور کرده و تبدیل به فرکانس باند میانی می شوند. سپس سیگنال مربوطه نمونه برداری شده و وارد قسمت های اکتساب و ردگیری گیرنده نرم افزاری GPS مجهز به الگوریتم پیشنهادی می گردد. در نهایت عملکرد الگوریتم مورد ارزیابی قرار می گیرد. فرآیند آموزش بدین صورت است که با داشتن نمونه های دوره



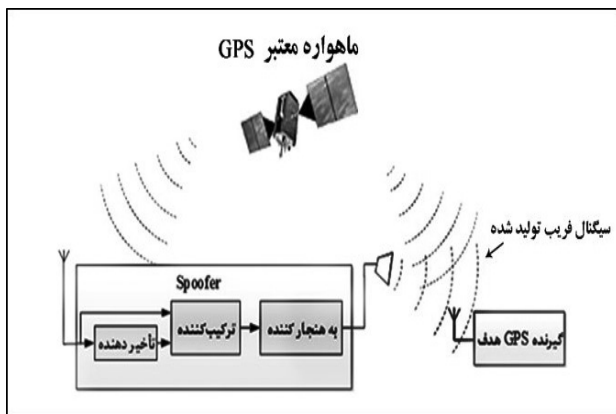
شکل (۵). ورودی اول شبکه عصبی پیشنهادی (شاخص دلتا).



شکل (۶). ورودی دوم شبکه عصبی پیشنهادی (شاخص فاز مقدم- مؤخر بهنجار)



شکل (۷). ورودی سوم شبکه عصبی پیشنهادی شاخص سطح سیگنال.



شکل (۹). شمای کامل مجموعه فریب‌دهنده طراحی شده

ترسیم کرد. برای پیاده‌سازی عملی سناریو فریب تأخیری نیاز به تجهیزاتی هست که بتواند سیگنال RF دریافتی از آنتن گیرنده GPS را ذخیره نموده و با سرعت بالا پیش‌پردازش‌های لازم را اعمال و سیگنال جدید را پس از بازگرداندن به حوزه RF به سمت گیرنده هدف ارسال نماید. به این ترتیب خطای کوانتیزاسیون سیگنال  $IF^2$  در تولید سیگنال فریب مشکل‌ساز نمی‌شود.

شبیه‌سازی ساختار شبکه عصبی MLP با معماری‌های مختلف صورت گرفت. نتایج به‌دست‌آمده در جدول (۱) نشان داده شده است. ساختار ردیف اول با توجه به این‌که اندکی دقت بیشتری در دسته‌بندی نسبت به دیگر ساختارها دارد، ولی به‌دلیل زمان زیاد محاسبات، ساختاری با زمان پردازش معقول‌تر ترجیح داده شده است. ساختار ۱-۳-۲ پیچیدگی کمتری نسبت به ساختار ۱-۳-۳ دارد، ولی به علت یک نرون کمتر در ورودی، در بعضی از شرایط خطای بالایی داشته، در نتیجه ساختار بهینه (۱-۳-۳) انتخاب شده است. ساختارهای ممکن دیگر به‌دلیل زمان یا خطای بسیار نسبت به ساختارهای ذکر شده در جدول آورده نشده‌اند.

جدول (۱). نتایج حاصله از اعمال روش پیشنهادی تشخیص فریب مبتنی بر شبکه عصبی.

متوسط مربعات خطا		درصد تشخیص صحیح		زمان اجرا	پیچیدگی	ساختار شبکه عصبی
داده فریب نرم‌افزاری	داده فریب واقعی	داده فریب نرم‌افزاری	داده فریب واقعی			
۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۶۸	۹۹/۳۷۲۹	۹۹/۳۵۸۳	۲/۸۹۵۵	۲۶	۳-۵-۱
۰/۰۰۵۷	۰/۰۰۶۴	۹۹/۲۳۷۵	۹۹/۳۲۵۰	۰/۶۳۱۵	۱۶	۳-۳-۱
۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۹۴	۹۸/۸۸۵۴	۹۸/۷۵۸۳	۰/۲۹۸۵	۱۳	۲-۳-۱

کد C/A از ماهواره‌های معتبر و فریب، شاخص‌های ذکر شده مرتبط با هر نمونه را استخراج کرده و به‌صورت تصادفی ۸۰ درصد آن به‌منظور آموزش انتخاب می‌گردد و با ۲۰ درصد از نمونه‌های باقی‌مانده، شبکه محک زده می‌شود. این عمل تقسیم داده‌ها برای هر دو نوع داده واقعی و داده شبیه‌سازی شده انجام می‌شود. در مرحله آموزش و آزمون، شاخص‌های مربوط به سیگنال فریب و معتبر مشخص شده است. اعتبارسنجی با مقایسه خروجی شبکه با مقدار مورد انتظار صورت می‌گیرد. در بخش بعدی، اعتبارسنجی با ماتریس درهم‌ریختگی نشان داده شده است.

برای آزمون رویکرد پیشنهادی، ابتدا نمونه آزمایشگاهی داده فریب تأخیری تهیه شد. برای اجرای آن بازه مشخصی از داده با فرکانس  $5/7 \text{ MHz}$  نمونه‌برداری شد و در یک حافظه مناسب ذخیره گردید و پس از ایجاد تأخیر مناسب، با سیگنال‌های حقیقی GPS ترکیب شد. اگر رابطه زیر به‌عنوان سیگنال معتبر در نظر گرفته شود، با توجه به توضیحات بیان شده، سیگنال فریب به‌صورت رابطه زیر مدل می‌گردد:

$$R_{C/A}(t) = A_C^A(t)C_i^A(t)D_i^A(t)\sin(w_{L_1}t + \phi_{L_1}^A) + A_C^D(t)C_i^D(t)D_i^D(t)\sin(w_{L_1}(t-\Delta t_D) + \phi_{L_1}^D) \quad (۸)$$

رابطه (۸) معرف سیگنالی است که گیرنده هدف دریافت می‌کند که در آن بالانویس و زیرنویس  $A, D, L_1$  و  $i$  به ترتیب بیان‌گر سیگنال معتبر، سیگنال تأخیر یافته، حامل کانال  $L_1$  ماهواره‌های GPS و شماره ماهواره می‌باشند و توابع  $A, C, D$  به ترتیب دامنه، کد C/A و پیام ناوبری سیگنال GPS را نشان می‌دهند.

برای بی‌اثر کردن سیگنال معتبر GPS در گیرنده، می‌توان از افزایش نسبت توان سیگنال جعلی به معتبر بهره برد. می‌توان روند تولید سیگنال فریب تأخیری را به سبک نشان‌داده‌شده در شکل (۹)



خطای دسته‌بندی می‌باشد. برای به دست آوردن پارامترهای موقعیت‌یابی و داشتن یک دوره کد C/A از ماهواره ها ۳۷۰۰۰ نمونه<sup>۴</sup> با فرکانس ۵/۷ MHz از سیگنال IF جهت پردازش احتیاج است. از این مقدار، ۸۰ درصد برای آموزش انتخاب شده و ۲۰ درصد برای آزمون الگوریتم پیشنهادی اعمال و ماتریس پیچیدگی آن در زیر آورده شده است.

$$Confusion\ Mat\_training = \begin{pmatrix} 29517 & 83 \\ 266 & 29344 \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$Confusion\ Mat\_test = \begin{pmatrix} 7374 & 26 \\ 63 & 7337 \end{pmatrix} \quad (11)$$

اگر خطایی در دسته‌بندی نمونه‌ای از سیگنال فریب رخ دهد از ستون مربوط به خود به ستون سیگنال‌های معتبر تغییر مکان می‌دهد. جهت ارزیابی دقت، یک سری شاخص‌ها وجود دارند که همواره برای نمایش نتایج دسته‌بندی به کار می‌روند. این شاخص‌ها عبارت‌اند از: صحت کل<sup>۵</sup>، ضریب همبستگی کاپا<sup>۶</sup>، دقت تولیدکننده<sup>۷</sup>، دقت استفاده‌کننده<sup>۸</sup>، خطای انباشته‌شده و خطای گماشته‌شده<sup>۹</sup>. در ضریب همبستگی کاپا اطلاعات مربوط به ماتریس وابستگی خلاصه می‌شود. صحت کل، از تقسیم مجموع تعداد کل سیگنال‌هایی که به درستی در دسته مربوطه واقع شده‌اند، به تمام تعداد سیگنال‌ها به دست می‌آید. در صورتی که الگوهای واقعاً متعلق به دسته مورد نظر باشند و پس از دسته‌بندی به دسته‌های دیگری تعلق گیرند، خطای انباشته رخ می‌دهد. در صورتی خطای گماشته رخ می‌دهد که بردارهایی که در واقع عضوهایی از دسته‌های دیگرند، عضوی از دسته مورد نظر شوند.

از نقطه نظر سرعت پردازش دسته‌بندی، شبکه عصبی سرعت بالاتری نسبت به روش‌های سنتی دارد. افزایش تعداد داده‌های آموزشی باعث افزایش دقت دسته‌بندی در روش «بیشتر شباهت» می‌شود، زیرا روشی آماری یک روش سنتی در دسته‌بندی است، ولی در روش شبکه عصبی با تعداد کمتری از داده‌های آموزشی می‌توان به نتایج بهتری رسید [۲۹].

آقای اچین و همکاران در مرجع [۳۰] وجود فریب را با شناسایی ناسازگاری آماری از طریق بررسی مشخصات اصلی سیگنال‌های ماهواره‌ها تشخیص داده‌اند. مشکل اصلی که در این روش وجود دارد این است که برای اجرای موفق آن لازم است، اطلاعات سیگنال

تعداد نرون‌های لایه اول برابر با تعداد شاخص‌های ورودی است. تعداد نرون‌های لایه پنهان نیز برابر سه و تعداد نرون‌های لایه خروجی برابر یک می‌باشد. با این تعداد لایه‌بندی پیچیدگی شبکه عصبی پیشنهادی از رابطه (۹) محاسبه می‌شود:

$$Order = i \times j + j \times r + j + r \quad (9)$$

$$= 3 \times 3 + 3 \times 1 + 3 + 1 = 16$$

در این رابطه، i تعداد گره‌های ورودی، j تعداد نرون‌های لایه مخفی و r تعداد نرون‌های خروجی می‌باشند.

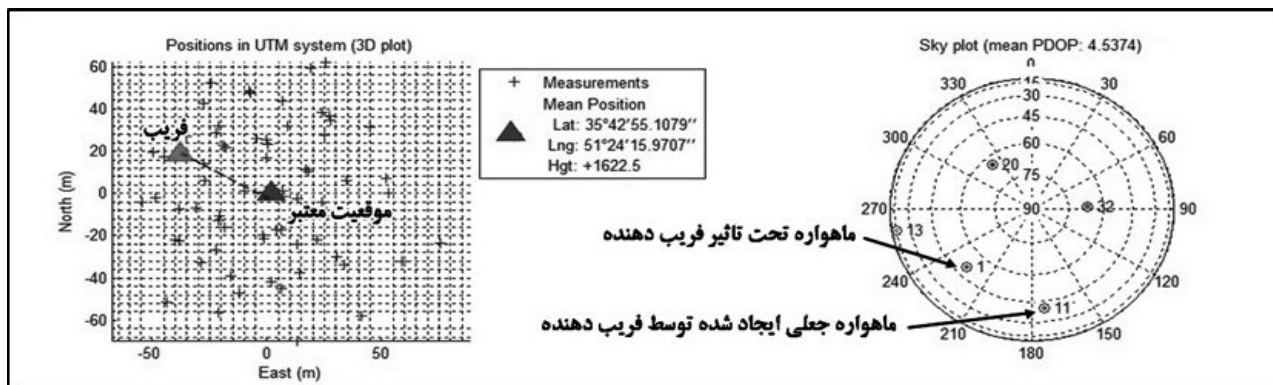
تلاش‌های فراوانی برای سرعت بخشیدن به همگرایی و بهبود دقت الگوریتم پس انتشار<sup>۱</sup> خطا در آموزش شبکه‌های عصبی صورت گرفته است. از آن جمله می‌توان به استفاده از تطبیق اندازه حرکت<sup>۲</sup> و نرخ یادگیری متغیر اشاره کرد که منجر به بهبود اندکی شده‌اند. همچنین با بزرگ کردن مصنوعی خطا برای نرون‌های عمل‌کننده در ناحیه اشباع نتایج بهتری گرفته شده است [۲۸]. با استفاده از روش‌های مختلف مرتبه دوم برای مثال روش نیوتن گرادیان مختلط و یا بهینه‌سازی LM بهبود قابل توجهی را می‌توان بر روی عملکرد تشخیص مشاهده کرد. شبیه‌سازی به صورت SDR<sup>۳</sup> با رایانه‌ای دو هسته‌ای ۲/۸ GHz با ۴ GByte حافظه صورت گرفته و در نرم افزار متلب از ابزار آموزش شبکه عصبی روش LM استفاده شده است.

#### ۴- تحلیل نتایج اعمال الگوریتم تشخیص فریب و مقایسه با دیگر روش‌ها

پس از آموزش شبکه عصبی پیشنهادی، ارزیابی دقت شبکه عصبی انجام می‌شود. در این تحقیق به منظور ارزیابی صحت دسته‌بندی سیگنال‌ها و همچنین نحوه عملکرد الگوریتم‌های دسته‌بندی، سیگنال‌های GPS آزموده می‌شوند. عملکرد شبکه عصبی طراحی شده توسط ماتریس درهم‌ریختگی قابل ارزیابی است. هر ستون از آن، نمونه‌ای از مقدار پیش‌بینی شده و هر سطر نمونه‌ای واقعی را نشان می‌دهد؛ یعنی هنگامی که خطایی رخ نداده، نتیجه پیش‌بینی با حقیقی برابر است و مقدار یک در سطر و ستون یکسان مربوط به نوع سیگنال قرار می‌گیرد. در رابطه‌های (۱۱-۱۰) به ترتیب ماتریس درهم‌ریختگی داده‌های آموزش و آزمون مشاهده می‌شود که نشان می‌دهد در حالت آزمون شبکه عملکردی بهتر داشته است. هر چه این ماتریس قطری‌تر باشد، دسته‌بندی بهتری صورت گرفته است. در آیه اول تعداد نمونه‌های سیگنال معتبر و در آیه چهارم نمونه‌های فریب در داده‌های آموزش و آزمون است. در آیه غیرقطری

4-Sample  
5-Overall Accuracy  
6-Kappa Coefficient  
7-Product Accuracy  
8-Omission  
9-Commission

1-Back Propagation  
2-Momentum  
3-Software Defined Radio



شکل (۱۰) موقعیت‌یابی UTM و موقعیت ماهواره‌های ردیابی شده در حضور فریبنده GPS.

بگیرد، از حد آستانه مجاز تخطی کرده و فریب آشکار می‌شود.

در مرجع [۱۹]، با اندازه‌گیری تفاوت فازی دیده شده بین دو آنتن، ثابت شده و با دانستن رفتار آرایه آنتن و مسیر حرکت ماهواره‌ها، تفاوت‌های فاز نظری محاسبه شده و فاز عملی دیده شده توسط آرایه آنتن مقایسه و فریب را آشکار می‌کند. همچنین در مرجع [۲۰] یک ساختار آرایه آنتنی برای آشکارسازی و کاهش سیگنال فریب استفاده کرده است که مبتنی بر همبستگی فضایی<sup>۳</sup> است. مشکل روشی که از پردازش فضایی استفاده می‌کند، الگوریتم زمان‌بر آن است. به‌طور کلی ایراد روش‌های که مبتنی بر آنتن هستند، علاوه بر افزایش ابعاد و غیرقابل حمل کردن گیرنده، احتیاج به آرایه آنتن کالیبره شده دارند و یا نیازمند آنتنی با جهت مشخص می‌باشند. به‌علت مشخص نبودن نوع سخت‌افزار مورد استفاده در مقالات مشابه برای پیاده‌سازی الگوریتم‌ها و نیز عدم دسترسی به داده‌ها و پارامترهای نرم‌افزاری الگوریتم‌های مربوطه برای سنجش، روش پیشنهادی به صورت کیفی مورد مقایسه قرار گرفته است. در شکل (۱۰) نشان می‌دهد که موقعیت‌یابی به‌علت وجود دو ماهواره جعلی دچار اختلال گردیده و مکان‌یابی به‌صورت نادرست در مکان دیگری صورت گرفته است. تفاوت در ماهیت سیگنال ماهواره‌های معتبر و فریب توسط الگوریتم پیشنهادی تشخیص داده می‌شود تا از ابزارهای دیگر موقعیت‌یابی استفاده گردد.

جدول (۲) مقایسه‌ای کیفی بین روش‌های پیشین و الگوریتم پیشنهادی را ارائه می‌نماید. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، کارایی شبکه عصبی ارائه شده نسبت به دیگر روش‌ها برتری قابل توجه دارد.

شکل (۱۱) روند تغییرات خطای آموزش را در هر دوره آموزشی نشان می‌دهد. استفاده از میزان بیشتری دوره‌ها و داده‌های آموزشی می‌تواند امر جداسازی بردارها را آسان‌تر و دقیق‌تر نموده و دقت دسته‌بندی را بالا برد. در شکل (۱۲) نمودار خطای دسته‌بندی قابل مشاهده است.

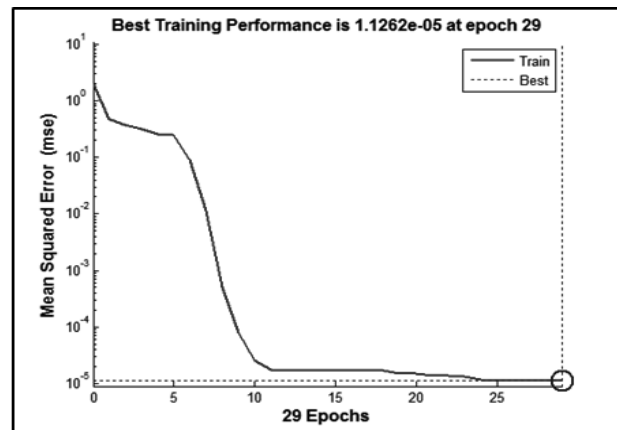
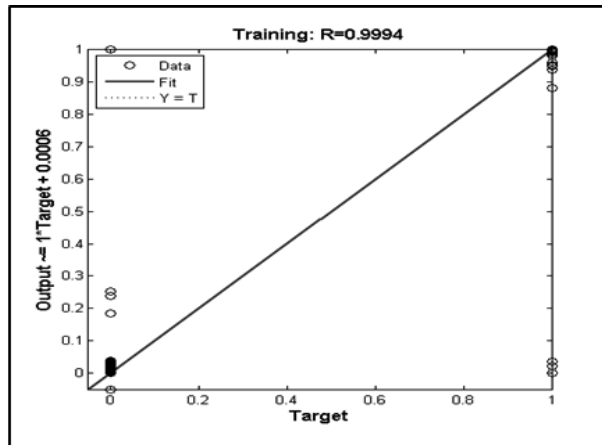
معتبر قبل از لحظه شروع فریب در دسترس باشد، زیرا پس از حمله فریب مشخصات سیگنال جعل شده در حد مجاز آستانه در نظر گرفته شده، قرار می‌گیرد. در رویکرد پیشنهادی پس از آموزش شبکه عصبی نیازی به وجود سیگنال معتبر از ابتدا نمی‌باشد و وجود سیگنال فریب به‌خوبی پس از راه‌اندازی گیرنده آشکار می‌شود.

با استفاده از روش بررسی سازگاری موقعیت‌یابی با دیگر روش‌های موقعیت‌یابی و ناوبری، می‌توان فریب گیرنده GPS را آشکار نمود [۱۵]. در این روش از اطلاعاتی که به‌وسیله تجهیزات کمکی مانند اندازه‌گیری حرکتی<sup>۱</sup> (IMU)، اطلاعات موقعیت‌یابی ایستگاه‌های شبکه محلی بی‌سیم<sup>۲</sup> (WLAN) و یا شبکه‌های موبایل به‌دست می‌آید، گیرنده از ناسازگاری این دو سیستم موقعیت‌یابی جهت تشخیص تهدید فریب استفاده می‌کند. عمده مشکل این روش پیچیدگی سخت‌افزاری و نرم‌افزاری گیرنده GPS می‌باشد. حسگرهای IMU به کالیبراسیون قبل از استفاده نیاز دارند. استفاده از فناوری مکان‌یابی بی‌سیم مانند شبکه‌های بافت سلولی علاوه بر نیاز به تجهیزات اضافه معمولاً راه‌حل‌های موقعیت‌یابی به‌دقت سیگنال GPS ارائه نمی‌دهد، ولی روش ارائه شده کنونی نیازی به سخت‌افزار اضافه ندارد و ابعاد و هزینه ساخت گیرنده را افزایش نمی‌دهد.

در مراجع [۳۱ و ۳۲] از تخمین گر فیلتر کالمن برای پیش‌بینی مشخصات سیگنال لحظه بعد استفاده می‌کنند. در صورتی اختلاف قابل توجهی بین مقادیر اندازه‌گیری و تخمین زده شده مشاهده شود، وجود حمله فریب تشخیص داده می‌شود. در حملات متوسط و پیچیده گیرنده-فریبنده ابتدا پیک همبستگی گیرنده را تسخیر می‌کند و به آرامی از پیک معتبر دور می‌شود که این عمل به قدری به‌کندی صورت می‌گیرد که فیلتر کالمن مشخصات لحظه بعد سیگنال فریب را پیش‌بینی می‌کند و فریب آشکار نمی‌گردد. در شبکه عصبی روش پیشنهادی شاخص سطح سیگنال در هنگامی که گیرنده-فریبنده می‌خواهد پیک همبستگی گیرنده را در اختیار

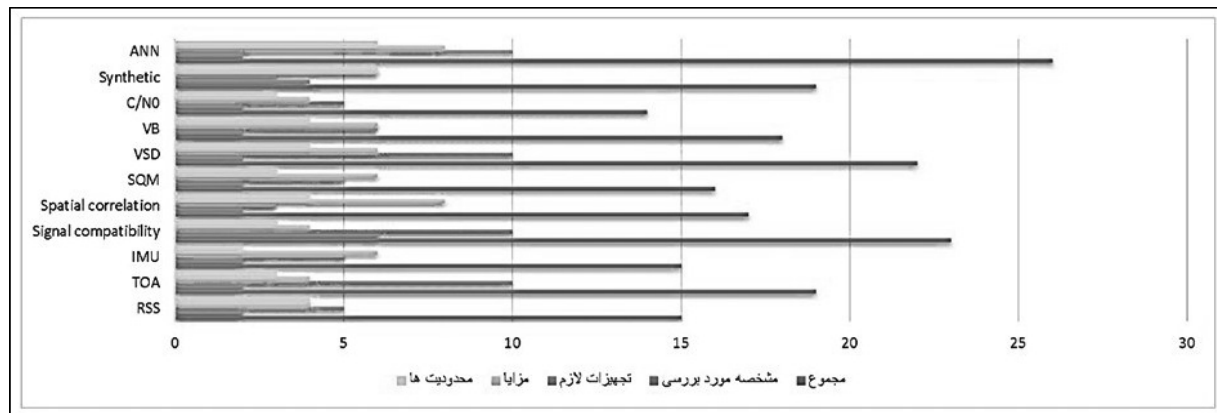
جدول (۲). مقایسه کارایی بین روش‌های پیشین و الگوریتم پیشنهادی.

روش‌های تشخیص	مشخصه مورد بررسی	تجهیزات لازم	مزایا	محدودیت‌ها
بررسی توان سیگنال	توان و دامنه	سخت‌افزار برای اندازه‌گیری توان	سادگی	محدوده بزرگ آسیب‌پذیری و گران بودن تجهیزات در صورت نیاز
TOA	زمان دریافت	ارتقای نرم‌افزاری	پایاده‌سازی آسان	عدم کارایی در حضور اختلال دیگر و پیش‌بینی TOA توسط فریبنده
سازگاری با دیگر روش‌های ناوبری	نتایج ناوبری	تجهیزات ناوبری غیر از GPS	قابلیت اطمینان بالا	هزینه بالا و پوشش محدود تجهیزات دیگر
سازگاری سیگنال ورودی	چندین پارامتر به‌طور همزمان	ارتقای نرم‌افزاری	هزینه پایین	نیاز به اطلاعات قبل از شروع حمله و عدم کارایی در فریب‌های هماهنگ
پردازش فضایی	جهت ورود سیگنال به گیرنده	آرایه آنتن ویژه و ارتقای نرم‌افزاری	قابلیت اطمینان بالا و عدم نیاز داده قبلی	هزینه بالا و عدم کارایی در چندمسیری و چندآنتنه
SQM	همبستگی	ارتقای نرم‌افزاری و سخت‌افزار اضافه	تشخیص آسان	عدم کارایی در چندمسیری و نیاز به اطلاعات قبل از شروع حمله
VSD	همبستگی	ارتقای نرم‌افزاری	امکان تفکیک چندمسیری	عدم کارایی در فریب هماهنگ
VB	همبستگی	حلقه ردیابی اضافی	دقت تشخیص بالا	هزینه بالا
C/No	نسبت حامل به نویز	سخت‌افزار برای اندازه‌گیری	سادگی	آسیب‌پذیر در مقابل حملات هماهنگ و حملاتی که فریبنده کنترل توان می‌کند
ترکیبی	همبستگی و توان	ارتقای نرم‌افزاری و سخت‌افزار اضافه	قابلیت اطمینان بالا	کاهش کارایی در حضور چندمسیری
الگوریتم ارائه شده در این مقاله	همبستگی	ارتقای نرم‌افزاری	قابلیت اطمینان بالا، سرعت بالای تشخیص و پایاده‌سازی آسان	نیاز الگوریتم به آموزش



شکل (۱۱). روند خطای دوره‌های آموزش در شبکه عصبی پیشنهادی.

شکل (۱۲). نمودار خطای دسته‌بندی (نتایج ماتریس درهم‌ریختگی).



شکل (۱۳). نمودار مقایسه روش‌های تشخیص فریب.

- Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, pp. 1-11, Sep. 2010.
- [7] A. J. Jahromi, A. Broumandan, J. Nielsen, and G. Lachapelle, "GPS Vulnerability to Spoofing Threats and a Review of Anti-spoofing Techniques," *Journal of Navigation and Observation*, vol. 20, pp. 1-16, May 2012.
- [8] A. J. Jahromi, T. Lin, A. Broumandan, J. Nielsen, and G. Lachapelle, "Detection and Mitigation of Spoofing Attacks on a Vector-Based Tracking GPS Receiver," *International Technical Meeting of the Institute of Navigation*, pp. 3-8, Jan. 2012.
- [9] D. P. Shepard and T. E. Humphreys, "Characterization of Receiver Response to Spoofing Attacks," *GPS World*, vol. 21, no. 9, pp. 27-33, 2010.
- [10] A. Cavaleri, B. Motella, M. Pini, and M. Fantino, "Detection of Spoofed GPS Signals at Code and Carrier Tracking Level," *The 5<sup>th</sup> ESA Workshop on Satellite Navigation Technologies and European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing*, pp. 1-6, Dec. 2010.
- [11] K. D. Wesson, B. L. Evans, and T. E. Humphreys, "A Combined Symmetric Difference and Power Monitoring GNSS Anti-Spoofing Technique," *IEEE Global Conference on Signal and Information Processing*, pp. 1-4, Dec. 2013.
- [12] M. Pini, M. Fantino, A. Cavaleri, S. Ugazio, and L. L. Presti, "Signal Quality Monitoring Applied to Spoofing Detection," *The 24<sup>th</sup> International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation*, pp. 1-9, Sep. 2011.
- [13] M. Lashley and D. Bevly, "What About Vector Tracking Loops," *GNSS Solutions*, pp. 1-6, May/June 2009.
- [14] S. C. Lo and P. K. Enge, "Authenticating Aviation Augmentation System Broadcasts," *IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium*, pp. 708-717, 2010.
- [15] M. G. Petovello, "Real-Time Integration of a Tactical-Grade IMU and GPS for High-Accuracy Positioning and Navigation," Ph.D. Thesis, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Alberta, Canada, 2003.
- [16] T. E. Humphreys, M. L. Psiaki, P. M. Kintner and B. M. Ledvina, "GNSS Receiver Implementation on a DSP: Status, Challenges and Prospects", *Proc. ION GNSS*, pp. 1-13, 2006.
- [17] C. E. Medowell, "GPS Spoofer and Repeater Mitigation System using Digital Spatial Nulling-US Patent 7250903 B1," 2007.
- [18] A. Jafarnia-Jahromi, A. Broumandan, J. Nielsen, and G. Lachapelle, "GPS Spoofer Countermeasure Effectiveness based on Signal Strength, Noise Power and C/N0 Observables," *International Journal of Satellite Communications and Networking*, vol. 30, no. 4, pp. 181-191, 2012.

هر دایره نشان‌دهنده یک نمونه سیگنال است. اگر دایره‌ها روی خط قرار گیرند، دسته‌بندی به‌خوبی صورت گرفته است و انحراف دایره از روی خط بیانگر خطا در تشخیص هویت آن نمونه سیگنال است. در شکل (۱۳) مقایسه نموداری روش‌های پیشین با روش پیشنهادی آماده است. این نمودار بر اساس تعداد ویژگی‌های مورد بررسی، تجهیزات مورد استفاده، مزایا و معایب هر روش ترسیم شده است.

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله سعی شده است علاوه بر به‌کارگیری روش‌های پیشین یک رویکرد نوین در تشخیص فریب گیرنده GPS ارائه شود. جهت آشکارسازی فریب GPS از شاخص‌های پردازش سیگنال ورودی‌های شبکه عصبی بهره بردیم. این الگوریتم بر روی گیرنده نرم‌افزاری GPS در نرم‌افزار متلب با داده‌های واقعی آزموده شده است و کمترین دقت به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی گیرنده نرم‌افزاری مبتنی بر شبکه عصبی، دقت ۹۸/۷۸ درصدی در تشخیص صحیح سیگنال فریب از سیگنال معتبر است. همچنین بیشترین زمان تشخیص سیگنال فریب ۰/۶ ثانیه است. استفاده از سامانه‌های هوشمند تاکنون جهت مقابله با فریب GPS استفاده نشده است و یک گام نوین در تشخیص فریب در گیرنده GPS است.

## ۶- مراجع

- [1] F. Shafiee and M. R. Mosavi, "Narrowband Interference Suppression for GPS Navigation using Neural Networks," *Journal of GPS Solutions*, pp. 1-11, 2015 (DOI 10.1007/s10291-015-0442-8).
- [2] A. Jovanovic, C. Botteron, and P. A. Farine, "Multi-test Detection and Protection Algorithm Against Spoofing Attacks on GNSS Receivers," *IEEE Position, Location and Navigation Symposium*, pp. 1258-1271, May 2014.
- [3] C. Bonebrake and L. R. O'Neil, "Attacks on GPS Time Reliability," *IEEE Transactions on Security & Privacy*, vol. 12, no. 3, pp. 82-85, June 2014.
- [4] M. R. Mosavi, M. J. Rezaei, N. Hosseinzadeh and R. A. Kiaamiri, "New Intellogent Methods for Detection and Mitigation of Spoofing Signal in GPS Receivers", *Journal of Electronics and Cyber Defense*, Vol.2, No.1, pp.71-81, 1393. (in Persian)
- [5] J. Nielsen, A. Broumandan, and G. Lachapelle, "Spoofing Detection and Mitigation with a Moving Handheld Receiver," *GPS World* vol. 21, no. 9, pp. 27-33, 2010.
- [6] T. E. Humphreys, J. Bhatti, and B. Ledvina, "The GPS Assimilator: a Method for Upgrading Existing GPS User Equipment to Improve Accuracy, Robustness and Resistance to Spoofing," *The 23rd International Technical*

- [32] P. Papadimitratos and A. Jovanovic, "GNSS Based Positioning: Attacks and Countermeasures," IEEE Military Communications Conference (MILCOM), pp. 1-7, 2008.
- [19] P. Y. Montgomery, T. E. Humphreys, and B. M. Ledvina, "Receiver-Autonomous Spoofing Detection: Experimental Results of a Multi-Antenna Receiver Defense Against a Portable Civil GPS Spoofer," The Institute of International Technical Meeting of the Institute of Navigation, pp. 1-7, Jan. 2009.
- [20] P. Y. Montgomery, T. E. Humphreys, and B. M. Ledvina, "A Multi-Antenna Defense: Receiver-Autonomous GPS Spoofing Detection," Inside GNSS Magazine, vol. 4, no. 2, pp. 40-46, March/April 2009.
- [21] S. C. Lo and P. K. Enge, "Authenticating Aviation Augmentation System Broadcasts," IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium, pp. 708-717, 2010.
- [22] B. M. Ledvina, W. J. Bencze, B. Galusha, and I. Miller, "An In-Line Anti-Spoofing Device for Legacy Civil GPS Receivers," The 23rd International Technical Meeting of the Institute of Navigation, pp. 689-712, Jan. 2010.
- [23] A. Tabatabaei and M. R. Mosavi, "Rapid and Precise GLONASS GDOP Approximation using Neural Networks," Journal of Wireless Personal Communications, vol. 77, no. 4, pp. 2675-2685, 2014.
- [24] H. Azami, M. R. Mosavi, and S. Sanei, "Classification of GPS Satellites using Improved Back Propagation Training Algorithms," Journal of Wireless Personal Communications, vol. 71, no. 2, pp. 789-803, 2013.
- [25] M. R. Mosavi, K. Mohammadi, M. H. Refan, and M. Farrokhi, "Prediction of Errors and Improvement of Position Accuracy on Low Cost GPS Receiver with MLP Neural Network," The 11th Iranian Conference on Electrical Engineering, vol. 3, pp. 513-520, 6-8 May 2003.
- [26] T. Martin and B. Menhaj, "Training Feedforward Networks with the Marquardt Algorithm," IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 5, no. 6, pp. 989-993, November 1994.
- [27] M. R. Mosavi, "GPS Receivers Timing Data Processing using Neural Networks: Optimal Estimation and Errors Modeling," Journal of Neural Systems, vol. 17, no. 5, pp. 383-393, October 2007.
- [28] R. Pasti and L. N. De Castro, "Bio-Inspired and Gradient based Algorithms to Train MLPs: the Influence of Diversity," Information Sciences, vol. 179, no. 10, pp. 1441-1453, Apr. 2009.
- [29] I. Kanellopoulos, A. Varfis, G. Wilkinson, and J. Meiger, "Land Cover Discrimination in SPOT HRV Imagery using Artificial Neural Network 20 Class Experiment," Journal of Remote Sensing, vol. 13, pp. 917-924, 1992.
- [30] E. Ochin, L. Dobryakova, and L. Lemieszewski, "Antiterrorism-Design and Analysis of GNSS Anti-spoofing Algorithms," Scientific Journals Zeszyty Naukowe Maritime University of Szczecin, pp. 93-101, 2012.
- [31] M. H. Jin, Y. H. Han, H. H. Choi, C. Park, M. B. Heo, and S. J. Lee, "GPS Spoofing Signal Detection and Compensation Method in DGPS Reference Station," 11th International Conference on Control, Automation and Systems, Korea, 2011.