بهبود دقت و پایداری RTDGPS با استفاده از مدل ترکیبی RNN و PSO

محمدحسین رفان[۱]، دانشیار؛ مهرنوش کمرزرین[۲]، دانشجوی کارشناسی ارشد؛ عادل دمشقی[۳]، دانشجوی دکتری

۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی - تهران - ایران - refan@srttu.edu
۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه شهید بهشتی - تهران - ایران - m_kamarzarrin@ace.sbu.ac.ir
۳- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی - تهران - ایران - adel_dameshghi@yahoo.com

چکیده: پایداری سامانه RTDGPS در سرویس‌دهی به کاربران حائز اهمیت است. این سامانه از دو ایستگاه مرجع و کاربر تشکیل شده است. قطع سیگنال ایستگاه مرجع موجب کاهش پایداری سامانه می‌شود. قطع سیگنال GPS موجب عدم تولید پروتکل مخصوص سامانه در ایستگاه مرجع می‌شود، در نتیجه فاکتورهای تصحیحاتی موجود در این پروتکل از طریق واسط ارتباطی به گیرنده کاربر نمی‌رسد. در این حالت سامانه از حالت موقعیت‌یابی DGPS وارد حالت GPS می‌گردد و دقت آن کاهش می‌یابد. در این مقاله برای جبران فقدان سیگنال از مدل پیش‌گویی شبکه عصبی بازگشتی استفاده شده است. آموزش این شبکه با استفاده از مدل بهینه‌سازی گروهی ذرات انجام شده است. شبه‌فاصله تصحیحاتی هر ماهواره ورودی مدل پیش‌گویی است. آزمون PSO-RNN با استفاده از اطلاعات واقعی PRC نشان داد که خطای RMS مدل ۰/۱۸ متر است. ایستگاه مرجع و کاربر این سامانه با استفاده از یک گیرنده ارزان‌قیمت پیاده‌سازی شد. عملیات ایستگاه مرجع به‌وسیله نرم‌افزار طراحی‌شده، انجام می‌شود. با استفاده از آزمون‌های عملی دقت مکان‌یابی ایستگاه کاربر سامانه با افزودن مدل PSO-RNN به ایستگاه مرجع، ۰/۴ متر به‌دست آمد. این مقدار نشان‌دهنده بهبود بیش از ۵۰ درصدی دقت مکان‌یابی سامانه RTDGPS به‌سبب افزودن مدل پیش‌گویی است.

واژه‌های کلیدی: سامانه مکان‌یاب تفاضلی بلادرنگ، شبه‌فاصله تصحیحاتی، بهینه‌سازی گروهی ذرات، شبکه عصبی بازگشتی.

Improvement RTDGPS Accuracy and Stability by using RNN and PSO Hybrid Model

Mohammad Hossein Refan[1], Associate Professor; Mehrnoosh Kamarzarrin[2], MSc Student; Adel Dameshghi[3], PhD Student

1- Faculty of Electrical Engineering, University of Shahid Rajaee Teacher Training, Tehran, Iran, Email: refan@srttu.edu
2- Faculty of Electrical Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, Email: m_kamarzarrin@ace.sbu.ac.ir
3- Faculty of Electrical Engineering, University of Shahid Rajaee Teacher Training, Tehran, Iran, Email: a.dameshghi@srttu.edu

Abstract: Stability of the "Real Time Differential Global Positioning System (RTDGPS)" in servicing the users is of much significance. This system consists of two "reference and mobile stations Interruption of the signal of reference station leads to reduce system stability. This issue results in the lack of production of system specific protocol in the reference system, thus the available corrective factors in this protocol, would not reach to the receiving user through the linking interface. In this case, the system enters the DGPS state from GPS, and the accuracy of positioning system is declined. In this paper, in order to compensate the lack of signal, the model "Recurrent Neural Network (RNN) prediction" has been used. Training the network was done through the Particles Swarm Optimization (PSO). The correction pseudo-distance of each satellite is the input of predictor model. PSO-RNN experiment using the real data Pseudo Range Correction (PRC) indicated that the RMS error of prediction model was 0.18m. The reference station and the user of system were implemented using the cheap receivers. The designed interface software performs the operations of reference station. The accuracy of positioning of the system's user station was obtained 0.4 in static state through adding the model PSO-RNN to the reference station, using the practical experiments. This amount of accuracy demonstrates improvement rather to the state, which the PSO-RNN is not utilized in the reference station.

Keywords: Real-time differential global positioning system (RTDGPS), Pseudo range correction (PRC), Particles swarm optimization (PSO), Recurrent neural network (RNN).

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۳/۰۷/۰۹
تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۳/۱۰/۰۱ و ۱۳۹۳/۱۱/۰۷
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۴/۲۴
نام نویسنده مسئول: محمدحسین رفان
نشانی نویسنده مسئول: ایران - تهران - لویزان - خیابان شعبانلو - دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر.

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

دقت سامانه مکان‌یاب جهانی[۱] به‌علت خطاهای مختلف پایین است. سامانه GPS تفاضلی برای حذف خطاها و افزایش دقت مکان‌یابی به‌وجود آمد [۱]. این امکان برای گیرنده‌های مبتنی بر فاز و مبتنی بر کد امکان‌پذیر است. کاربران عادی از گیرنده‌های مبتنی بر کد، ارزان‌قیمت، حامل فرکانس $L1$ و شامل کد C/A استفاده می‌کنند [۱، ۲].

هر شبه‌فاصله کد[۲] مشاهده‌شده شامل خطای ساعت گیرنده (dT)، ماهواره (dt)، خطای ترکیب هندسی ماهواره‌ها (d_ρ)، تأخیر یونسفریک (d_{ion}) و تروپسفریک (d_{trop})، خطای سخت‌افزاری گیرنده (نویز) (ε_ρ) و خطای عمدی[۳] (SA) است [۶-۳]. قبل از حذف خطای SA در سال ۲۰۰۰ دقت مکان‌یابی برای کاربران معمولی بیش از ۱۰۰ متر بود، پس از حذف SA دقت مکان‌یابی بسته به نوع گیرنده از ۵ تا ۱۵ متر متغیر است [۷].

در سامانه GPS تفاضلی[۴] مجموع خطاها نسبت به یک نقطه مرجع، برای هر ماهواره جداگانه محاسبه می‌شود. فاکتورهای محاسبه‌شده به‌عنوان کدهای تصحیحاتی تحت پروتکل مشخص برای گیرنده‌های کاربر ارسال می‌گردند و موجب کاهش خطاهای مکان‌یابی آن‌ها می‌شود [۱۱-۸]. در این سامانه یک گیرنده در مکان مشخص با مختصات دقیق قرار می‌گیرد. ایستگاه ثابت کدهای ارسالی توسط ماهواره‌ها را با کدهای تولیدشده توسط خودش، مقایسه می‌کند و تأخیر بین این دو را به‌دست می‌آورد. سپس حاصل آن را در سرعت نور (C) ضرب می‌کند تا فاصله شبه‌حقیقی ماهواره تا ایستگاه را محاسبه کند [۱۲]. حال با اطلاعات به‌دست‌آمده از ماهواره مختصات ماهواره را محاسبه می‌کند و با داشتن مختصات دقیق خود می‌تواند فاصله واقعی (ρ) بین خود (x، y و z) و ماهواره (X، Y و Z) را به‌دست آورد. با افزودن خطای ساعت گیرنده به فاصله حقیقی فاصله شبه‌حقیقی واقعی به‌دست می‌آید. مقدار حاصل از فاصله شبه‌حقیقی که از سیگنال ماهواره به‌دست می‌آید کم می‌شود، به مقدار به‌دست‌آمده PRC گفته می‌شود [۱۵-۱۳].

معادلات مربوطه برای محاسبه دقیق PRC و همچنین خروجی معادلات اعمال PRC در گیرنده کاربر در مرجع [۶] آمده است. خروجی نهایی معادلات، کاهش دیفرانسیلی خطا در گیرنده کاربر است. فاکتور PRC در گیرنده مرجع محاسبه می‌شود، این گیرنده علاوه بر PRC اطلاعات تغییرات PRC در بازه زمانی (RRC[۵])، شماره ماهواره‌ای مربوط به PRC و IODE را در قالب پیام مشخص و با نرخی معلوم تولید می‌کند. این اطلاعات تبدیل به پروتکل استاندارد مخصوص ارتباطات رادیویی دریایی[۶] می‌شوند [۱۹-۱۶]. قطع سیگنال گیرنده GPS مرجع موجب عدم دریافت اطلاعات اولیه برای ساختن پروتکل RTCM می‌گردد، این مسئله عامل ایجاد تأخیر زمانی در ارسال اطلاعات به ایستگاه کاربر می‌شود [۲۰].

صحت، پایداری و قابلیت اطمینان RTDGPS، به ارسال پی‌درپی تصحیحات وابسته است، هرگونه فقدان سیگنالی در ایستگاه مرجع موجب تضعیف دقت سامانه می‌شود. برای جبران این نقصان باید در زمان فقدان سیگنال، اطلاعات PRC تقریب زده شود [۲۱]. استفاده از اطلاعات گذشته PRC برای تقریب مقادیر آینده یک راهکار است. راهکار دیگر استفاده از مدل‌های پیش‌گویی در تخمین اطلاعات تصحیحاتی DGPS است [۱۵-۱۰].

روش پیشنهادی در این مقاله استفاده از مدل شبکه عصبی-عصبی بازگشتی[۷] برای تقریب مقادیر آینده PRC است. برای بهبود عملکرد این مدل از روش بهینه‌سازی گروهی ذرات[۸] استفاده شده است. در این مقاله ایستگاه مرجع RTDGPS تحت محیط GUI MATLB پیاده‌سازی شده است. برای پیاده‌سازی این ایستگاه از اطلاعات واقعی و بلادرنگ یک گیرنده ارزان‌قیمت استفاده شده است. اطلاعات از گیرنده GPS دریافت و سپس تبدیل به پروتکل RTCM می‌شود. پروتکل ساخته‌شده با استفاده از نرم‌افزار طراحی‌شده، از طریق یک فرستنده رادیویی برای ایستگاه کاربر ارسال می‌گردد. برای تست سامانه طراحی‌شده دو دسته آزمون استاتیک (ایستگاه کاربر ثابت) طراحی شد. در زمان فقدان سیگنال مرجع، مدل PSO-RNN وظیفه پیش‌گویی مقادیر آینده PRC را بر عهده داشت. نقطه تمایز و نوآوری مقاله نسبت به کارهای پژوهشی مشابه شامل موارد زیر می‌شود:

الف) استفاده از مدل PSO برای آموزش شبکه عصبی بازگشتی و استفاده از مدل PSO-RNN در ساختار RTDGPS.

ب) استفاده از گیرنده ارزان‌قیمت به‌جای گیرنده گران‌قیمت در سامانه RTDGPS.

ج) پیاده‌سازی نرم‌افزاری ایستگاه مرجع به‌صورت RTDGPS.

ساختار مقاله به این صورت است؛ مدل PSO-RNN در بخش دوم توصیف می‌شود. شبیه‌سازی مدل PSO-RNN بخش سوم است، در بخش چهارم به پیاده‌سازی سامانه RTDGPS طراحی‌شده پرداخته می‌شود. بخش پنجم آزمون‌های عملی سامانه RTDGPS است و نهایتاً بخش ششم مقاله، نتیجه‌گیری است.

۲- مدل ترکیبی شبکه عصبی بازگشتی و بهینه‌سازی گروهی ذرات

مشکل پایداری سامانه RTDGPS با استفاده از الگوریتم پیش‌گویی حل می‌شود. از روی اطلاعات گذشته تصحیحاتی اطلاعات آینده تصحیحاتی موردنیاز تخمین زده می‌شود. شبکه RNN یک شبکه پویا است. این شبکه قابلیت بسیار خوبی در ترکیب کردن اطلاعات گذشته برای تخمین مقادیر آینده دارد. وجود شبکه فیدبک در ساختار این مدل موجب ذخیره اطلاعات گذشته می‌شود [۲۲]. این ساختار موجب افزایش کارایی این شبکه در تخمین سری‌های زمانی و موفقیت آن در برخورد با اطلاعات پیچیده می‌شود. الگوریتم‌های آموزشی سنتی مانند فیلتر کالمن[۹] یا باز پس انتشار[۱۰] دارای دو مشکل عمده هستند. اغلب موجب ایجاد حداقل محلی می‌شوند و مهم‌تر از آن بار محاسباتی زیادی را ایجاد می‌کنند. این الگوریتم‌های آموزشی بر مبنای گرادیان

Archive of SID

www.SID.ir

خطا هستند و هدف کاهش خطا برای افزایش کارایی است. همان‌طور که ساختار شبکه رشد می‌کند، ابعاد ماتریس مشتق و ماتریس کوواریانس خطای تقریب نیز رشد می‌کند، این رشد به‌صورت توانی است. در چنین حالتی عملیاتی شدن شبکه بازگشتی غیرممکن می‌شود [۲۳]. در این مقاله از PSO برای آموزش شبکه استفاده شده است.

۲-۱- شبکه عصبی بازگشتی

برای ساختن RNN شناسایی ساختار صحیح و تعیین پارامترهای آزاد (بایاس و وزن‌ها) بسیار پراهمیت است. انتخاب غلط پارامترها، عملکرد مدل RNN را محدود می‌کند. در این مقاله از PSO برای انتخاب ساختار بهینه و به‌روزرسانی پارامترهای آزاد RNN استفاده می‌شود. سیگنال مربوط به نرون‌های شبکه عصبی بازگشتی مطابق با معادله (۱) است:

$$\tau_i \dot{y}_i + y_i = \sigma(b_i + \sum_j w_{ij} y_j + \sum_j w_{ij}^{IN} I_j)\,,\ i = 1, \dots, n \qquad (۱)$$

در معادله بالا τ_i نشان‌دهنده ثابت‌های زمانی، σ تابع فعال‌سازی، b_i جمله بایاس، w_{ij} وزن‌های خروجی y_j از نرون j ام و w_{ij}^{IN} وزن‌های ورودی خارجی I_j هستند. $\dot{y}_i$ مطابق با رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$\dot{y}_i \approx \frac{y_i(t+\Delta t) - y_i(t)}{\Delta t} \qquad (۲)$$

در رابطه اخیر Δt گام زمانی است. تابع فعال‌سازی با رابطه (۳) مشخص می‌شود:

$$\sigma_i(s) = tanh(\beta_i s)\,, i = 1, \dots, n \qquad (۳)$$

جایی که β_i ثابت است. زمان بین هر دو ورودی با ΔT نشان داده شده است و سیگنال خروجی پس از گام زمانی محاسبه می‌شود. مجموعه گام‌ها با N نشان داده می‌شود که مطابق با رابطه (۴) است:

$$N = \frac{\Delta T}{\Delta t} \qquad (۴)$$

بنابراین $y_i(t+\Delta t)$ مطابق با رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$y_i(t+\Delta t) = y_i(t) + \frac{\Delta t}{\Delta T}[\sigma(b_i + \sum_j w_{ij} y_j(t) + \sum_j w_{ij}^{IN} I_j(t)) - y_i(t)] \qquad (۵)$$

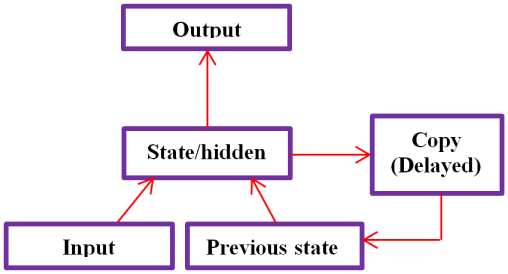
نرون‌های خروجی برای N-1 گام زمانی به‌روش مشابه محاسبه می‌شود. پیش‌گویی برای زمان $(t+N\Delta t)$ مطابق با رابطه (۶) است:

$$y_i(t+N\Delta t) = y_i(t+\Delta t) = y_i(t+(N-1)\Delta t) + \frac{\Delta t}{\Delta T}[\sigma(b_i + \sum_j w_{ij} y_j(t+(N-1)\Delta t) + \sum_j w_{ij}^{IN} I_j(t)) - y_i(t+(N-1)\Delta t)] \qquad (۶)$$

ساختار شبکه‌ای RNN در شکل ۱ نشان داده شده است. این شکل یک RNN با اتصالات کامل است که در آن، اتصالات بازگشتی کامل از لایه‌های پنهان قبلی به لایه‌های پنهان بعدی وجود دارد. از خصوصیات بارز شبکه RNN، اتصال فیدبکی خروجی هر نرون به ورودی بعد از یک تأخیر و اتصال به سایر نرون‌هاست. این خصوصیت ایجاد حافظه می‌کند. آموزش RNN شامل تعیین بهینه وزن‌ها و بایاس است. همانند تابع هزینه، از میانگین مربعات خطا بین خروجی مورد انتظار و خروجی واقعی استفاده می‌شود. این محاسبه از زمان اولیه 0 برای نمونه اول تا زمان T برای نمونه آخر است. تابع هزینه به‌صورت معادله (۷) نوشته می‌شود:

$$E(\vec{w}) = \frac{1}{TN}\sum_{t=0}^{T}\sum_{i=1}^{N}[x_i(t) - \hat{x}_i(t)]^2 \qquad (۷)$$

در معادله اخیر، $x_i(t)$ و $\hat{x}_i(t)$ به‌ترتیب مقادیر واقعی و پیش‌گویی‌شده هستند. هدف این مقاله، حداقل‌سازی تابع هزینه است که موجب تعیین مناسب ساختار شبکه RNN و تعیین وزن‌های بهینه می‌شود [۲۴-۲۷].



شکل ۱: ساختار شبکه RNN

۲-۲- آموزش شبکه

روش PSO، یک روش بهینه‌سازی است که از رفتار جمعی پرندگان و ماهی‌ها در پیدا کردن غذا الهام گرفته شده است. در این روش هر نامزد برای جواب مسئله، یک پرنده در فضای جستجو است که ذره نام دارد. هر ذره دارای یک مقدار شایستگی است که توسط تابع شایستگی مسئله به‌دست می‌آید. پرنده‌ای که به غذا نزدیک‌تر است شایستگی بیشتری دارد. این روش مانند اکثر روش‌های جستجو با یک گروه از جواب‌های تصادفی جستجو را به شکل موازی شروع می‌کند و سپس برای یافتن جواب بهینه در فضای مسئله با به‌هنگام کردن مکان ذره‌ها به جستجو ادامه می‌دهد. مکان ذره در هر تکرار متأثر از دو عامل است. اولین عامل بهترین موقعیتی است که تابه‌حال در همسایگی این ذره کسب شده است. مکان هر ذره بر اساس این دو عامل به‌هنگام می‌شود، به‌عبارت دیگر اعضای جمعیت از طرف موظفند موقعیت خود را با تبعیت از بهترین عضو جمعیت در یک شعاع همسایگی تغییر دهند و از طرف دیگر لازم است بهترین موقعیتی را که تاکنون تجربه کرده‌اند در حافظه خود نگه‌داری کرده و تمایلی نیز به‌سمت آن داشته باشند. با توجه به شعاع همسایگی، به روش بهینه‌سازی گروه ذرات "بهترین کلی" می‌گویند. در این حالت بهترین موقعیت کسب‌شده در همسایگی یک ذره، بهترین موقعیت کسب‌شده در بین کل اعضای جمعیت است [۲۸، ۲۹]. اگر شعاع همسایگی کمتر از اندازه کل جمعیت باشد، به روش بهینه‌سازی گروه ذرات "بهترین محلی" می‌گویند. در روش بهینه‌سازی گروه ذرات برای هر ذره i، یک موقعیت y_i و یک سرعت v_i در نظر گرفته می‌شود. اگر بعد مسئله بهینه‌سازی n فرض شود، بردار موقعیت و بردار سرعت i به‌صورت زیر است:

$$y_i = [y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{in}] \qquad (۸)$$

Archive of SID

www.SID.ir

$$V_i = [v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in}] \quad (۹)$$

که در آن، y_{id} و v_{id} به‌ترتیب معرف موقعیت مکانی و سرعت بعد d ام ذره i است. سرعت و موقعیت این بعد ذره در تکرار $(t+1)$ به‌صورت روابط (۱۰) و (۱۱) است.

$$\overrightarrow{v_i}(t+1) = \omega v_i(t) + c_1.rand\left(\overrightarrow{P_i}(t) - \vec{x}_i(t)\right) + C_2 rand(\overrightarrow{P_g}(t) - \vec{x}_i(t)) \quad (۱۰)$$

$$\overrightarrow{x_i}(t+1) = \vec{x}_i(t) + \overrightarrow{v_i}(t+1) \quad (۱۱)$$

در روابط فوق، ω وزن اینرسی در بازه [0,1]، c_1 و c_2 ضرایب یادگیری یا شتاب در بازه [1,2] هستند. c_2 را پارامتر اجتماعی و c_1 را پارامتر شناختی می‌گویند. معمولاً این دو باهم برابر هستند. Rand عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه [0,1]، $\overrightarrow{P_i}(t)$ بهترین موقعیت ذره در بعد d ام تاکنون، $\overrightarrow{P_g}(t)$ بهترین موقعیت در بین کل ذره‌ها برای بعد d ام تاکنون و $\overrightarrow{P_i}(t)$ بهترین موقعیت ذره در بین کل ذره‌ها برای بعد d ام تابه‌حال است. ω برای ایجاد توازن لازم بین یافتن پاسخ کلی و محلی در رابطه (۱۰) وارد شده است. ثابت شده است که شرط همگرایی الگوریتم آن است که رابطه (۱۲) برقرار باشد [۲۹].

$$0 \le \frac{c_1+c_2}{2} - 1 < \omega < 1 \quad (۱۲)$$

برای جلوگیری از واگرایی الگوریتم، معمولاً مقدار نهایی سرعت هر ذره به یک مقدار بیشینه محدود می‌شود؛ یعنی $v_i \epsilon [-v_{max}, v_{max}]$. شرط خاتمه الگوریتم همگرایی آن یا توقف بعد از تعداد معینی تکرار است. شایستگی هر ذره با استفاده از تابع برازندگی، $f(0)$، سنجیده می‌شود. این تابع برازندگی مربوط به مسئله مورد نظر بوده و هدف کمینه کردن آن است. بهترین موقعیت هر ذره i ام در هر تکرار طبق رابطه (۱۳) به‌هنگام می‌شود.

$$\overrightarrow{P_i}(t) = \begin{cases} \vec{P}_i(t-1) & if \quad f(\overrightarrow{x_i}(t)) \ge f\left(\overrightarrow{P_i}(t-1)\right) \\ \overrightarrow{x_i}(t) & if \quad f(\overrightarrow{x_i}(t)) \ge f(\overrightarrow{P_i}(t-1)) \end{cases} \quad (۱۳)$$

این رابطه به این معنا است که اگر مقدار فعلی تابع برازندگی ذره i ام، به‌ازای موقعیت فعلی $\overrightarrow{x_i}$، از برازنده‌ترین مقدار قبلی آن کمتر باشد، همین موقعیت به‌عنوان بهترین موقعیت این ذره ثبت می‌شود و در غیر این صورت بهترین موقعیت ذره بهترین موقعیت قبلی باقی خواهد ماند. گام‌های الگوریتم PSO به‌صورت زیر است [۳۰-۲۸]:

۱. مقداردهی اولیه: ذرات اولیه به‌طور تصادفی تولید شود.

۲. ارزیابی: برای هر ذره، قابلیت آن مطابق با تابع قابلیت دریافت شده در متغیرها ارزیابی شود.

۳. به‌روزرسانی: قابلیت و شایستگی ذرات در هرلحظه با قابلیت‌های پیشین مقایسه شود، اگر مقدار آن بیشتر از قبلی بود، مقدار را برابر مقدار فعلی و موقعیت را برابر موقعیت فعلی در فضای بعدی قرار می‌دهد.

۴. ساختارسازی: هر ذره به مکان جدیدی منتقل می‌شود.

۵. پایان: اگر مصداق پایان تأیید شود، الگوریتم پایان یابد در غیر این صورت به ۲ برگردد.

فلوچارت الگوریتم PSO در شکل ۲ دیده می‌شود. در ابتدا جمعیت ذرات مقداردهی اولیه می‌شود، هر ذره دارای یک مکان تصادفی با فضای D بعدی و سرعت تصادفی در هر بعد دارد. هر ذره الگوریتم RNN مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، اگر ارزیابی هر ذره بهتر از بهترین ارزش ذرات بود، بردار مکان برای هر ذره ذخیره شود. اگر ارزش ذره در ارزیابی بهتر از بهترین کلی ذرات بود بردار مکان برای بهترین کلی ذخیره شود. سرعت و مکان ذره تا تصدیق شرایط پایانی به‌روز می‌شود. برای الگوریتم PSO ۳۰ ذره به‌طور تصادفی تولید گردید. ضرایب C_1 و C_2 به‌ترتیب ۲ و ۱/۶ تعیین گردید و وزن اینرسی w به‌طور خطی بین ۰/۸ تا ۰/۴ کاهش پیدا کرد. حداکثر تعداد نمونه‌ها ۴۰۰ انتخاب شد. مقادیر پارامتر c جستجوشده بین ۰/۰۱ و ۳۶۰۰۰ است؛ درحالی‌که مقدار پارامتر σ بین ۰/۰۰۰۱ و ۳۲ بوده است.

۳- سنجش دقت مدل پیش‌گویی

سیگنال ماهواره به‌وسیله آنتن GPS دریافت می‌شود. گیرنده GPS مطابق با پروتکل مشخص اطلاعاتی از زمان و مکان را در اختیار کاربر می‌گذارد. برای ارزیابی دقت مدل پیش‌گویی از پردازنده‌ای با مشخصات CORE i5 CPU 2.3GHz, 4GB RAM، سیستم عامل Windows 7 و Visual C + + V. 11 استفاده شده است. اطلاعات دریافتی از گیرنده GPS ای است که در مکان دقیقِ $(x = 32261381.23,\ y = 40545133.41,\ z = 3709400.12)$ مستقر بود. شکل ۳ ساختار استفاده از مدل پیش‌گویی در ایستگاه مرجع RTDGPS را نشان می‌دهد. هر گام پیش‌گویی در این مقاله، ۵ ثانیه است. مطابق با مطالب ذکرشده در مقدمه ورودی مدل پیش‌گویی PRC است، کارایی مدل پیش‌گویی در تقریب مقادیر آینده PRC و در زمان فقدان سیگنال اهمیت دارد. بایاس، نرخ آموزش و ضریب حرکت به‌ترتیب برابر با ۱، ۰/۲ و ۰/۵ برای شبکه عصبی است و تعداد نرون‌های لایه مخفی ۶۳ عدد در بهترین شرایط در نظر گرفته شد. مدل PSO-RNN برای رسیدن به دقت و پایداری بیشتر به RTDGPS افزوده شده است. در سنجش این مدل علاوه بر ارزیابی دقت، گام زمانی مفید این مدل برای پیش‌گویی PRC سنجش می‌شود. کارایی مدل در سه بخش دقت، کارایی در گام‌های پیش‌گویی بالا و زمان CPU سنجش شد. در شکل ۴، PRC واقعی ماهواره شماره ۷ دیده می‌شود. در همین شکل مدل پیش‌گویی PSO-RNN توانسته است مقادیر واقعی را تقریب بزند. نزدیکی نقاط واقعی به نقاط پیش‌گویی بیانگر این واقعیت است. رنگ مشکی نشان‌دهنده مقادیر پیش‌گویی و رنگ قرمز مقادیر واقعی است. تغییرات PRC این ماهواره به بیش از ۱۰ متر رسیده است. خطای مدل پیش‌گویی که حاصل تفاوت مقدار واقعی PRC مقدار پیش‌گویی‌شده PRC است، در شکل ۵ برای ماهواره‌های ۷ نشان داده شده است. این دیاگرام نشان می‌دهد که درصد بالایی از خطای مدل در بازه ۰/۲ و ۰/۲- است. در مکان مرجع، گیرنده در ساعت ۱۲ تا ۱۲:۵۰ و تاریخ ۲۱ تیر ۱۳۹۳، از ۶ ماهواره به شماره‌های ۴، ۷، ۱۹، ۲۱، ۵ و ۸ استفاده کرده است. بررسی آماری خطای مدل

Archive of SID

www.SID.ir

پیش‌گویی برای این ۶ ماهواره در جدول ۱ منعکس شده است. از پارامترهای ماکزیمم، مینیمم، میانگین، واریانس و جذر میانگین مربعات خطا برای سنجش استفاده شده است. مطابق با جدول ۱، خطای RMS مدل PSO-RNN در تقریب مقادیر PRC حدود ۰/۲۰ متر است. ماکزیمم خطا در ماهواره شماره ۱۹ به ۱ متر می‌رسد. در این‌مدت، مدل PSO-RNN در برخی زمان‌ها دقیقاً مقدار واقعی PRC را بدون خطا پیش‌گویی کرده است. واریانس خطای پیش‌گویی به‌طور کلی کم است که نشان می‌دهد پراکنش اطلاعات حول مقدار صفر متمرکز است. زمان پردازنده مدل PSO-RNN ۰/۷۷۳۴ میلی‌ثانیه است.

مدل پیش‌گویی باید بتواند در گام‌های پیش‌گویی بالاتر نیز با مقدار کم خطا و با پایداری خوب PRC را تقریب بزند. در شکل ۶ پیش‌گویی PRC با گام ۱۰ به‌جلو نشان داده شده است. با توجه به این‌که هر گام ۵ ثانیه است، زمان پیش‌گویی ۵۰ ثانیه خواهد بود. در این شکل مقادیر پیش‌گویی‌شده به مقادیر واقعی نزدیک است. در این شرایط با توجه به این‌که مدل PSO-RNN باید در زمان فقدان سیگنال اطلاعات ۵۰ ثانیه را تقریب بزند، مشخص است که مدل به‌خوبی قادر به انجام این پیش‌گویی است. در شکل ۷ خطای مدل پیش‌گویی ماهواره شماره ۹ نشان داده شده است. بررسی آماری این شبیه‌سازی در جدول ۲ نشان می‌دهد که حداکثر خطا به ۰/۶ متر رسیده است. تمرکز خطا بین ۰ تا ۰/۲ است. بررسی آمار خطای پیش‌گویی مدل PSO-RNN نشان می‌دهد که با افزایش گام زمانی مدل پایداری خود را حفظ کرده و به‌میزان اندکی در افزایش خطای RMS مدل PSO-RNN مؤثر بوده است. واریانس خطا همچنان حول نقطه صفر است و RMS خطا حدود ۰/۲۲ متر می‌باشد. گام زمانی مدل پیش‌گویی ۳۰ گام به‌جلو انتخاب شد، شکل ۸ عملکرد مدل را در پیش‌گویی PRC ماهواره شماره ۱۸ نشان می‌دهد. با توجه به این شکل مشخص است که مقادیر پیش‌گویی همچنان تا حد زیادی به مقادیر واقعی نزدیک است. خطای پیش‌گویی در این حالت برای دو ماهواره شماره ۱۸ در شکل ۹ نشان داده شده است. حداکثر خطای مدل PSO-RNN کمتر از ۲ متر است و تمرکز اکثر نقاط خطا بین ۰/۵ و ۰/۵- متر است. این نشان می‌دهد که تغییرات خطای مدل PSO-RNN با ۳۰ گام به‌جلو همچنان محدود است.

در جدول ۳ بررسی آماری خطای مدل PSO-RNN نشان داده شده است. خطای RMS مدل حدوداً ۰/۲۹ متر است. برای ماهواره شماره ۱۹ و ۲۱ در برخی زمان مدل دقیقاً مقدار واقعی را پیش‌گویی کرده و خطای PSO-RNN صفر است.

آزمون دیگری که انجام شد بررسی زمان مؤثر پیش‌گویی برای PSO-RNN است. گام زمانی پیش‌گویی ۵ ثانیه است. آموزش مدل PSO-RNN ۱۰۰ گام زمانی در نظر گرفته شد. سپس سیگنال تصحیحاتی DGPS قطع شد، مدل PSO-RNN ۴۵ گام به‌خوبی و با نرخ مناسبی پیش‌گویی را انجام می‌دهد؛ یعنی مدل حدود ۲۲۵ ثانیه فقدان سیگنال را با خطای کم و با پایداری خوب جبران می‌کند. پس از آن از پایداری آن کاسته شده و خطای مدل پیش‌گویی به‌طور فزاینده‌ای زیاد می‌گردد. شبیه‌سازی مربوط به این آزمون در شکل ۱۰ و برای ماهواره شماره ۱۳ نشان داده شده است. برای سایر ماهواره‌ها شرایط تقریباً نزدیک به این شبیه‌سازی است.

۴- پیاده‌سازی RTDGPS

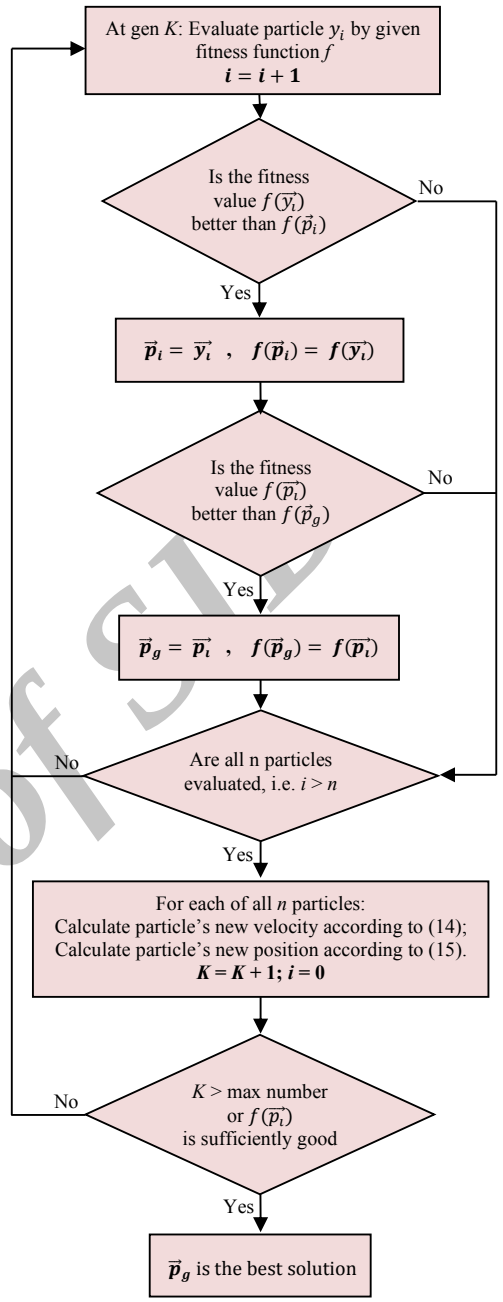
۴-۱- ایستگاه مرجع

برای پیاده‌سازی RTDGPS نیاز به طراحی ایستگاه مرجع و کاربر است. در طراحی این ایستگاه‌ها از ماژول‌های ارزان‌قیمت استفاده شده است. قیمت سامانه‌های RTDGPS کاربرد عمومی آن را محدود کرده است. در این مقاله استفاده از گیرنده‌های GPS ارزان‌قیمت تک‌فرکانسه، موجب کاهش قیمت نهایی سامانه RTDGPS می‌شود. گیرنده استفاده‌شده در ایستگاه مرجع M12 i-louth است [۳۱]. خصوصیات بارز این گیرنده ۱۲ کاناله شامل؛ مختص مسیریابی، مختص DGPS مستقیم و معکوس، حاوی اطلاعاتی از سرعت، زمان، مکان و دقت مکان‌یابی ۵ متر است. این گیرنده اطلاعات زمان، مکان و سرعت را از طریق درگاه سریال در اختیار کاربران قرار می‌دهد. این گیرنده حداکثر تا ۲۰ ماهواره را می‌بیند، از کد C/A و فرکانس حامل $L1$ استفاده می‌کند. این گیرنده از ۱۰ درگاه برای ارتباط با واحدهای خارجی بهره می‌برد. گیرنده مذکور پروتکل NMEA و پروتکل باینری را به‌عنوان پروتکل‌های ورودی و خروجی حمایت می‌کند، پروتکل RTCM نیز به‌عنوان فقط پروتکل ورودی تحت حمایت این گیرنده است. پروتکل NMEA پروتکل مشترک بین همه گیرنده‌ها GPS است. این پروتکل اطلاعات لازم برای ساخت پروتکل RTCM خروجی را ندارد [۱۹].

پروتکل RTCM باید از روی اطلاعات باینری گیرنده ساخته شود. همه پیام‌های این پروتکل با قالب باینری "0x40 0x40" شروع می‌شود. دو کاراکتر اول همه پیام‌های این پروتکل @@ است که سرآغاز همه‌ی پیام‌ها است. پیامی که برای دریافت تصحیح‌های تفاضلی باید ارسال شود پیام *Bh*@@ است و پیام ورودی پیام *Ce*@@ است. پاسخ پیام *Bh*@@ پیام ورودی *Ce*@@ خواهد بود. عنوان پیام PRC ورودی و طول پیام ۵۲ بایت (برای ۶ ماهواره) است. پروتکل مخصوص سامانه RTDGPS با استفاده از این پیام ساخته می‌شود. این پروتکل برای انتقال اطلاعات تصحیح از ایستگاه مرجع به گیرنده GPS کاربر به‌کار می‌رود. در پیام شماره یک علاوه بر PRC فاکتور RRC برای جبران خطای تأخیر ارسال سیگنال از ایستگاه مرجع به کاربر قرار داده شده است که استفاده از آن ضرورتی ندارد. این پروتکل توسط کمیته مخصوص رادیویی برای سرویس‌های دریایی آمریکا در سال ۱۹۹۰ ابداع و در همان کشور به‌کار گرفته شد. اطلاعات این پروتکل به‌صورت باینری منتقل می‌شود. از زمان نگارش اولیه این پروتکل تا به امروز، نسخ متفاوتی از این پروتکل به‌وجود آمده است. نسخ جدیدتر، کامل‌تر هستند و پیام‌های جدید به‌مرور به آن افزوده شده است. در این مقاله از نسخه ۲/۳ استفاده شده است.

Archive of SID

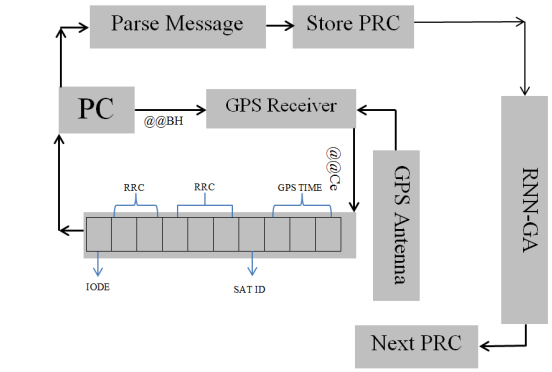
www.SID.ir



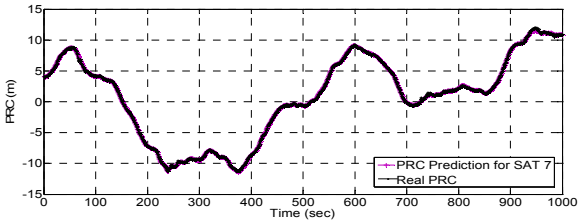
شکل ۲: فلوچارت الگوریتم PSO

جدول ۱: بررسی آماری خطای مدل پیش‌گویی PSO-RNN در پیش‌گویی PRC ۶ ماهواره به‌طور هم‌زمان با یک گام روبه‌جلو

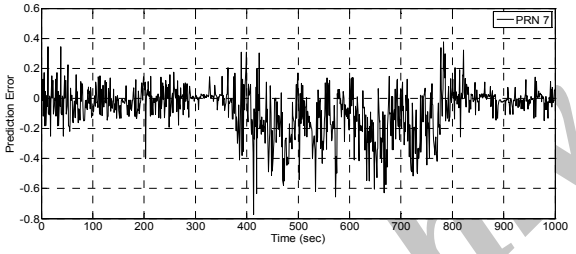
پارامترها / ماهواره‌ها	VAR	AVR	MIN	MAX	RMS PSO-RNN
PRN 4	۰/۰۰۲۴	۰/۰۳۴۶	۰	۰/۶۹	۰/۱۸۳۹
PRN 7	۰/۰۰۲۸	۰/۰۳۷۶	۰	۰/۸۹	۰/۱۸۱۳
PRN 19	۰/۰۰۳۰	۰/۰۶۷۸	۰	۱	۰/۱۹۰۰
PRN 21	۰/۰۰۴۴	۰/۰۴۵۷	۰/۰۰۳	۰/۹۸	۰/۲۰۷۸
PRN 5	۰/۰۰۱۹	۰/۰۳۶۴	۰	۰/۶۶	۰/۱۹۹۹
PRN 8	۰/۰۰۱۸	۰/۰۵۴۳	۰/۰۰۲	۰/۶۹	۰/۱۹۰۰



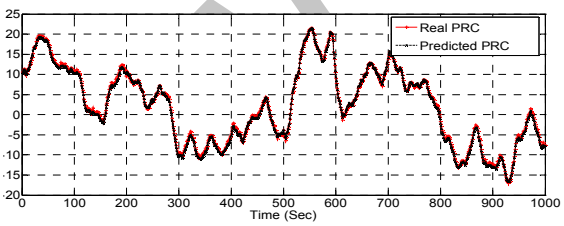
شکل ۳: ساختار استفاده از مدل پیش‌گویی در ایستگاه مرجع RTDGPS



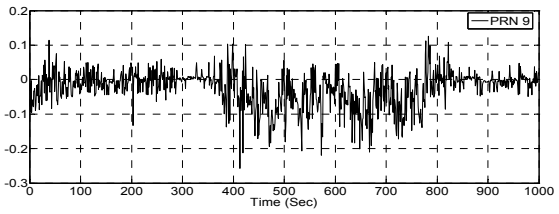
شکل ۴: پیش‌گویی PRC ماهواره شماره ۷ با مدل PSO-RNN



شکل ۵: خطای پیش‌گویی PRC ماهواره شماره ۷ با مدل PSO-RNN



شکل ۶: پیش‌گویی PRC ماهواره شماره ۹ با مدل PSO-RNN



شکل ۷: خطای پیش‌گویی PRC ماهواره شماره ۹ با مدل PSO-RNN

Archive of SID

www.SID.ir

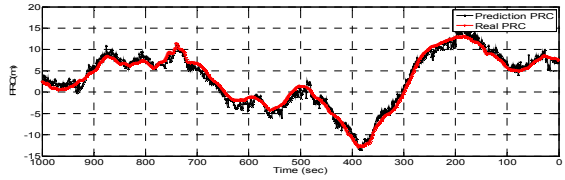
جدول ۲: بررسی آماری خطای مدل پیش‌گویی PSO-RNN در پیش‌گویی PRC ۶ ماهواره به‌طور هم‌زمان با ۱۰ گام روبه‌جلو

پارامترها / ماهواره‌ها	VAR	AVR	MIN	MAX	RMS PSO-RNN
PRN 9	۰/۰۰۳۰	۰/۰۴۵۳	۰	۰/۲۸	۰/۲۰۱۳
PRN 1	۰/۰۰۴۱	۰/۰۳۵۷	۰	۰/۳۴	۰/۲۱۰۸
PRN 3	۰/۰۰۵۳	۰/۰۳۹۸	۰	۰/۲۹	۰/۱۹۷۹
PRN 21	۰/۰۰۲۸	۰/۰۸۶۵	۰/۰۰۱	۰/۳۸	۰/۲۰۳۴
PRN 2	۰/۰۰۳۹	۰/۰۸۷۴	۰/۰۰۵	۰/۲۹	۰/۲۱۶۷
PRN 8	۰/۰۰۲۸	۰/۰۷۳۰	۰	۰/۳۱	۰/۲۱۸۶

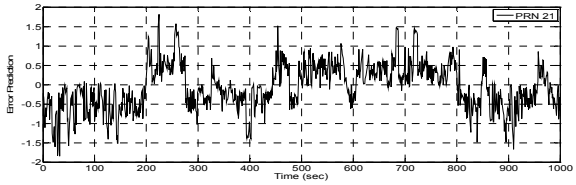
جدول ۳: بررسی آماری خطای مدل پیش‌گویی PSO-RNN در پیش‌گویی PRC ۶ ماهواره به‌طور هم‌زمان با ۳۰ گام روبه‌جلو

پارامترها / ماهواره‌ها	VAR	AVR	MIN	MAX	RMS PSO-RNN
PRN 21	۰/۰۱۰۴	۰/۰۳۳۴۲	۰/۰۰۲	۱/۶۳	۰/۲۹۷۶
PRN 18	۰/۰۱۲۸	۰/۰۳۷۸	۰	۱/۳۸	۰/۲۸۴۳
PRN 7	۰/۰۱۰۰	۰/۰۴۳۳	۰/۰۱۱	۱/۵۴	۰/۲۷۰۰
PRN 6	۰/۰۱۲۴	۰/۰۳۸۹	۰	۱/۷۶	۰/۳۰۰۹
PRN 19	۰/۰۳۲۹	۰/۰۴۳۲۱	۰/۰۱۳	۱/۳۹	۰/۳۱۲۳
PRN 3	۰/۰۱۲۴	۰/۰۴۴۴۴	۰/۰۱۴	۱/۱۴	۰/۲۹۸۹

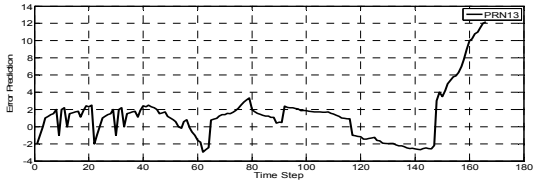
در میان این پیام‌ها، پیام شماره یک اهمیت بیشتری دارد و سایر پیام‌ها با وجود پیام شماره ۱ اعتبار می‌یابند. در RTCM محتویات مختلف از اطلاعات ثبت‌شده در چند نوع پیام فشرده‌سازی می‌شوند. اطلاعات ثبت‌شده در هر پیام شامل یک هدر و یک بدنه می‌باشند. هدر شامل نوع پیام، اطلاعات زمان، مشخصه ایستگاه مرجع و طول پیام است. بدنه پیام حاوی اطلاعات مناسب کاربردی برای هر نوع پیام است. طول پیام به نوع پیام بستگی دارد. هدر و بدنه پیام به‌وسیله بیت‌های توازن محافظت می‌شوند. طول هر قالب ارسالی شامل N+2 کلمه است. دو کلمه اول در آغاز همه پیام‌ها ثابت است. شماتیک ایستگاه مرجع RTDGPS طراحی‌شده در این مقاله در شکل ۱۱ نشان داده شده است. اطلاعات تفاضلی گیرنده باید تبدیل به پروتکل RTCM گردد. تا زمانی که سیگنال GPS متصل است مدل PSO-RNN در حالت آموزش است و اطلاعات گذشته PRC را از واحد تجزیه اطلاعات دریافت می‌کند و آموزش می‌بیند. به‌محض قطع سیگنال مدل مقادیر آینده PRC را پیش‌گویی می‌کند. مقادیر پیش‌گویی شده در اختیار واحد ذخیره اطلاعات گذاشته می‌شود. در هر دو حالت قطع و وصل سیگنال GPS اطلاعات ذخیره می‌شوند و مطابق با الگوریتم مشخص مرتباً کلمات ۳۰ بیتی پروتکل RTCM ساخته می‌شوند. پروتکل از طریق فرستنده رادیویی مدل ZigBee (ZS10) [۳۲] برای گیرنده کاربر ارسال می‌گردد. این فرستنده با آنتن 9DBI قابلیت ارسال اطلاعات را تا ۱۶۰۰ متر دارد، کم‌حجم و بسیار سبک‌وزن است. از درگاه RS232 بهره می‌برد و از پروتکل با امنیت بهره می‌برد. اطلاعات را در قالب باینری ارسال می‌کند. برای پیاده‌سازی ایستگاه مرجع گیرنده M12M از یک برد واسط TTL به RS232 جهت اتصال به PC بهره می‌برد.



شکل ۸: پیش‌گویی PRC ماهواره شماره ۱۸ با مدل PSO-RNN



شکل ۹: خطای پیش‌گویی PRC ماهواره شماره ۱۸ با مدل PSO-RNN



شکل ۱۰: زمان مؤثر پیش‌گویی برای PSO-RNN

نرم‌افزار ایستگاه مرجع

برای انجام فرآیندهای ایستگاه مرجع یک نرم‌افزار واسط با استفاده از GUI MATLAB طراحی شد. نسخه استفاده‌شده این نرم‌افزار R2013a است. نمای اصلی نرم‌افزار طراحی‌شده در شکل ۱۲ نشان داده شده است. گیرنده با تعریف پورت ورودی به نرم‌افزار متصل می‌گردد. برای پیاده‌سازی ایستگاه مرجع نیاز به تنظیماتی است. اولین تنظیم، انتخاب موقعیت مرجع است که با استفاده از نرم‌افزار به سه صورت موقعیت فعلی، میانگین موقعیت و وارد کردن دستی قابل انتخاب است. تصحیحات یونسفریک غیرفعال می‌گردد. زاویه ماهواره روی ۱۰ درجه تنظیم می‌شود. نرخ تولید تصحیحات تفاضلی، نوع انتخاب ماهواره و نوع مکان‌یابی تعیین می‌گردد. در بخش ارسال فرمان، مطابق با دستورالعمل گیرنده، فرمان‌های کاربری همانند فرمان @@BH برای تولید تصحیحات تفاضلی ارسال می‌گردد. پس از انتخاب گزینه تبدیل اطلاعات باینری به RTCM، پروتکل RTCM تولیدشده در بخش مشاهده به‌صورت باینری نشان داده می‌شود. مطابق با ساختار مشخص اطلاعات باینری پروتکل RTCM رمزگشایی شده و در بخش RTCM Decoder نشان داده می‌شود. این اطلاعات در واقع اطلاعات تفاضلی گیرنده به‌همراه اطلاعات دو کلمه اول پروتکل RTCM است. درگاه سریال خروجی جهت اتصال فرستنده رادیویی به نرم‌افزار و ارسال

Archive of SID

www.SID.ir

پروتکل RTCM انتخاب می‌شود. این نرم‌افزار بر اساس اطلاعات گیرنده مرجع M12M و گیرنده‌های سری U-blox طراحی شده است.

۴-۲- ایستگاه کاربر

در ایستگاه کاربر پروتکل RTCM توسط گیرنده رادیویی مشابه فرستنده رادیویی دریافت می‌گردد. گیرنده GPS استفاده‌شده در ایستگاه کاربر U-BLOX LEA-6H است [۳۳]. این گیرنده توانایی دریافت پروتکل RTCMV2.3 را دارد. چون مدار راه‌انداز این گیرنده دارای ورودی سریال است گیرنده رادیویی مستقیماً به GPS متصل می‌گردد. نمای پیاده‌سازی ایستگاه کاربر در شکل ۱۳ نشان داده شده است. گیرنده GPS دو سیگنال دریافت می‌کند؛ سیگنال RTCM و سیگنال ماهواره. این گیرنده از یک نرم‌افزار جامع جهت تحلیل آماری مشاهدات و دقت موقعیت‌یابی (U-center v8.1) بهره می‌برد. این گیرنده داری نرم‌افزار داخلی ۷/۰۳ است. پروتکل حاکم بر این گیرنده پروتکل NMEA، RTCM و باینری UBX است. خصوصیات بارز گیرنده ۵۰ کاناله بودن، مختص مسیریابی، DGPS ورودی، حاوی اطلاعاتی از سرعت، زمان و مکان و دقت مکان‌یابی خوب (بین گیرنده‌های ارزان‌قیمت) است. از کد C/A و فرکانس حامل $L1$ استفاده می‌کند. دقت گیرنده ۳ متر است.

۵- بررسی دقت مکان‌یابی سامانه

برای بررسی دقت سامانه RTDGPS طراحی‌شده ایستگاه مرجع در آزمایشگاه GPS دانشگاه شهید رجایی قرار داده شد. موقعیت دقیق ایستگاه مرجع (x=32261381, y=40545133, z=3709400) ایستگاه کاربر در نقطه‌ای استاتیک، زمین فوتبال دانشگاه شهید رجایی قرار داده شد. موقعیت دقیق ایستگاه کاربر (x = 322599529, y = 405463680, z = 3709429.64) برای اعمال پیام شماره ۱ پروتکل RTCM و قرار گرفتن در حالت DGPS حداقل ۴ ماهواره مشترک قابل استفاده نیاز است؛ که در بخش اعظمی از نمونه‌برداری ۸ ماهواره مشترک در دو ایستگاه وجود داشت. پیام شماره ۱ با حداکثر نرخ برای ایستگاه کاربر ارسال شد.

اولین تستی که برای سنجش سیستم طراحی‌شده انجام شد، سنجش کارایی مدل پیش‌گویی در دقت RTDGPS در فاصله صفر بین دو ایستگاه بود. نتیجه این تست با RTDGPSای که از RRC استفاده می‌کند مقایسه شد. گیرنده U-Blox از امکان DGPS Time out بهره‌مند است، اما برای این‌که روی آزمون اثرگذار نباشد مقدار آن در ایستگاه کاربر صفر قرار داده شد. تأخیرهای متنوعی با استفاده از پیام @@BH در تولید پیام تصحیحاتی DGPS ایجاد شد. دو ایستگاه دقیقاً در کنار هم و در نقطه مرجع قرار گرفتند. خطای مشاهدات مکانی در این تست مشابه جدول ۴ است. تستی دیگر انجام شده، استفاده از DGPS Time out بدون مدل پیش‌گویی و بدون RRC است. DGPS Time out روی ۱۲۰ ثانیه تنظیم شد. در شکل ۱۴ اطلاعات DGPS دریافت‌شده در گیرنده کاربر نشان داده شده است که مطابق با اطلاعات نشان داده‌شده در جدول ۴ است.

جدول ۴: خطای RMS مکان‌یابی برحسب متر در آزمون سامانه RTDGPS با الگوریتم PSO-RNN و با RRC

تأخیر ۵۰ ثانیه‌ای	تأخیر ۱۰۰ ثانیه‌ای	قطع سیگنال در بازه‌های یک‌دقیقه‌ای
نوع آزمون	ایستگاه مرجع: با الگوریتم PSO-RNN ایستگاه مرجع: بدون RRC ایستگاه کاربر: DGPS TIME OUT=0	
۰/۳۸۰۹	۰/۳۹۷۲	۰/۳۹۸۷۹
نوع آزمون	ایستگاه مرجع: بدون الگوریتم PSO-RNN ایستگاه مرجع: با RRC ایستگاه کاربر: DGPS TIME OUT=0	
۰/ ۸۱۰۹	۰/۹۰۹	۱/۹۹۶
نوع آزمون	ایستگاه مرجع: بدون الگوریتم PSO-RNN ایستگاه مرجع: بدون RRC ایستگاه کاربر: DGPS TIME OUT=120s	
۰/۶۱۰۹	۰/۶۵۰۹	۰/۶۴۰۰

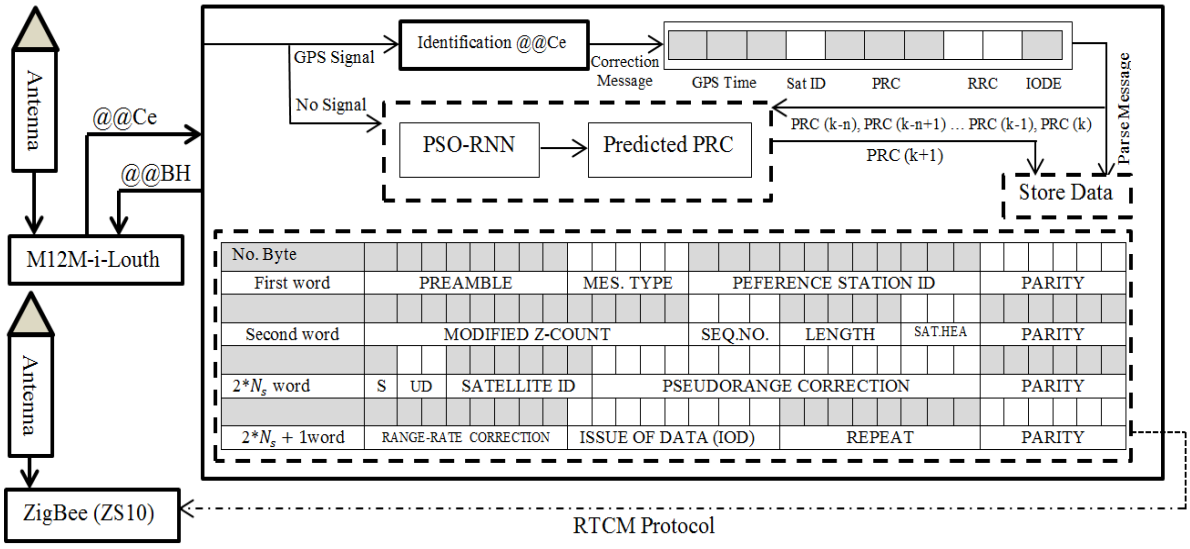
با بررسی جدول ۴ دریافت می‌شود که افزایش تأخیر در نقصان RTDGPS مؤثر است. جبران این تأخیرها وابسته به مدل پیش‌گویی است. تأخیرهای ایجادشده در این تست عمدی است، قطع سیگنال در ایستگاه مرجع از ارسال پی‌درپی تصحیحات DGPS جلوگیری می‌کند. خطای ایستگاه کاربر وقتی از RRC در ایستگاه مرجع استفاده می‌شود، تقریباً دو برابر حالتی که از مدل پیش‌گویی در ایستگاه مرجع استفاده می‌شود. استفاده از DGPS Time out کارایی بهتری نسبت به RRC دارد. در خصوص این امکان قابل ذکر است که فقط وقتی که ایستگاه کاربر PRC دریافت نکند گیرنده کاربر از اطلاعات گذشته PRC استفاده می‌کند؛ اما اگر اطلاعات DGPS در گیرنده کاربر دریافت شود، (PRC پیش‌گویی‌شده یا محاسبه‌شده با RRC) گیرنده کاربر از همان اطلاعات دریافتی بهره می‌برد. این امکان درصورتی‌که ارتباط بین دو ایستگاه قطع شود بسیار مفید خواهد بود. در این حالت مدل پیش‌گویی نیز کارایی نخواهد داشت و حتماً برای حفظ شرایط موقعیت‌یابی در حالت DGPS باید از آن استفاده شود. در تست انجام‌شده وقتی سیگنال GPS مرجع قطع می‌گردد و از الگوریتم پیش‌گویی استفاده نمی‌شود، گیرنده کاربر اگر از DGPS Time out استفاده نکند وارد حالت GPS می‌شود و خطای مکان‌یابی آن به‌طور فزاینده‌ای زیاد می‌شود. درحالی‌که وقتی از مدل پیش‌گویی PSO-RNN استفاده می‌شود خطا حدود ۰/۳۹ متر است. این میزان خطا برای حالت سوم ۰/۶۴ متر است.

تست با حد فاصل ۲۵۰ متری بین ایستگاه مرجع و کاربر

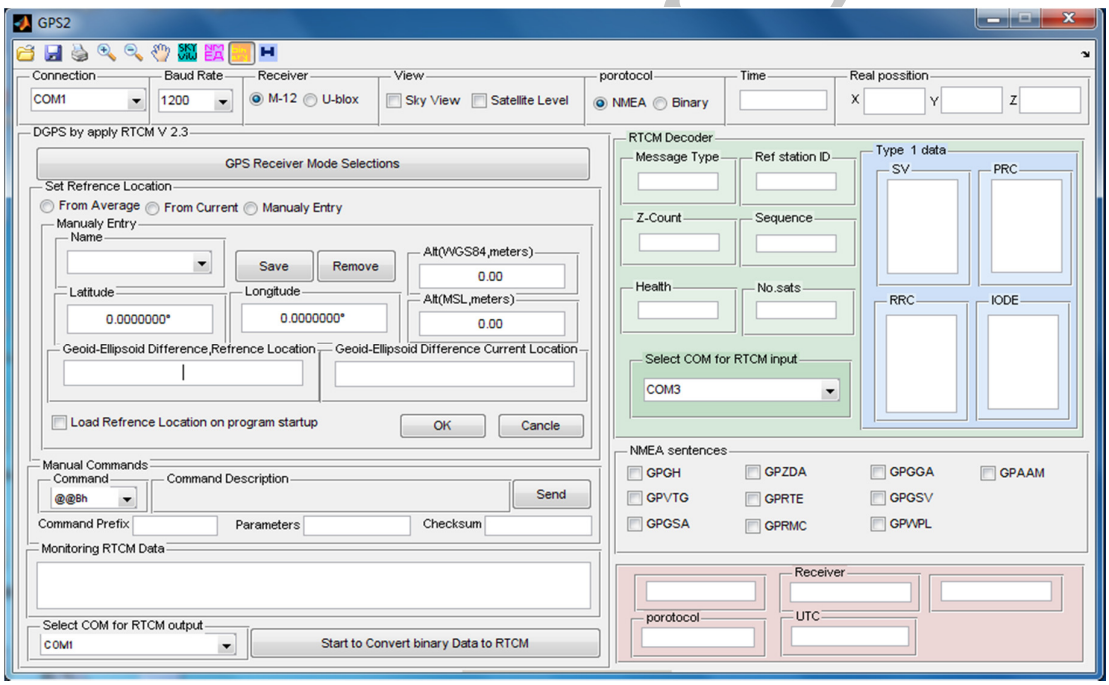
در تست اول ۲۵۲/۳۰۱۳ متر فاصله بین دو ایستگاه ایجاد شد و موقعیت ایستگاه کاربر در مختصات واقعی زیر قرار گرفت:

Archive of SID

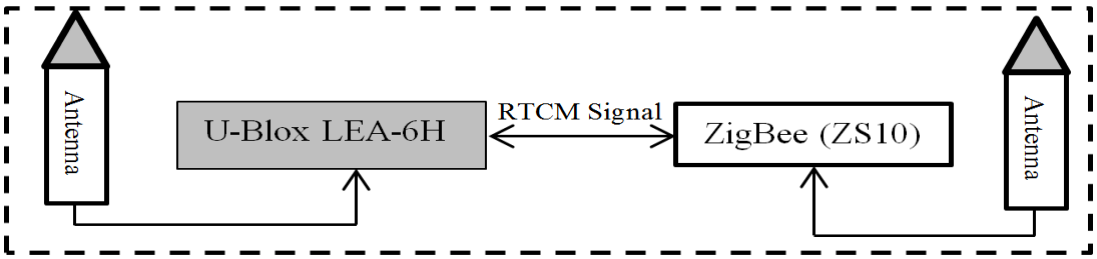
www.SID.ir



شکل ۱۱: ایستگاه مرجع RTDGPS

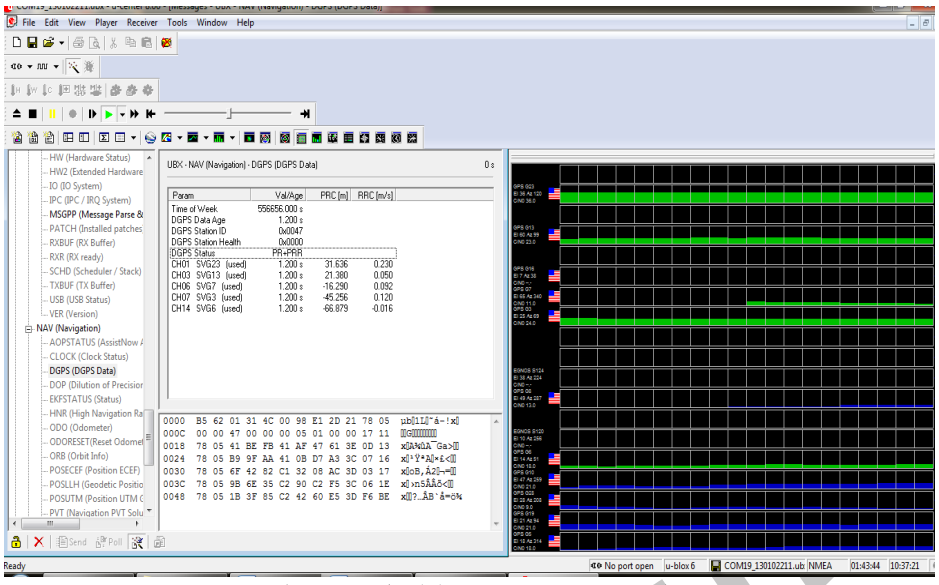


شکل ۱۲: نرم‌افزار واسط طراحی‌شده برای ایستگاه مرجع RTDGPS



شکل ۱۳: ایستگاه کاربر RTDGPS

www.SID.ir



شکل ۱۴: اطلاعات DGPS دریافت شده از ایستگاه مرجع در گیرنده کاربر

($x=3225995.29$, $y=4054636.80$, $z=3709429.64$) ایستگاه کاربر از طریق گیرنده رادیویی پروتکل RTCM را دریافت می‌کند، به‌مدت ۱۲ ساعت سیستم در حالت روشن قرار گرفت، در ۴ ساعت اول RTDGPS از مدل PSO-RNN استفاده می‌کند، RRC صفر است، DGPS Time out ایستگاه کاربر روی 0 ثانیه تنظیم می‌شود. اگر در طول ۴ ساعت ارتباط بین دو ایستگاه قطع شود گیرنده کاربر وارد حالت GPS می‌گردد. سیگنال GPS ایستگاه مرجع به‌صورت تصادفی به‌دفعات در بازه‌های ۱۰۰ ثانیه‌ای قطع گردید. در این مدت مدل پیش‌گویی اطلاعات تصحیحات DGPS را برای ایستگاه کاربر فراهم می‌کرد. در سایر اوقات مدل PSO-RNN تحت آموزش قرار می‌گرفت. به‌محض قطع سیگنال گیرنده GPS مرجع، الگوریتم PSO-RNN به‌صورت بلادرنگ شروع به پیش‌گویی و فراهم کردن PRC می‌کند، در این حالت پروتکل RTCM در ایستگاه مرجع ساخته می‌شود.

خطای RMS مکان‌یابی برای ۱۴۴۰۰ داده ۰/۴۲۲۵ متر به‌دست آمد. در تست دوم مدل پیش‌گویی از ساختار RTDGPS حذف گردید، ایستگاه کاربر در موقعیت قبلی قرار گرفت، DGPS Time out ایستگاه کاربر روی صفر ثانیه تنظیم می‌شود. سیگنال GPS ایستگاه مرجع به‌صورت تصادفی به‌دفعات در بازه‌های ۱۰۰ ثانیه‌ای قطع گردید. در این حالت چون مدل پیش‌گویی وجود ندارد در واقع پروتکل RTCM ساخته و ارسال نمی‌گردد. گیرنده کاربر در طول ۱۰۰ ثانیه در موقعیت‌یابی GPS است. البته در حالت اتصال سیگنال نیز چون از RRC بهره می‌برد در کاهش دقت آن مؤثر است. خطای RMS مکان‌یابی برای ۱۴۴۰۰ داده ۲/۰۵۰ متر به‌دست آمد.

در تست سوم مدل پیش‌گویی از ساختار RTDGPS حذف گردید، ایستگاه کاربر در موقعیت قبلی قرار گرفت، DGPS Time out ایستگاه کاربر روی ۱۲۰ ثانیه تنظیم می‌شود. سیگنال GPS ایستگاه مرجع به‌صورت تصادفی به‌دفعات در بازه‌های ۱۰۰ ثانیه‌ای قطع گردید. فاکتور RRC در پروتکل RTCM صفر قرار داده شد. در این حالت چون مدل پیش‌گویی وجود ندارد در واقع پروتکل RTCM ساخته و ارسال نمی‌گردد. گیرنده کاربر در طول ۱۰۰ ثانیه از اطلاعات گذشته PRC بهره می‌برد و همچنان در حالت DGPS است. خطای RMS مکان‌یابی برای ۱۴۴۰۰ داده ۰/۷۳ متر به‌دست آمد.

در جدول ۵ مقایسه خطای مکان‌یابی در سه تست صورت گرفته با حد فاصل ۲۵۰ متر بین دو ایستگاه با یکدیگر مقایسه شده است. مشخص است که خطای مکان‌یابی در حالتی که ایستگاه مرجع از PSO-RNN استفاده می‌کند به‌مراتب کمتر از دو حالت دیگر است.

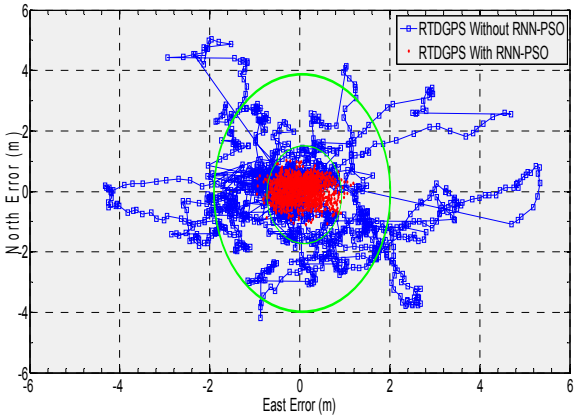
در شکل ۱۵ خطای مکان‌یابی سیستمی که از PSO-RNN استفاده می‌کند با خطای مکان‌یابی مدلی که از PSO-RNN استفاده نمی‌کند، مقایسه گردیده است. در هر دو حالت DGPS Time out صفر است. در این شکل مشخص است که مدل PSO-RNN تأثیر به‌سزایی در کاهش خطای مکان‌یابی دارد. دقت مکان‌یابی با مدل PSO-RNN به‌طور قابل ملاحظه‌ای بهبود یافته است.

جدول ۵: خطای RMS مکان‌یابی برحسب متر در آزمون سامانه RTDGPS

نوع تست	قطع سیگنال در بازه‌های ۱۰۰ ثانیه‌ای
ایستگاه مرجع: با الگوریتم PSO-RNN ایستگاه مرجع: بدون RRC ایستگاه کاربر: DGPS TIME OUT=0	۰/۴۱۲۵
ایستگاه مرجع: بدون الگوریتم PSO-RNN ایستگاه مرجع: با RRC ایستگاه کاربر: DGPS TIME OUT=0	۲/۰۵۰
ایستگاه مرجع: بدون الگوریتم PSO-RNN ایستگاه مرجع: بدون RRC ایستگاه کاربر: DGPS TIME OUT=120s	۰/۷۳

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۵: خطای مکان‌یابی RTDGPS با و بدون PSO-RNN

۶- نتیجه‌گیری

پایداری و دقت RTDGPS وابسته به ارسال سریع و پی‌درپی فاکتورهای تصحیحاتی موجود در پیام شماره ۱ پروتکل RTCM است. برای جلوگیری و جبران نقصان‌های ناشی از تأخیرهای زمانی ارسال، مدل PSO-RNN به ساختار RTDGPS افزوده شد. در زمان قطع سیگنال مدل آموزش‌دیده با پیش‌گویی PRC به جبران این نقصان می‌پردازد. مدل PSO-RNN در پایداری RTDGPS بسیار مؤثر بود. کارایی مدل مورد سنجش قرار گرفت و دقت مدل با یک گام روبه‌جلو ۰/۱۸ متر است. زمان پیش‌گویی مؤثر مدل ۴۵ گام روبه‌جلو است و مدل در این بازه زمانی به‌خوبی مقادیر تصحیحات DGPS را پیش‌گویی می‌کند. تست ساختار طراحی‌شده RTDGPS، خطای RMS مکان‌یابی سامانه را بدون مدل PSO-RNN در تست استاتیک ۰/۸۳ متر نشان دادند. این معیار در تست استاتیک سامانه با مدل PSO-RNN ۰/۴۰ است. در جدول ۶ دقت مکان‌یابی سامانه طراحی‌شده و دقت مدل پیش‌گویی ارائه‌شده با برخی از مراجع مقایسه شده است. افزایش دقت سامانه RTDGPS در تعیین موقعیت دقیق کاربران امری ضروری است، با توجه به تست‌های انجام‌شده این مهم با مدل PSO-RNN ممکن شده است.

جدول ۶: مقایسه دقت مدل پیش‌گویی و مکان‌یابی مراجع مختلف با مقاله

مرجع	دقت مدل پیش‌گویی (متر) RMSE	دقت مکان‌یابی (متر) RMSE
[۱۷]	–	۰/۳۲
	–	
[۱۸]	ANN	۰/۴۲
	۰/۲۸	
[۶]	PSO-SVM	۰/۴۶
	۰/۱۲	
[۵]	GA-SVM	–
	۰/۱۸	
[۱۶]	RNNKF	–
	۰/۲۴	
[۱۵]	ARMANN	۰/۴۳
	۰/۱۵	
این مقاله	PSO-RNN	۰/۴۱

مراجع

[۱] عادل دمشقی، *طراحی و پیاده‌سازی سامانه مکان‌یاب تفاضلی بلادرنگ با استفاده از مدل‌های پیش‌گویی بر روی گیرنده‌های ارزان‌قیمت*، درجه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ۱۳۹۲.

[۲] محمدحسین رفان، *سامانه‌های موقعیت‌یاب ماهواره‌ای و کاربردها*، تهران، انتشارات دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، ۱۳۸۹.

[3] M.H. Refan, and A. Dameshghi, "Comparing error predictions of GPS position components using, ARMANN, RNN, and ENN in order to use in DGPS," *20th Telecommunications Forum*, Belgrade, pp. 815-818, 2012.

[4] M.H. Refan, and A. Dameshghi, "RTDGPS implementation by online prediction of GPS position components error using GA-ANN model," *Journal of Electrical and Computer Engineering Innovations*, vol. 1, no. 1, pp. 43-50, 2013.

[5] M.H. Refan, A. Dameshghi, and M. Kamarzarrin, "Real time pseudo-range correction predicting by a hybrid GASVM model in order to improve RTDGPS accuracy," *Iranian Journal of Electrical and Electronic Enginering*, vol. 9, no. 4, pp. 215-223, 2013.

[6] M.H. Refan, A. Dameshghi, and M. Kamarzarrin, "Improving RTDGPS accuracy using hybrid PSOSVM prediction model," *Aerospace Science and Technology*, vol. 37, pp. 55–69, 2014.

[7] M.R. Mosavi, K. Mohammadi, and M.H. Refan, "A new approach for improving of GPS positioning accuracy by using an adaptive neurofuzzy system, before and after S/A is turned off," *International Journal of Engineering Science, Iran University of Science and Technology*, vol. 15, no. 3, pp. 95-108, 2004.

[8] H. Bock, R. Dach, Y. Yoon, and O. Montenbruck, "GPS clock correction estimation for near real-time orbit determination applications," *Aerospace Science and Technology*, vol. 13, no. 7, pp. 415–422, 2009.

[9] K. Kawamura, and T. Tanaka, "Study on the improvement of measurement accuracy in GPS," *SICE-ICASE International Joint Conference*, Busan, pp. 1372-1375, 2006.

[10] M. Mohasseb, A. Rabbany, O. Alim, and R. Rashad, "DGPS correction prediction using artificial neural networks," *The Journal of Navigation*, vol. 60, no. 2, pp. 291-301, 2007.

[11] J. Zhang, K. Zhang, R. Grenfell, and R. Deakin, "GPS satellite velocity and acceleration determination using the broadcast ephemeris," *The Journal of Navigation*, vol. 59, no. 4, pp. 293–305, 2006.

[12] M.R. Mosavi, "Comparing DGPS corrections prediction using neural network, fuzzy neural network, and kalman filter," *Journal of GPS Solutions*, vol. 10, no. 3, pp. 97-107, 2006.

[13] M.R. Mosavi, "A wavelet based neural network for DGPS corrections prediction," *WSEAS Transactions on Systems*, vol. 3, no. 4, pp. 3070-3075, 2004.

[14] M.R. Mosavi, "Estimation of pseudo-range DGPS corrections using neural networks trained by evolutionary algorithms," *Journal of Review of Electrical Engineering*, vol. 5, no. 2, pp. 2715-272, 2010.

[15] D. Jwo, T. Lee, and Y.W. Tseng, "ARMA neural Networks for predicting DGPS pseudo range correction,"

Archive of SID

www.SID.ir

The journal of navigation, vol. 57, no. 6, pp. 275–28, 2004.

[16] Y. Geng, "Online DGPS correction prediction using recurrent neural networks with unscented kalman filter," *International Global Navigation Satellite Systems Society IGNSS Symposium*, Sydney, 2007.

[17] B. Park, J. Kim, and C. Kee, "RRC unnecessary for DGPS messages," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 42, no. 1, pp. 1149-1160, 2006.

[18] A. Indriyatmoko, T.Y.J. Kang, G.I. Lee, Y.B. Jee, and J. Kim, "Artificial neural network for predicting DGPS carrier phase and pseudo-range correction," *Journal of GPS Solutions*, vol. 12, no. 2, pp. 237-247, 2008.

[19] RTCM Special Committee, *RTCM Recommended Standards for Differential Global Navigation Satellite Systems (GNSS)*, service version 2.2, no. 104, 1998.

[20] C.T. Chiang, and J.S. Hsu, "Improvement in DGPS Accuracy Using Recurrent S_CMAC_GBF," *World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol. 55, pp. 422-427, 2009.

[21] M.R. Mosavi, and H. Nabavi, "Improving DGPS Accuracy using Neural Network Modeling," *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 5, no. 2, pp. 848-856, 2011.

[22] M. Bod´en, *A guide to recurrent neural networks and backpropagation*, The Dallas Project, SICS Technical Report, Available online at: http://citeseerx.ist.psu.edu/-viewdoc/summary?doi=10.1. 1.16.6652/, 2002.

[23] X. Cai, N. Zhang, G. Vena, and D.C. Wunsch, "Time series prediction with recurrent neural networks trained by a hybrid PSO-EA algorithm," *Journal of Neurocomputing*, vol. 70, no. 3, pp. 2342-2353, 2007.

[24] A. Graves, and J. Schmidhuber, "Offline handwriting recognition with multi-dimensional recurrent neural networks," *22nd Annual Conference on Neural Information Processing Systems*, Vancouver, 2008.

[25] C.L. Giles, S. Lawrence, and A.C. Tsoi, "Noisy time series prediction using a recurrent neural network and grammatical inference," *Machine Learning*, vol. 44, no. 6, pp. 161–183, 2001.

[26] J. Pettersson, and M. Wahde, "Generating balancing behavior using recurrent neural networks and biologically inspired computation methods," *IEEE Transactions of Evolutionary Computation*, vol. 23, no. 4, pp. 136-148, 2006.

[27] R.J. Williams, and D. Zipser, "A learning algorithm for continually running fully recurrent neural networks," *Neural Computation*, vol. 1, no. 3, pp. 270–280, 1998.

[28] L.S. Wei, Y.K. Ching, C.S. Chieh, and L.Z. Jung, "Particle swarm optimization for parameter determination and feature selection of support vector machines," *Expert Systems with Applications*, vol. 35, no. 2, pp. 1817-1824, 2008.

[29] W. Yongli, N. Dongxiao, and M. Xiaoyong, "Optimizing of SVM with hybrid PSO and genetic algorithm in power load forecasting," *Journal of Networks*, vol. 5, no. 4, pp. 1192-1198, 2010.

[30] F. Ardjani, and K. Sadouni, "Optimization of SVM multiclass by particle swarm (PSO-SVM)," *International Journal of Modern Education and Computer Science*, vol. 2, no. 1, pp. 32-38, 2010.

[31] M12M User's Guide, *i-Lotus GPS Products*, Available online at: http://www.ilotus.com.sg/m12m_navigation_-oncore/.

[32] Sena Technologie, *ZigBee Serial Adapter ProBee-ZS10 User Guide*, Available online at: http://www.sena.com/-products/industrial_zigbee/zs10.php/.

[33] Protocol Specification, *U-blox 6 Receiver Description*, Available online at: http://www.u-blox.com/en/gps-modu- les.html/.

زیرنویس‌ها

[1] Global Position System (GPS)

[2] Pseudo Range (PR)

[3] Selective Availability (SA)

[4] Differential Global Position System (DGPS)

[5] Pseudo Range Correction (PRC)

[6] Radio Technical Commission for Maritime (RTCM)

[7] Recurrent Neural Network (RNN)

[8] Particle Swarm Optimization (PSO)

[9] Kalman Filter (KF)

[10] Back Propagation (BP)

Archive of SID

www.SID.ir