

پیاده‌سازی ایستگاه مرجع و کاربر سامانه RTDGPS با قابلیت تولید و دریافت استاندارد RTCM

و مشخصه‌های تصحیح مکانی RPCE

محمدحسین رفان^۱، عادل دمشقی^۲، مهرنوش کمرزین^۳

۱. دانشیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی Refan@srutu.edu

۲. دانشجوی دکتری برق الکترونیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد برق کنترل، دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۸ تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/۱

چکیده

برای افزایش دقت تعیین موقعیت آنی از سامانه مکان‌یاب تفاضلی بلادرنگ استفاده می‌شود. این سامانه از دو ایستگاه مرجع و کاربر تشکیل شده است. در این سامانه، مشخصه‌های تصحیحاتی محاسبه شده در ایستگاه مرجع در قالب استاندارد مشخص برای ایستگاه کاربر ارسال می‌شوند. ایستگاه مرجع طراحی شده، در این مقاله، قابلیت تولید استاندارد مخصوص RTDGPS (RTCM) و پیام RPCE را دارد. اگر منابع خطای دو ایستگاه برابر باشد و گیرنده کاربر توانایی دریافت استاندارد RTCM را نداشته باشد، پیام RPCE برای افزایش دقت مکان‌یابی استفاده می‌شود. ایستگاه مرجع با استفاده از یک گیرنده ارزان قیمت GPS به طور نرم‌افزاری با ++C پیاده‌سازی شد. ایستگاه کاربری با استفاده از یک گیرنده ارزان قیمت طراحی و ساخته شد. سخت‌افزار طراحی شده قابلیت‌هایی چون دریافت استاندارد RTCM و پیام RPCE از طریق گیرنده رادیویی، اعمال استاندارد RTCM و پیام RPCE از درگاه‌های جداگانه، رمزگشایی اطلاعات استاندارد RTCM و نمایش موقعیت تصحیح شده را دارد. آزمون‌های عملی و بررسی اطلاعات خروجی ایستگاه کاربر، دقت RTDGPS با استاندارد RTCM و پیام RPCE را به ترتیب ۳۵ و ۵۵ سانتی‌متر نشان دادند.

کلیدواژه

RTDGPS, RTCM, RPCE, RRC, PRC

مقدمه

سامانه GPS در دهه ۱۹۸۰ عملیاتی شد. این سامانه از ۲۴ ماهواره تشکیل شده است [۱]. اساس اندازه‌گیری این سامانه برپایه اندازه‌گیری سیگنال‌های رسیده از ماهواره‌های مختلف می‌باشد. این سامانه در هر ثانیه یک موقعیت مکانی را در سه جهت x ، y و z مشخص می‌کند [۲]. این اندازه‌گیری‌ها خطاهای یونسفر، تروپوسفر، ساعت ماهواره، مدار ماهواره و ... را دربرمی‌گیرد و دارای یک دقت محدود می‌باشد [۳-۶]. به منظور افزایش دقت مکان‌یابی از سامانه GPS تفاضلی استفاده می‌شود [۷-۱۰]. این سامانه از دو ایستگاه مرجع و کاربر تشکیل شده است [۱۱]. برای کاربران غیرنظامی سامانه GPS تفاضلی^۱ تنها از طریق مشاهدات کد امکان‌پذیر است. تعیین موقعیت بلادرنگ، بدست آوردن موقعیت با مشاهدات جمع‌آوری شده، بدون عملیات پس‌پردازش و در همان زمان می‌باشد. سامانه مکان‌یاب تفاضلی بلادرنگ^۲ حداقل به دو گیرنده GPS و یک واسط ارتباطی نیاز دارد [۱۲-۱۳]. گیرنده

مستقر در مکان مشخص و معلوم ایستگاه مرجع است. گیرنده دیگر به صورت متحرک می‌باشد و مکان آن متغیر و نامعلوم است. در این مقاله از دو روش برای تصحیح موقعیت ایستگاه کاربر استفاده شده است. در روش اول که در سامانه‌های RTDGPS استفاده از آن عمومیت دارد؛ اطلاعات از ماهواره دریافت می‌شود و با مشخص بودن مختصات دقیق ایستگاه مرجع، مجموع مقادیر خطاها محاسبه می‌گردد. به مشخصه به دست آمده شبه فاصله تصحیحاتی^۳ گفته می‌شود. این مشخصه در کنار مشخصه‌های ضروری دیگر در قالب استاندارد^۴ RTCM برای ایستگاه کاربر ارسال می‌شوند [۷]، [۱۰]، [۱۴]. گیرنده ایستگاه مرجع باید قابلیت تولید مشخصه‌های مورد نیاز برای ساخت استاندارد RTCM را داشته باشد و گیرنده ایستگاه کاربر باید استاندارد RTCM را به عنوان ورودی دریافت کند. در طی آزمایشاتی اثبات می‌گردد که حذف مشخصه تغییرات نرخ شبه فاصله^۵ در استاندارد RTCM

3. Pseudo Range Correction (PRC)
4. Radio Technical Commission for Maritime
5. Range Rate Correction (RRC)

1. Global Positioning System (DGPS) Differential
2. Real Time Global Positioning System Differential (RTDGPS)

ایستگاه مرجع بر اساس تولید استاندارد RTCM

استاندارد RTCM برای انتقال اطلاعات تصحیحات خطا از ایستگاه مرجع به گیرنده کاربر به کار می‌رود. در این استاندارد اطلاعات به صورت پیوسته و دودویی منتقل می‌شوند. اطلاعات ثبت شده در هر پیام شامل یک سرآغاز و یک بدنه پیام می‌باشد. سرآغاز پیام شامل دو کلمه است. اطلاعات دو کلمه اول و پیام شماره ۱ به ترتیب در جدول ۱ و ۲ آورده شده است. پیام شماره ۹ نیز مانند پیام شماره ۱ است، با این تفاوت که برای هر ماهواره جداگانه ارسال و اعمال می‌شود. در اطلاعات پیام شماره ۱ و ۹ یک مشخصه مهم وجود دارد. این مشخصه PRC است. این مشخصه تصحیحاتی می‌باشد که از اطلاعات دودویی گیرنده استخراج می‌شود. همان‌طور که از جدول ۲ مشخص است مجموع تعداد بیت‌های عناصر مختلف بیش از ۳۰ بیت (ظرفیت یک کلمه) است، ۶ بیت مربوط به PARITY است و در انتهای هر کلمه ثابت است. باید از مجموع ۴۰ بیت ۲۴ بیت در کلمه اول و ۱۶ بیت در کلمه دوم جای بگیرد، برای ماهواره بعدی ۸ بیت در کلمه دوم، ۲۴ بیت در کلمه سوم و ۸ بیت باقی مانده در کلمه چهارم جای می‌گیرد (این روند با توجه به تعداد ماهواره دیده شده در هر ثانیه ادامه می‌یابد). گیرنده استفاده شده در ایستگاه مرجع M12M i-lotouth است. این گیرنده در شکل ۱ نشان داده شده است، اطلاعات تصحیحاتی باید از این گیرنده خوانده و به استاندارد RTCM تبدیل شود. پیامی که برای دریافت تصحیحات تفاضلی ارسال می‌شود @@@Bh است و پیام ورودی @@@Cc است.

جدول ۱. محتویات کلمه اول و دوم استاندارد RTCM

محدوده	واحد	تعداد بیت	محتوا	
---	---	۸	سر آغاز	کلمه اول
۱ تا ۶۴	۱	۴	نوع پیام	
۱۰۲۳ تا ۰	۱	۱۲	شماره ایستگاه	
---	---	۶	بیت‌های توازن	کلمه دوم
۰ تا ۳۹۹/۴	۰/۶	۱۳	Modified z-count	
۰ تا ۷	۱	۳	شماره ترتیب	
۲ تا ۳۱	۱ کلمه	۵	طول قاب	
۸ حالت	---	۳	وضعیت ایستگاه	
---	---	۶	بیت‌های توازن	

موجب افزایش دقت مکان‌یابی سامانه تفاضلی می‌شود. این مشخصه برای جبران تاخیر زمانی ارسال PRC است. حذف خطای SA موجب کاهش تغییرات PRC شده و نیاز به مشخصه RRC را از بین برده است. برای گیرنده‌های کاربری که قابلیت دریافت RTCM را ندارند، روش دیگری در این مقاله معرفی می‌شود که بر مبنای محاسبه خطای مختصات مکان مرجع^۱ است. اگر منابع خطا در دو ایستگاه برابر باشد، با مشخص بودن مختصات دقیق ایستگاه مرجع و با استفاده از مشخصه‌های RPCE محاسبه شده در ایستگاه مرجع، موقعیت ایستگاه کاربر قابل اصلاح است [۱۵-۱۶].

ارسال اطلاعات در هر دو روش در یک بستر مخابراتی مانند فرستنده رادیویی صورت می‌گیرد و در ایستگاه متحرک نیز این اطلاعات توسط مودم رادیویی مشابهی دریافت شده و پردازش‌های لازم صورت می‌گیرد. مختصات ایستگاه کاربر با این دور روش به صورت آنی و بدون پردازش بعدی قابل دستیابی است. در این مقاله ایستگاه مرجع با دو قابلیت تولید استاندارد RTCM و پیام RPCE با استفاده از گیرنده ارزان قیمت طراحی شد و با ++C پیاده‌سازی گردید. ایستگاه کاربر نیز با دو قابلیت دریافت استاندارد RTCM و پیام RPCE ساخته شد. دو آزمون برای سنجش دقت سامانه طراحی شد؛ در آزمون اول پس از تنظیمات اولیه ایستگاه مرجع، استاندارد RTCM با استفاده از فرستنده رادیویی برای ایستگاه کاربر ارسال شد و گیرنده رادیویی استاندارد را دریافت و به یک گیرنده GPS ارزان قیمت اعمال کرد، موقعیت تصحیح شده و مشخصه‌های تصحیحاتی اعمال شده روی نمایشگر نشان داده می‌شوند. در آزمون دوم با تنظیمات اولیه ایستگاه مرجع و کاربر، پیام RPCE با فرستنده رادیویی برای ایستگاه کاربر ارسال می‌گردد، گیرنده رادیویی پیام را در ایستگاه کاربر دریافت کرده و در اختیار پردازنده قرار می‌دهد، پردازنده پس از کد گشایی و انجام محاسبات موقعیت تصحیح شده را روی نمایشگر نشان می‌دهد.

ساختار مقاله به این صورت است؛ در بخش دوم ساختار ایستگاه مرجع شرح داده می‌شود، بخش سوم مقاله، طراحی ایستگاه کاربر است، بخش چهارم به پیاده‌سازی سامانه می‌پردازد، در بخش پنجم ساختار ایستگاه کاربر توصیف می‌شود، بخش ششم آزمون‌های عملی سامانه است و نهایتاً بخش هفتم نتیجه‌گیری است.

طراحی ایستگاه مرجع

برای پیاده‌سازی ایستگاه مرجع از دو روش استفاده می‌شود، روش اول طراحی ایستگاه مرجع بر اساس تولید استاندارد RTCM و روش دوم ایستگاه مرجع بر اساس تولید پیام RPCE است:

6. Reference Position Component Error (RPCE)

جدول ۴. نمونه پیام ارسال شده از ایستگاه مرجع به ایستگاه کاربر

شماره بخش	مثال	نام	واحد	قالب‌بندی
۰	@@PCER	سرآغاز	-	رشته
۱	546540.000	زمان	میلی ثانیه	aaaaaaaa
۲	0.019867909 955659	خطا در جهت x	متر	DX. DX DX DX DX DX DX DX DX DX DX DX DX DX DX
۳	0.014414605 323898	خطا در جهت y	متر	DY. DY DY DY DY DY DY DY DY DY DY DY DY DY DY
۴	0.024324168 721213	خطا در جهت z	متر	DZ. DZ DZ DZ DZ DZ DZ DZ DZ DZ DZ DZ DZ DZ DZ

طراحی ایستگاه کاربر

ایستگاه کاربر توانایی دریافت استاندارد RTCM و پیام RPCE را دارد، این ایستگاه از این دو امکان برای افزایش دقت مکان‌یابی بهره می‌برد. ساختار آن در شکل ۳ نشان داده شده است.

ایستگاه کاربر بر اساس دریافت استاندارد RTCM

استاندارد RTCM از طریق درگاه سریال به GPS کاربر اعمال می‌گردد. گیرنده کاربر مورد استفاده U-BLOX LEA-6H است. این گیرنده دارای استاندارد RTCM ورودی است. گیرنده‌های سری ۶ مدل U-BLOX فقط در صورتی که دارای نرم‌افزار داخلی با نسخه بالاتر از ۷/۰۱ باشند قابلیت دریافت این استاندارد را دارند. درگاه سریال گیرنده رادیویی با اتصال واسط Null Modem به درگاه سریال گیرنده GPS متصل می‌گردد. با توجه به اینکه دریافت استاندارد RTCM از توانایی‌های نرم‌افزار داخل گیرنده LEA-6H است، بنابراین افزایش دقت ایستگاه کاربر به صحت و دقت استاندارد که در ایستگاه مرجع ساخته شده وابسته می‌باشد. گیرنده LEA-6H وقتی استاندارد RTCM به آن وارد می‌شود، در استاندارد UBX (مخصوص شرکت U-BLOX) در پیام‌های متنوعی ورود استاندارد را اعلام می‌کند [۱۸]. این اطلاعات از پیام دودویی گیرنده قابل استخراج هستند، عملیاتی که توسط پردازنده ARM در ایستگاه کاربر انجام می‌گیرد:

الف- شناسایی اطلاعات مکانی، جداسازی و نمایش آن به طور مجزا.

پیام‌های با سرآغاز 0xB5 0x62 01 01 شناسایی می‌شوند. اطلاعات زمانی و مکانی برش داده شده و سپس توسط پردازنده روی نمایشگر نمایش داده می‌شوند. نمونه‌ای از کدکشی پیام در جدول ۵ آمده است.

$DD = \{Dx, Dy, Dz\}$ به دست می‌آید. این مقادیر برای جبران خطای ایستگاه کاربر مطابق با رابطه ۲ اعمال می‌شوند. در این رابطه z_m, y_m, x_m مقادیر دریافت شده از گیرنده GPS در ایستگاه کاربر و z_{mc}, y_{mc}, x_{mc} مقادیر تصحیح شده مکانی در ایستگاه کاربر هستند [۱۶].

$$\text{Corrected Position} = \begin{cases} x_{mc} = x_m - Dx \\ y_{mc} = y_m - Dy \\ z_{mc} = z_m - Dz \end{cases} \quad (2)$$

اطلاعات RPCE تولید شده در ایستگاه مرجع باید تحت پیام مشخص همراه با زمان برای ایستگاه کاربر ارسال شوند. گیرنده ایستگاه مرجع استفاده شده (M12M) اطلاعات را بر حسب طول و عرض جغرافیایی و در قالب پیام @@Eq در اختیار کاربر قرار می‌دهد، برای تبدیل مقادیر به x, y و z از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$x = (R + h) \cos \phi \cos \lambda \quad (3)$$

$$y = (R + h) \cos \lambda \sin \phi \quad (4)$$

$$z = ((1 - f)^2 R + H) \sin \phi \quad (5)$$

در روابط بالا ϕ نشان‌دهنده طول جغرافیایی در مقیاس دهمی است، λ عرض جغرافیایی در مقیاس دهمی، h ارتفاع و R شعاع انحنای عمودی نخست است که از رابطه زیر معلوم می‌شود:

$$R = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi}} \quad (6)$$

جایی که a محور نیمه اصلی زمین و برابر با ۶۳۷۸۱۳۷ متر است، مقادیر x, y و z بر حسب متر به دست می‌آید. بنابراین DD از تفاوت بین مکان واقعی و مکانی که هر لحظه گیرنده ثبت می‌کند، حاصل می‌شود. الگوریتم ایستگاه مرجع به صورت زیر است:

۱. تعریف نقطه مرجع برای ایستگاه مرجع X, Y و Z

۲. دریافت اطلاعات دودویی گیرنده M12M

۳. شناسایی پیام‌های با سرآغاز @@Eq

۴. برش اطلاعات زمانی، مکانی و ذخیره‌سازی

۵. تبدیل اطلاعات مکانی به مقادیر x, y و z

۶. محاسبه $Dz = (z - Z)$ ، $Dy = (y - Y)$ ، $Dx = (x - X)$

۷. تبدیل مقادیر به رشته @@RPCETIMEDX, DY, DZ &&

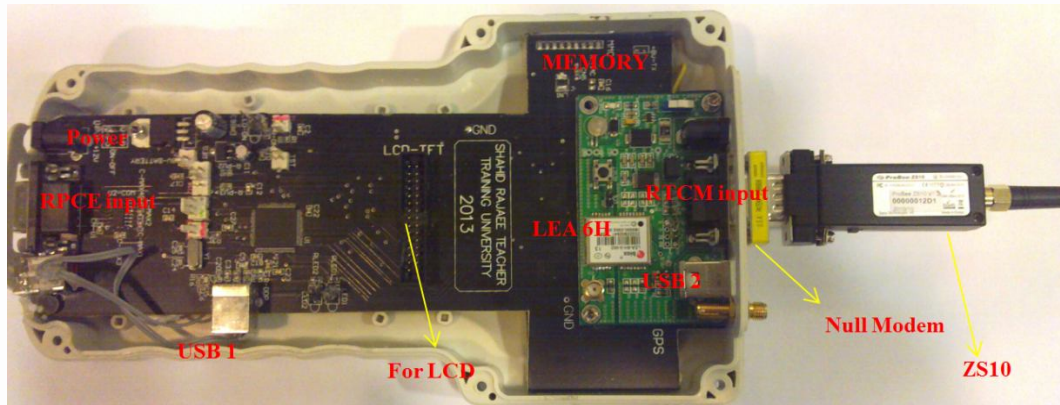
۸. ارسال.

نمونه‌ای از پیام ارسال شده از ایستگاه مرجع به ایستگاه کاربر در جدول ۴ نشان داده شده است.

می‌شود. الگوریتم کلی عملیات ایستگاه کاربر در صورت دریافت پیام RPCE به صورت زیر است:

۱. محدود کردن و انتخاب ماهواره‌های یکسان با ایستگاه مرجع با ارسال پیام CFG-NAV به گیرنده
۲. شناسایی پیام‌های با سرآغاز 01 01 0xB5 0x62
۳. برش اطلاعات زمان و مکان با سرآغاز 0xB5 0x62 و ذخیره زمان، x ، y و z شناسایی پیام با سرآغاز
۴. شناسایی پیام با سرآغاز

برش اطلاعات زمانی و مکانی با سرآغاز RPCE و ذخیره زمان، Dx ، Dy و Dz اگر اختلاف زمان جدا شده، از پیام با سرآغاز 0xB5 0x62 با زمان پیام با سرآغاز PCER @@ ۵ و کمتر از ۵ ثانیه بود، مقادیر $x-Dx$ ، $y-Dy$ و $z-Dz$ محاسبه، در حافظه ذخیره و اعلام گردد. ۷/ در غیر این صورت، میانگین مقادیر مکانی اعلام شود.



شکل ۴. ساخت‌افزار ایستگاه کاربر

در حافظه با پسوند UBX ذخیره می‌شوند و سپس اطلاعات با نرم‌افزار مخصوص شرکت U-BLOX (U-center) قابل بازگشایی و تحلیل است. همچنین در هنگام استفاده از ساخت‌افزار کاربر با اتصال مسقیم ساخت‌افزار از طریق USB شماره ۲ امکان ذخیره اطلاعات و نمایش همزمان اطلاعات در نرم‌افزار U-center فراهم شده است. وقتی پیام RPCE دریافت می‌شود، خروجی پردازنده (موقعیت تصحیح شده) به صورت فایل NOTEPAD با شناسه آغازی @@SRRTU و پایانی && در حافظه ذخیره می‌گردد. ساخت‌افزار از سه بخش اصلی تشکیل شده است:

گیرنده GPS: گیرنده GPS مورد استفاده در ایستگاه مرجع U-BLOX LEA 6H است، این گیرنده داری نرم‌افزار داخلی ۳/۷ است. استاندارد حاکم بر این گیرنده استاندارد NMEA، RTCM و دودویی 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 ارزان قیمت) است. این گیرنده اطلاعات زمان، مکان و سرعت را از طریق درگاه سریال در اختیار کاربران قرار می‌دهد. این گیرنده حداکثر تا ۱۶ ماهواره را می‌بیند و از کد C/A و فرکانس حامل L1 استفاده می‌کند. سیگنال دریافت شده از ماهواره توسط GPS مدوله و تقویت می‌شود. همچنین این گیرنده یک تقویت کننده‌ی کم نویز بهره می‌برد. دقت گیرنده ۳ متر است و دارای سه درگاه ارتباطی USB، DDC و سریال است که با هر سه درگاه اطلاعات ورودی قابل دریافت و اعمال است [۱۸].

سخت‌افزار ایستگاه کاربر

سخت‌افزار ایستگاه کاربر در شکل ۴ نشان داده شده است. سخت‌افزار ایستگاه کاربر روی یک بستر برد دو لایه و براساس پردازنده‌ی ATMEL ARM 7X256 طراحی گردید، برد ساخت‌افزاری از یک درگاه USB برای برنامه‌ریزی مجدد پردازنده بهره می‌برد. این سخت‌افزار از یک تغذیه ورودی ۱۲ ولت برای اتصال به فندکی اتومبیل بهره می‌برد. سخت‌افزار RTDGPS دارای دو درگاه RS232 است، درگاه شماره ۱ جهت اعمال استاندارد RTCM به گیرنده U-BLOX LEA-6H استفاده می‌شود، این درگاه روی برد اختصاصی گیرنده نصب شده و از طریق یک مبدل TTL به RS232 به نصب سطحی گیرنده GPS متصل می‌گردد. درگاه RS232 دیگر جهت اعمال پیام RPCE است. این درگاه از طریق یک تبدیل TTL به RS232 به پردازنده مرتبط خواهد شد. گیرنده رادیویی که دارای خروجی RS232 است با یک Null Modem به این درگاه متصل می‌شود و پردازنده پیام RPCE را کدگشایی می‌کند. سخت‌افزار مربوطه دارای یک کلید روشن/خاموش، یک کلید بازیابی و یک کلید جهت انتخاب نوع پوشش RTDGPS است که همراه با نمایشگر رنگی و لمسی روی در پوشش سخت‌افزار نصب شده است. انتخاب پیاده‌سازی RTDGPS با استاندارد RTCM و یا پیاده‌سازی RTDGPS با RPCE با دیوهای نوری رنگی نیز روی در سخت‌افزار مشخص شده‌اند. سخت‌افزار کاربر داری یک حافظه جهت ذخیره اطلاعات است. وقتی استاندارد RTCM اعمال می‌شود برای بررسی نتایج، اطلاعات

۱. تصحیحات یونسفریک و تروپسفریک غیر فعال شود.
۲. زاویه ماهواره روی ۱۰ درجه فیلتر گردد، در این حالت امکان دیده شدن ۱۲ ماهواره برای گیرنده فراهم می‌شود.
۳. موقعیت ایستگاه مرجع بر اساس میانگین‌گیری موقعیتی که در آن قرار دارد و یا درج موقعیت دقیق از قبل به دست آمده به گیرنده اعلام گردد.
۴. تصحیحات دیفرانسیلی خروجی آن فعال شود و نرخ تولید تصحیحات دیفرانسیلی روی ۱ ثانیه قرار گیرد. در این حالت رایانه هر ثانیه پیام تصحیحاتی را دریافت و آن را به استاندارد RTCM تبدیل می‌کند.
۵. به گیرنده ایستگاه کاربر ورود استاندارد RTCM اعلام گردد و تنظیم DGPS Timeout انجام شود.

در خصوص مرحله شماره ۵ قابل ذکر است که از زمان حذف خطای SA نرخ تغییرات PRC کند شده است، کاهش نرخ تغییرات به کاهش نرخ تغییرات اتمسفریک وابسته است [۲۱]. در استاندارد RTCM مشخصه‌ی به نام RRC قرار داده شده است [۱۴]. این مشخصه مطابق با معادله ۷، PRC را برای زمان آینده تقریب می‌زند. این تقریب به دلیل این است که اطلاعات تصحیحاتی باید سریع و پی در پی در اختیار گیرنده کاربر قرار گیرد، اما به دلایل مختلف در ارسال و اعمال تصحیحات تاخیر پیش می‌آید و یا حتی سیگنال قطع می‌شود. نقش این مشخصه تقریب PRC برای زمان آینده است [۱۴].

$$PRC(t) = PRC(t_0) + PRC \times (t - t_0) \quad (7)$$

در معادله بالا $PRC(t)$ مشخصه تصحیح است، الگوریتم ایستگاه کاربر پس از رمزگشایی پیام، مطابق رابطه ۵، $PRC(t)$ را اعمال می‌کند. $t-t_0$ تاخیر پیش آمده است، t_0 زمان محاسبه تصحیحات در ایستگاه مرجع است و t زمان دریافت تصحیحات در ایستگاه کاربر است. مشخصه RRC بر حسب متر بر ثانیه است. قبل از حذف خطای SA میزان تغییرات PRC شدید بود. به همین دلیل RRC به خوبی خطای تاخیر زمانی را جبران می‌کرد. بعد از حذف خطای SA تغییرات PRC کم شد. تغییرات اتمسفریک خود به دو دسته یونسفر و تروپسفر تقسیم می‌گردد. تغییرات اتمسفریک شامل تاخیر یونسفریک (δI_s) و تاخیر تروپسفریک (δT_s) است که مطابق با رابطه زیر نشان داده می‌شود:

$$PRC = -\delta I_s - \delta T_s \quad (8)$$

با توجه به معادله ۸ تغییرات RRC به حداکثر و یا حداقل بودن این دو مشخصه بستگی دارد. یعنی بزرگترین مقدار منفی یا بزرگترین مقدار مثبت. این دو معیار حداکثر RRC را معلوم می‌کنند [۲۲]. اما الگوریتم‌های داخلی گیرنده مقادیر RRC را به

فرستنده رادیویی: فرستنده رادیویی از یک درگاه RS232 استفاده می‌کند. این فرستنده قابلیت دریافت و ارسال تصحیحات DGPS را دارد. این فرستنده از استاندارد ZigBee استفاده می‌کند و مدل ZS10 است. فرکانس آن ۲/۴ گیگاهرتز است و تا ۱۶۰۰ متر اطلاعات را ارسال می‌کند. با ولتاژ ۵ تا ۱۵ ولت کار می‌کند که در طراحی نهایی، ۸ ولت برای آن فراهم شده است. این فرستنده قابلیت تنظیم شدن و بروزرسانی از راه دور را دارد. سه نوع ارسال اطلاعات، به صورت ارسال گسترده، تکی و شبکه‌ای از قابلیت‌های آن است. نرخ ارسال اطلاعات قابل انتخاب است. آنتن آن بین ۳ dbi تا ۹ dbi قابل تغییر است. این فرستنده رادیویی کوچک، ارزان، پرکاربرد و دارای استاندارد قابل اطمینان است [۱۹].

پردازنده: در این مقاله از پردازنده AT91SAM7X256 استفاده شده است که یک میکروکنترلر ۳۲/۱۶ بیتی و منطبق با تکنولوژی ARM7TDMI است. این میکروکنترلر دارای حافظه ۲۵۶ کیلوبایتی فلش برای ذخیره برنامه و ۶۴ کیلوبایت حافظه RAM است. قابلیت پشتیبانی از پروتکل‌های ارتباطی CAN، USB 2.0، ارتن ۱۰/۱۰۰، RTT را دارد و همچنین از وجود مبدل آنالوگ به دیجیتال ۱۰ بیتی با ۳۸۴ کیلو نمونه در ثانیه، سه عدد تایمر ۳۲ بیتی، برای تمامی وسایل جانبی بهره می‌برد. فرکانس کاری تا ۵۵ مگاهرتز از دیگر مشخصات این میکروکنترلر است [۲۰].

پیاده‌سازی سامانه RTDGPS

برای آنکه یک رایانه برای ایستگاه مرجع استفاده شود گیرنده M12M با مبدل USB به RS232 درگاه USB کامپیوتر متصل گردید. اطلاعات خروجی از درگاه سریال رایانه با نرخ ۹۶۰۰ از طریق یک Null Modem که به فرستنده رادیویی متصل است برای ایستگاه کاربر ارسال شد.

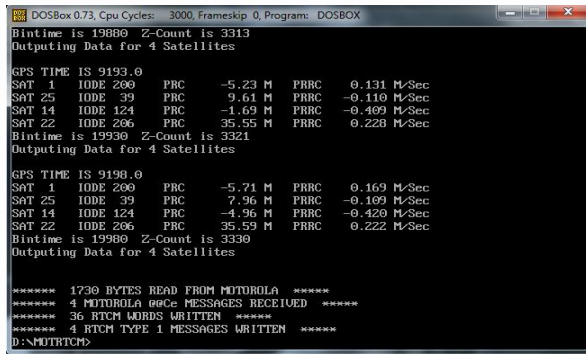
پیاده‌سازی بر اساس استاندارد RTCM

به منظور پیاده‌سازی سامانه RTDGPS بر اساس استاندارد RTCM، شرایطی باید در ایستگاه مرجع و کاربر فراهم شود، موقعیت ایستگاه مرجع در جنب آزمایشگاه GPS دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی و به موقعیت دقیق

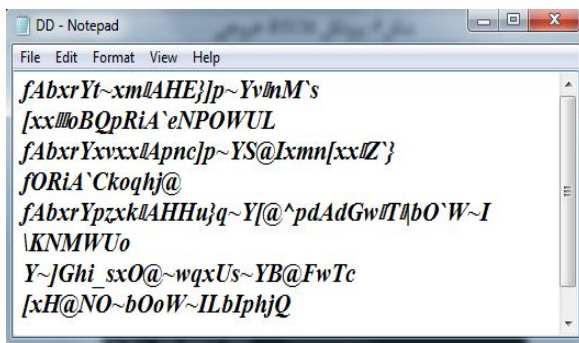
$$\bar{p}_t = (x_p = 322620.69, \\ y_p = 4054570.45, z_p = 3709308.96)$$

در نظر گرفته شد. آنتن ایستگاه مرجع در مکان مناسبی برای مشاهده حداکثری ماهواره‌ها قرار گرفت. استاندارد RTCM با محتویات دو پیام شماره ۱ و ۹ برای ایستگاه کاربر ارسال گردید. برای راه‌اندازی ایستگاه مرجع و کاربر مراحل زیر باید با ارسال فرمان به گیرنده انجام شود:

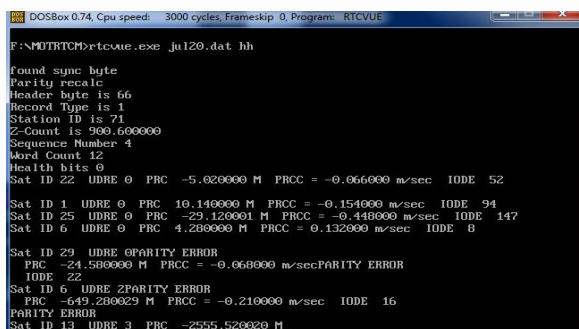
خوبی محاسبه نمی‌کنند و استفاده از آن باعث کاهش دقت نهایی سامانه می‌شود. از این رو تولید کنندگان گیرنده‌های کاربر امکانی را به وجود آورده‌اند که اگر اطلاعات تصحیحاتی با تاخیر به ایستگاه کاربر برسد بتوان از اطلاعات گذشته دریافتی به جای اطلاعات فعلی استفاده کرد. زمان استفاده از مقادیر گذشته بین ۰ تا ۲۵۵ ثانیه متغیر است. مثلاً اگر ۲۰ انتخاب شود، گیرنده کاربر تا ۲۰ ثانیه از اطلاعات گذشته استفاده می‌کند. بعد از آن گیرنده کاربر از حالت DGPS به حالت GPS می‌رود. اینکه استفاده از مشخصه RRC در استاندارد RTCM یا امکان استفاده از مقادیر گذشته PRC کدام یک در معیار دقت نتیجه بهتری را در مکان‌یابی حاصل خواهند کرد، در این مقاله مورد بررسی قرار گرفت. در پیاده‌سازی ایستگاه مرجع با استاندارد RTCM ۲ حالت زیر در نظر گرفته شد: الف- در استاندارد RTCM مقدار RRC صفر در نظر گرفته شد و DGPS Timeout ایستگاه کاربر ۱۸۵ ثانیه تنظیم گردید. ب- در استاندارد RTCM مقدار RRC همان مقدار محاسبه شده توسط گیرنده مرجع در نظر گرفته شد و DGPS Timeout ایستگاه کاربر ۰ ثانیه تنظیم گردید. در شکل ۵ فرآیند ساخت استاندارد RTCM در محیط DOS نشان داده شده است، در این محیط اطلاعات تصحیحاتی هر ماهواره، مجموع اطلاعات دودویی خوانده شده از گیرنده و تعداد کلمات RTCM ساخته شده نشان داده می‌شود. شکل ۶ استاندارد RTCM خروجی در محیط نرم‌افزار هایپرترمینال را نشان می‌دهد. در شکل ۷ الف RTCM رمزگشایی شده توسط برنامه نرم‌افزاری نوشته شده نشان داده شده است. برنامه نرم‌افزاری با تعریف درگاه سریال ورودی به طور بلادرنگ در محیط DOS شروع به رمزگشایی استاندارد RTCM می‌کند. این اطلاعات به صورت شکل ۷ ب ذخیره می‌شود. ساختار پیاده‌سازی اشکال ۵، ۶ و ۷ به صورت شکل ۸ است. در شکل ۹ تغییرات گیرنده کاربر با اعمال استاندارد RTCM در محیط نرم‌افزار U-center نشان داده شده است. در شکل ۹-الف اطلاعات رمزگشایی شده ایستگاه مرجع در گیرنده ایستگاه کاربر دیده می‌شود. در شکل ۹-ب تعداد پیام‌های RTCM دریافت شده توسط گیرنده کاربر شامل پیام ۱ و ۹ دیده می‌شود. در ۹-ج اطلاعات NMEA و حرف D به نشانه دیفرانسیلی شدن مکان‌یابی نشان داده شده است. شکل ۹-د وضعیت مکان‌یابی ایستگاه کاربر است.



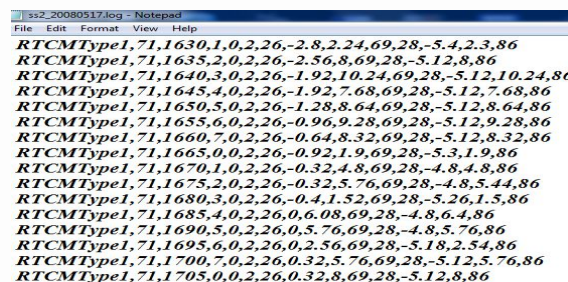
شکل ۵. فرآیند ساخت استاندارد RTCM



شکل ۶. استاندارد RTCM خروجی



الف



ب

شکل ۷. رمزگشایی استاندارد RTCM

الف: اطلاعات رمزگشایی شده استاندارد RTCM ب: اطلاعات ذخیره شده RTCM

پیاده‌سازی بر اساس پیام RPCE

برای پیاده‌سازی RTDGPS بر اساس پیام RPCE ماهواره‌های شماره ۴، ۱۷، ۱۰ و ۱۹ با توجه حداکثر فاصله‌اشان از هم برای آغاز کار در دو ایستگاه انتخاب می‌شوند.

کاربر اعمال می‌کند. ایستگاه مرجع تعداد بیشتری ماهواره را می‌بیند، این امر احتمال اشتراک حداقل ۴ ماهواره را در دو ایستگاه زیاد می‌کند. در ایستگاه مرجع تغییر شماره ماهواره‌ها براساس کمتر بودن ضریب GDOP اتفاق می‌افتد. مراحل زیر گام به گام برای پیاده‌سازی RTDGPS انجام می‌شود:

۱. موقعیت دقیق ایستگاه مرجع مشخص شود تا مشخصه‌های RPCE محاسبه شوند.

۲. مقادیر D_x , D_y و D_z باید در همان لحظه که در ایستگاه مرجع محاسبه می‌شوند، از مقادیر مکانی ایستگاه کاربر کم شوند، یعنی اگر مشخصه D_x برای ثانیه ۱۶ است، باید از مقدار x ایستگاه کاربر در ثانیه ۱۶ کم شود. عملاً چنین چیزی ممکن نیست، مگر اینکه از الگوریتم‌های پیشگویی در ساختار ایستگاه مرجع استفاده شود [۲۳]، در این مقاله فعالیت ایستگاه مرجع چند ثانیه زودتر شروع می‌شود تا با توجه به الگوریتم ایستگاه کاربر، امکان پیاده‌سازی سامانه فراهم شود.

Protocol	Unit	I2C	UART1	UART2	USB	SPI
0 - UBX	msg	0	0	0	160	0
1 - NMEA	msg	0	0	0	9	0
2 - RTCM	msg	0	7984	0	0	0
3 - RAW	msg	0	0	0	0	0
12 - USER0	msg	0	0	0	0	0
13 - USER1	msg	0	0	0	0	0
14 - USER2	msg	0	0	0	0	0
15 - USER3	msg	0	0	0	0	0
UNKNOW	bytes	0	92	0	0	0

(ب)

Param	Value
Position Fix Type	3D Fix
Position within Limits	Yes
DGPS Fix	Yes
Weeknumber Valid	Yes
Time of Week Valid	Yes
DGPS In	PR+PRR
Map Matching	None
TTF	0.833 s
Time since Powerup	11745.332 s
PSM state	ACQUISITION

(د)



شکل ۸. ساختار پیاده‌سازی اشکال ۵ تا ۷

ضریب GDOP معیار این انتخاب است. هر چه GDOP کمتر باشد خطا ترکیب هندسی ماهواره‌ها کمتر و دقت بهتر است. زیرمجموعه بهینه از ماهواره‌ها به وسیله کمینه کردن فاکتور GDOP مهیا می‌شود. مشخصه GDOP یک عامل هندسی از پیش تعیین شده است که اثر هندسه در توصیف رابطه خطای اندازه‌گیری با خطا تعیین موقعیت را نشان می‌دهد [۲۲]، [۵]. پس از این انتخاب تغییر شماره ماهواره‌ها بر اساس ماهواره‌های ایستگاه مرجع است. این تغییر با یک پیام به ایستگاه کاربر اعلام می‌شود، پردازنده ایستگاه کاربر پیام را رمزگشایی کرده و سپس فرمان را جهت انتخاب ۴ ماهواره مشابه با ایستگاه مرجع به گیرنده GPS

Param	Val/Age	PRC [m]	RRC [m/s]
Time of Week	557670.000 s		
DGPS Data Age	1.200 s		
DGPS Station ID	0x0047		
DGPS Station Health	0x0000		
DGPS Status	PR+PRR		
CH01 SVG23 (used)	1.200 s	35.025	0.154
CH03 SVG13 (used)	1.200 s	30.389	0.124
CH06 SVG7 (used)	1.200 s	-17.531	0.124
CH07 SVG3 (used)	1.200 s	-48.343	0.114
CH14 SVG6 (used)	1.200 s	-77.692	0.090

(الف)

Parameter	Value	Unit	Description
Lat	3546.85622	ddmm.mmm	Latitude
Nothing Indicator	N		N=North, S=South
Lon	05129.48752	dddmm.mmm	Longitude
Easting Indicator	E		E=East, W=West
UTC	105346.00	hhmmss.sss	Universal time coordinated
Status	A		A=Valid, V=Invalid
Mode Indicator	D		A=Autonomous, D=Differential, E=Dead Reckoning, N=None

(ج)

شکل ۹. پیاده‌سازی RTDGPS با فاصله صفر بین ایستگاه کاربر و مرجع و اعمال مستقیم استاندارد RTCM به گیرنده LEA-6H

RMS برای سنجش دقت استفاده شد. نتایج در جدول ۶ منعکس گردید. در این جدول دیده می‌شود که اگر اطلاعات هر ثانیه ارسال شود و تاخیر یا قطع سیگنال وجود نداشته باشد، دقت RTDGPS بدون RRC با لحاظ کردن DGPS Timeout حدود ۳۸ سانتی‌متر است و برای RTDGPS با RRC دقت حدود ۵۰ سانتی‌متر است. ملاحظه می‌گردد که با افزایش تاخیر زمانی استفاده از مشخصه RRC منجر به خطای بیشتر مکان‌یابی می‌گردد، این به دلیل تقریب غلطی است که این مشخصه از مقادیر آینده PRC در ایستگاه کاربر می‌زند. دقت سامانه RTDGPS نسبت به دقت سامانه GPS بسیار بهتر است و این در حالی است که گیرنده کاربر LEA-6H در بین گیرنده‌های ارزان قیمت از دقت خوبی برخوردار

نتایج آزمون‌های عملی RTDGPS

ایستگاه مرجع در آزمایشگاه GPS دانشگاه شهید رجایی قرار داده شد و اطلاعات تصحیحاتی با نرخ‌های مختلف برای ایستگاه کاربر ارسال گردید. برای جبران تاخیر ناشی از پردازش و واسط ارتباطی یک بار $RRC=0$ در نظر گرفته شد و DGPS Timeout ایستگاه کاربر ۱۸۵ ثانیه تنظیم شد و بار دیگر با ثابت نگه داشتن شرایط قبلی مقدار RRC در استاندارد RTCM منظور گردید. استاندارد RTCM برای ایستگاه کاربر متحرک که با سرعت ۴۰ کیلومتر در ساعت در حال حرکت بود ارسال گردید. ۱۶ نقطه از قبل نمونه‌برداری و موقعیت دقیق آن مشخص شد. خطای هر یک از مشاهدات شامل DGPS (دو حالت) و GPS محاسبه و از معیار

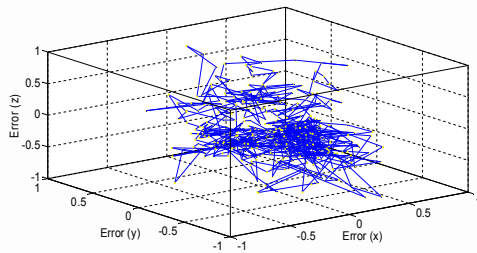
نهایی سامانه طراحی شده ارائه گردد با توجه به نتایج حاصله RRC از استاندارد حذف گردید و DGPS Timeout ایستگاه کاربر روی ۲۵۵ ثانیه تنظیم شد و RTDGPS به مدت ۲۴ ساعت مورد آزمون قرار گرفت، ایستگاه کاربر در نقطه ثابت و جنب پژوهشکده فنی و مهندسی قرار گرفت، ملاحظه شد که خطای RMS کل برای ۸۶۴۰۰ مشاهده ۳۵/۷۳۴ سانتی‌متر است.

برای آزمون سامانه RTDGPS مبتنی بر ارسال پیام RPCE نیز نقطه ثابت قبلی در نظر گرفته شد. پس از تنظیمات اولیه مشخصه‌های تصحیحاتی RPCE برای ایستگاه کاربر ارسال شد. با توجه به ذخیره اطلاعات در کارت حافظه سخت‌افزار، خطای مشاهدات در سه جهت x، y و z در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

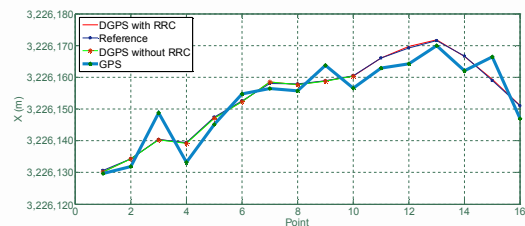
در شکل ۱۰ خروجی ذخیره شده در کارت حافظه سخت‌افزار با استفاده از نرم‌افزار متلب برای ۱۶ نمونه در سه جهت x، y و z در حالت‌های مختلف برای آزمون پویا ترسیم گردید. از مشاهدات معلوم است که دقت سامانه RTDGPS بدون RRC بهتر است و به نقاط مرجع نزدیک‌تر می‌باشد. نقطه ثابتی به مختصات (x=3226138.03, y=4054514.98, z=3709432.52) و در جنب پژوهشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهید رجایی در نظر گرفته شد. استاندارد RTCM بدون تاخیر از ایستگاه مرجع برای ایستگاه کاربر مستقر در این نقطه ارسال شد. در شکل ۱۱ خطای سه بعدی ۱۰۰۰ مشاهده نشان داده شده است. مشهود است که خطای RTDGPS بدون RRC کمتر است. این خطا حاصل تفاضل مقادیر مشاهده شده بعد از تصحیح، در سه جهت x، y و z، از موقعیت واقعی نقطه کاربر است. به منظور اینکه گزارشی از دقت

جدول ۶ مقایسه خطای RMS مکان‌یابی با تاخیرهای متفاوت در ارسال RTCM

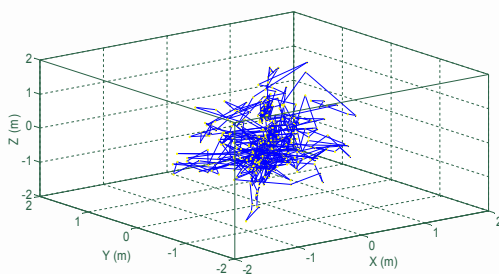
GPS			DGPS without RRC			DGPS with RRC			تاخیر (ثانیه)
Z	y	x	z	y	x	z	y	x	
۲/۸۹	۲/۶۳	۲/۵۳	۰/۳۷	۰/۳۶	۰/۳۸	۰/۴۵	۰/۴۸	۰/۴۷	۰
			۰/۵۲	۰/۵۳	۰/۵۱	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۶۰	۳۰
			۰/۵۸	۰/۵۹	۰/۶۱	۱/۲۲	۱/۱۶	۱/۱۰	۶۰
			۰/۶۴	۰/۶۵	۰/۶۶	۱/۸۹	۱/۸۴	۱/۷۲	۱۸۰



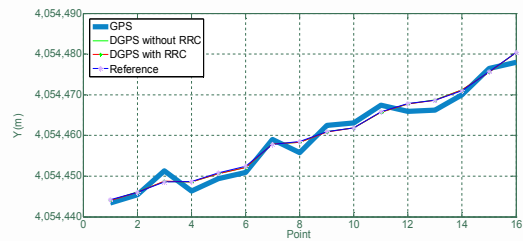
(الف)



(الف)

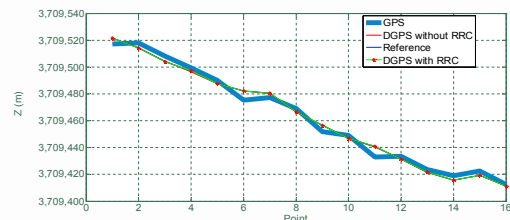


(ب)



(ب)

شکل ۱۱. خطای سه بعدی مکان‌یابی الف- RTDGPS بدون RRC ب- RTDGPS با RRC



(ج)

شکل ۱۰. نتیجه آزمون پویای RTDGPS با و بدون RRC

جدول ۷. خطای RMS مکان‌یابی

معیار	مختصات X		مختصات Y		مختصات Z	
	GPS	DGPS	GPS	DGPS	GPS	DGPS
ج.م.خطا	۰/۵۶۲۵	۴/۹۸۳	۰/۵۵۳۲	۹/۵۹۰	۰/۵۶۹۹	۸/۹۶۸

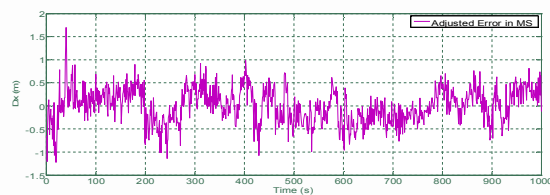
مشاهدات آن در شکل ۱۳ نشان داده شده است. ۱۶ نقطه مکان‌یابی تصحیح شده توسط سخت‌افزار ایستگاه کاربر به رنگ قرمز و نقاط واقعی سبز است، جدول ۸ نشان‌دهنده خطای RMS مکان‌یابی آزمون متحرک است.

جدول ۸. شاخص خطای RMS آزمون پویای سامانه RTDGPS با مشخصه RPCE

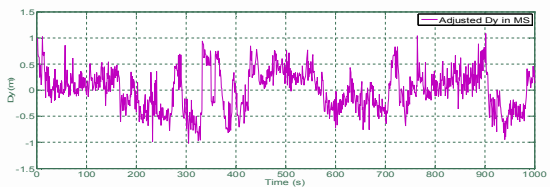
معیار	مختصات X	مختصات Y	مختصات Z
ج.م.خطا	۰/۶۱	۰/۶۳	۰/۶۱

نتیجه‌گیری

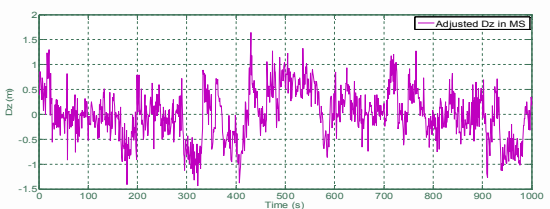
در این مقاله ایستگاه مرجع RTDGPS بر اساس تولید پیام شماره ۱ و ۹ استاندارد RTCM پیاده‌سازی شد، نتایج اعمال این استاندارد به گیرنده ارزان قیمت نشان داد که دقت سامانه با حذف مشخصه RRC بیشتر خواهد شد. استفاده از اطلاعات گذشته PRC به جای مقادیر محاسبه شده با RRC بهتر است. ایستگاه مرجع RTDGPS براساس ارسال پیام RPCE نیز پیاده‌سازی شد. در صورتی که منابع خطا در دو ایستگاه مرجع و کاربر برابر باشند با خطای مکانی ایستگاه مرجع، خطای مکان‌یابی ایستگاه کاربر قابل کاهش است. ایستگاه کاربری با قابلیت پیاده‌سازی هر دو نوع RTDGPS طراحی و ساخته شد. در این ایستگاه اگر RTDGPS استفاده RTCM انتخاب می‌گردید، سخت‌افزار توانایی دریافت استاندارد RTCM، کدگشایی آن و نمایش موقعیت را داشت. انتخاب RTDGPS با پیام RPCE به سخت‌افزار کاربر این امکان را می‌داد که با مشخصه‌های RPCE موقعیت‌یابی را تصحیح کند. آزمون عملی سامانه نشان داد که بهترین دقت برای RTDGPS با RTCM با ۲۴ ساعت نمونه‌برداری تقریباً برابر با ۳۵ سانتی‌متر است. آزمون مشابه برای RTDGPS با پیام RPCE دقت مکان‌یابی ۵۵ سانتی‌متری را به همراه داشت.



(الف)

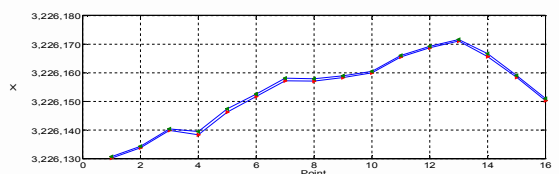


(ب)

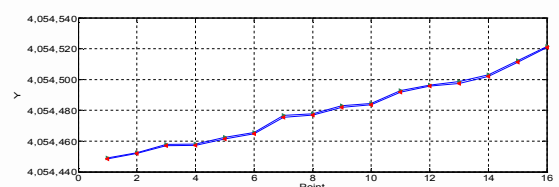


(ج)

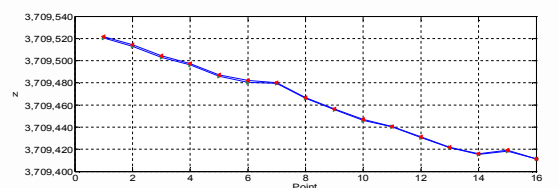
شکل ۱۲. خطای مکانی ایستگاه کاربر نسبت به نقطه واقعی کاربر وقتی که از RPCE استفاده می‌کند.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱۳. مکان‌یابی RTDGPS با مشخصه‌های RPCE در حالت متحرک

در جدول ۷ خطای RMS مکان‌یابی منعکس شده است. از این جدول مشخص است که خطای مکان‌یابی حدود ۵۵ سانتی‌متر است. آزمونی در حالت متحرک و وقتی که سخت‌افزار کاربر در اتومبیل نصب شد، نیز برای RTDGPS با مشخصه‌های RPCE طراحی شد.

- [1] M. Berber, A. Ustun, and M. Yetkin, "Comparison of accuracy of GPS techniques," *Journal of Measurement*, vol. 45, no. 7, pp.1742–1746, August 2012.
- [2] 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, October–November 2009.
- [3] K.D. McDonald, "the Modernization of GPS: Plans, New Capabilities, and the Future Relationship to Galileo," *Journal of Global Positioning System*, vol. 1, no. 1, pp. 1-17, 2002.
- [4] 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.1, pp. 101-114, 2004.
- [5] D.J. Jwo, and K.P. Chin, "Applying Back-propagation Neural Networks to GDOP Approximation," *The journal of navigation*, vol. 55, no.1, pp. 97-108, 2002.
- [6] J. Zhang, K. Zhang, R. Grenfell and R. Deakin, "GPS satellite velocity and acceleration determination using the broadcast ephemeris," *J Navigation*, vol.59, pp. 293–305, 2006.
- [7] M.R. Mosavi, "Comparing DGPS Corrections Prediction using Neural Network, Fuzzy Neural Network, and Kalman Filter," *Journal of GPS Solutions*, vol.10, no.2, pp. 97-107, 2006.
- [8] M.R. Mosavi, "A Wavelet Based Neural Network for DGPS Corrections Prediction," *WSEAS Transactions on Systems*, vol. 3, no.10, pp. 3070-3075, December 2004.
- [9] 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. 6, pp. 2715-2720, November 2010.
- [10] D. Jwo, T. Lee, and Y.W. Tseng, "ARMA Neural Networks for Predicting DGPS Pseudorange Correction," *The journal of navigation*, vol. 57, no. 2, pp. 275–286, 2004.
- [11] Y. Geng, "Online DGPS Correction Prediction using Recurrent Neural Networks with Unscented Kalman filter, International Global Navigation Satellite Systems Society IGSS Symposium," the University of New South Wales, Sydney, Australia, 4–6 December 2007.
- [12] M.R. Mosavi, and H. Nabavi, "Improving DGPS Accuracy using Neural Network Modeling," *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 5, no. 5, pp. 848-856, May 2011.
- [13] 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. 4, pp. 237-247, September 2008.
- [14] RTCM recommended standards for differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Service Version 2.2. Developed by RTCM Special Committee no. 104. January 15, 1998.
- [15] 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.
- [16] 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 TELFOR*, Belgrad (SERBIA), pp. 815 – 818, 20-22 November 2012.
- [17] i-Lotus GPS Products - M12M User's Guide. [Online]. Available: http://www.ilotus.com.sg/m12m_navigation_oncore.
- [18] U-blox 6 Receiver Description Including Protocol Specification, [Online]. Available: <http://www.u-blox.com/en/gps-modules.html>.
- [19] ZigBee Serial Adapter ProBee-ZS10 User Guide Sena Technologie. [Online]. Available: http://www.sena.com/products/industrial_zigbee/zs10.php.
- [20] SAM7S Series Datasheet. [Online]. Available: www.atmel.com.
- [21] B. Park, J. Kim, and C. Kee, "RRC Unnecessary for DGPS Messages," *IEEE transactions on aerospace and electronic systems*, vol. 42, no. 3, pp.1149-1160, July 2006.
- [22] X. Yinglei, L. Qunzhan, X. Shaofeng, and Z. Liyan, "Study on Algorithm and Communication Protocol of Differential GPS Positioning based on Pseudorange," *International Forum on Information Technology and Applications*, pp. 606 - 609 ,15-17 May 2009.
- [23] M. Ranjbar, and M.R. Mosavi, "Simulated Annealing Clustering for Optimum GPS Satellite Selection," *International Journal of Computer Science Issues*, vol. 9, no.3, pp.100-104, 2012.