فصلنامه سیستم‌های پردازشی و ارتباطی چندرسانه‌ای هوشمند
Intelligent Multimedia Processing and Communication Systems (IMPCS)

Spring, 2022, 3 (1), 1-7
DOR: 20.1001.1.27832570.1400.2.4.3.0

Received:30 /03/2022
Accepted: 18/05/2022

Implementing a Realtime Localization System Based on Zigbee Protocol

Omid Pakdel Azar

Assistant Professor, Malek Ashtar University of Technology, Iran. **omidpakdelazar@srbiau.ac.ir**

Abstract

Introduction: Real-time Localization System is one of the several technologies in order to track objects and target locations. Satellite-based positioning systems such as GPS are not reliable due to strong signal attenuation, especially in indoor environments, as well as the multipath effect. Distance-based methods generally include two main parts: 1. Information based on a time interval or TOA and TDOA 2. Positioning based on information received from distance measurement. In this paper, a novel positioning system is represented, which is based on Ultra-Wideband technology. The proposed system is used to utilize the TDOA algorithm.

Method: The UWB positioning system uses the ultra-wideband Gaussian pulse, in which the time range of the pulses is less than 0.5 nanoseconds with very high accuracy. Usually, positioning systems based on ultra-wideband have several source nodes that calculate the reception time by deriving the pulse pattern from the target node. The source node calculates the total average sending and receiving time between the source node and the target node.

Finding: On average, the proposed module has an error of less than 1 meter in about 21 centimeters of distance measurement, which is a very acceptable accuracy compared to GPS-based systems. This error can be solved by creating an offset in the software.

Conclusion: Considering the weaknesses of the current positioning systems, in this paper, a system based on ultra-wideband using a dwm1000 module and ZigBee communication was introduced. The test results report an accuracy of about 10 cm for the module, and with the interpolation and calibration of personalized environments, the amount of error can be greatly reduced. Considering the error of 10 to 100 meters in expensive modules with GPS technology, this accuracy is an acceptable and negligible error. This system can be used for the internal positioning of robots, hospital personnel, and factories.

Keywords: Realtime localization system, Ultra-Wide-band, Hardware implementation, Zigbee protocol.

ارائه و پیاده‌سازی یک سیستم موقعیت‌یابی مبتنی‌بر پروتکل زیگبی

تاریخ دریافت: ۱۰/ ۱۴۰۱/۰۱ سال سوم، بهار ۱۴۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۸ شمارهٔ اول، صص: ۱-۷

امید پاکدل‌آذر

۱. استادیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ایران. omidpakdelazar@srbiau.ac.ir

چکیده: تکنولوژی موقعیت‌یابی بلادرنگ یکی از چندین تکنولوژی موقعیت‌یابی اهداف و اشیاء است. تکنولوژی موقعیت ابی بلادرنگ در صنایع بسیار از جمله صنایع نظامی، پزشکی، و مدیریت زنجیره تأمین کاربرد دارد. در این مقاله یک سیستم موقعیت‌یابی مبتنی‌بر تکنولوژی باند فوق‌وسیع معرفی‌می‌شود. این سیستم با استفاده از ماژول dwm1000 پیاده‌سازی و از این ماژول برای پیاده‌سازی الگوریتم TDOA استفاده‌شده‌است. همچنین برای لینک ارتباطی بین این ماژول‌ها و ایستگاه مرکزی از تکنولوژی مبتنی‌بر پروتکل زیگبی ا ستفاده شده‌ا ست. بخش کتابخانه‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزار این پروژه به صورت غیرمستقل طراحی شده‌ا ست. به‌عنوان نتیجه، د قت کمتر از ۲۰ سانتی‌متر را برای موقعیت یابی بلادر نگ و همچنین نرخ انتقال داده تا ۷۲ با یت در ثانیه برای پروتکل زیگبی گزارش شده‌ا ست. با درون‌یابی و کالیبرا سیون محیط‌های شخصی سازی شده می‌توان مقدار خطای مذکور را تا حد زیادی کاهش‌داد. این دقت با توجه به خطای ۱۰ تا ۱۰۰ متری در ماژول‌های گرانقیمت با تکنولوژی GPS خطایی قابل‌قبول و قابل‌چشم‌پوشی است.

واژه‌های کلیدی: پیاده‌سازی سخت‌افزاری، موقعیت‌یابی بلادرنگ، باند وسیع، پروتکل زیگبی.

.

۱. مقدمه

موقعیت‌یابی و پیمایش از دیرباز مورد توجه بوده و دارای سابقه‌ای جذاب است. در روزگاران قدیم، هنگامی که انسان به‌دور از هیاهوی زندگی شهری و ماشینی با آسودگی خیال و با ساده‌ترین روش‌ها امور زندگی روزمره را پیش‌می‌برد، شاید هرگز تصور چنین زندگی پیچیده ای را هم نمی‌توانست‌بکند .اما بشر امروزی مجبور است با کمترین امکانات زیستگاهی و منابع طبیعی زندگی‌کرده و به بهترین وجه ممکن از آن‌ها استفاده‌کند؛ لذا همواره سعی‌کرده‌است تا با مصنوعات و اختراعات خویش گام‌هایی در این زمینه بردارد. یکی از ساخته‌های بسیار ارزشمند انسان در دهه‌های اخیر سیستمی تحت‌عنوان سیستم موقعیت‌یاب جهانی یا Global Position System (GPS) است که به لطف آن بسیاری از فعالیت‌ها در زمینه‌های مسّاحی، موقعیت‌یابی، ورزشی، نظامی، کشاورزی و غیره. سهل و آسان شده‌است.

امروزه، مردم برای اهداف ناوبری به سیگنال‌های رادیویی دریافتی از ماهواره ها اعتمادمیکنند. با عنایت به کاربردهای فراون موقعیت‌یابی بلادرنگ به‌وسیله GPS در حوزه‌های غیرنظامی، این سنسورها بدون شک دارای کاربردهای انکارناپذیری در تکنولوژی و سیستم‌های نظامی دارند. علی‌رغم کارکرد شگفت‌انگیز GPS در محیط‌های خارجی، این سنسورها توانایی موقعیت‌یابی دقیق به‌ویژه در فضای داخلی را ندارند، بنابراین از جایگزین‌های گران‌قیمت‌تری مثل موقعیت‌یابی مبتنی‌بر لیزر یا LIDAR استفاده‌می‌شود. این تکنولوژی‌ها نیز در کنار هزینه زیاد نمی‌توانند در محیط‌های پیچیده به‌خوبی کارکنند [۱], [۲]. سیستم‌های موقعیت‌یابی مبتنی‌بر ماهواره مثل GPS به‌دلیل تضعیف شدید سیگنال خصوصاً در محیط‌های داخلی و همچنین اثر Multipath قابل‌اطمینان نیستند. روش‌های مبتنی‌بر فاصله عموماً شامل دو بخش اصلی می شوند : ۱. اطلاعات مبتنی‌بر فاصله زمانی یا TOA و TDOA 2. موقعیت‌یابی بر اساس اطلاعات دریافتی از فاصله‌سنجی.

به‌طورکلی ساختار یک محیط پیچیده به دو شکل، سیگنال‌های ارسالی و دریافتی را تحت‌تأثیر قرارمی‌دهد :

۱) در صورتی که در مسیر سیگنال مانعی نباشد، Line of Sight LoS نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان تضعیف سیگنال دارد.

۲) در صورت وجود موانع مستقیم، تنها سیگنال‌های بازتابی و تضعیف‌شده امکان رسیدن به گیرنده را دارند.

تأثیر multipath چگونه سیگنال GPS را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد ؟ همانطورکه می‌دانیم GPS یک سیستم مبتنی‌بر محاسبات pseudo range دریافت‌شده از اطلاعات زمانی است. در میحط های داخلی سیگنال‌های ارسالی و دریافتی ممکن است به‌دلیل پدیده Multipath با یکدیگر همپوشانی داشته‌باشند که خصوصاً در سیگنال‌های باند باریک GPS رخ‌می‌دهد[۳], [۴] و این امر کار تشخیص زمان بازتاب سیگنال را در روش TDOA سخت‌می‌کند. یکی دیگر از معضلات استفاده از GPS برای محیط‌های داخلی پدیده انتشار NLoS است. سیگنال‌های GPS برای محیط‌های باز به ۳۳ دسی‌بل قدرت نیاز دارند درحالی‌که، در محیط‌های داخلی به توانی بیش از ۴۴ دسی‌بل -که بسیار فراتر از استاندارد GPS است- نیاز داریم[۵]. حتی اگر این انرژی تأمین‌شود، باز هم سیگنال حاصله به‌دلیل تضعیف در محیط داخلی قابل‌استفاده نیست. در محیط‌های داخلی خطای سیستم‌های GPS حتی با وجود استفاده از سیستم‌های فوق‌حساس GPS در حدود ۱۰۰ متر است[۵]. توانایی گیرنده‌GPS در برخی موارد به‌دلیل اثراتی مانند تضعیف، محوشدن، چندمسیری و ... حتی برای تشخیص سیگنال ماهواره‌ای نیز ضعیف عمل‌می‌کند. برای کمک به حفظ سنکرون‌سازی زمانی‌GPS، ممکن است از منبع محدوده دیگری مانند رادیوهای با پهنای باند فوق‌العاده (UWB) تقویت‌شود. مقایسه میانگین خطا بین محدوده اندازه‌گیری شده UWB و فاصله‌های حقیقت نشان‌می‌دهد که UWB نسبت به اثرات چندمسیری در این آزمون مصون است .خطای میانگین UWB همچنین نشان‌داد که اندازه‌گیری‌های‌UWB از ضریب مقیاس و بایاس d دچار خطا می شوند، بنابراین، قبل از تجزیه و تحلیل بیشتر داده‌های UWB یا تقویت باGPS ، باید اصلاح یا کالیبره شوند [۴].

۲. موقعیت‌یابی از طریق باند وسیع

باند فوق‌وسیع[1] مفهومی است که پیدایش آن به قرن بیستم بازمی‌گردد. به تدریج در اوایل دهه ۸۰ میلادی استفاده از این تکنولوژی در ارتباطات، رادارها و موقعیت یابی مرسوم‌شد و توجه زیادی را به خود جلب‌کرد[6]. در موقعیت‌یابی باند فوق‌وسیع، اطلاعات با پالس سیگنال بسیار باریک یا سیگنال پهنای باند بسیار گسترده منتقل‌می شود که دارای مزایای نفوذپذیری قوی و دقت موقعیت بالا در حد سانتی‌متر است . برای سیستم‌های موقعیت‌یاب از انواع پروتکل‌ها و سیگنال‌های با مشخصات متفاوت می‌توان‌استفاده‌کرد. تکنولوژی‌های مختلفی برای موقعیت‌یابی استفاده شده‌اند که عبارتند از:

- سیستم‌های مبتنی بر(IR(Infrared
- سیستم‌های مبتنی بر(EM(Electromagnetic
- سیستم‌های مبتنی برUltrasound

طبق FCC[2]، سیگنال باند فوق‌وسیع به سیگنالی گفته‌می شود که پهنای باند fractional برابر ۰,۲ داشته‌باشد یا فرکانس ۵۰۰ مگاهرتز و یا بیشتر را از طیف سیگنال اشغال‌کرده‌باشد. فرمولی که برای محاسبه پهنای باند fractional استفاده‌می‌شود طبق رابطه زیر است :

$$\frac{2(f_h - f_l)}{(f_h + f_l)} \qquad (1)$$

که در آن f_h و f_l به ترتیب باند فرکانسی بالا و پایین نقطه -۱۰ دسی‌بل از توان خروجی مؤثر EIRP است. به‌دلیل پهنای باند وسیع UWB، FCC محدودیت هایی را برای طیف فرکانسی این باند درنظرگرفته‌است. در موقعیت‌یابی از روش باند فوق‌وسیع، اطلاعات با پالس سیگنال بسیار کوچک یا سیگنال پهنای باند طیف بسیار گسترده منتقل‌می‌شوند ، که از مزایای آن نفوذپذیری قوی و دقت بالای موقعیت

امید پاکدل آذر

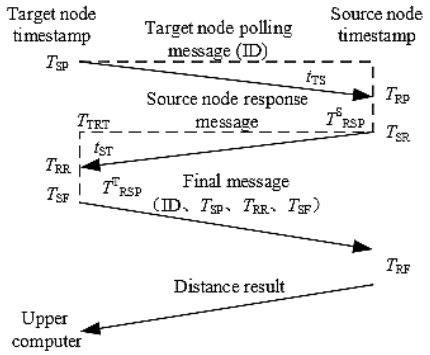
در حد سانتی‌متر است. موقعیت‌یابی از طریق باند فوق‌وسیع در حالت کلی به ۴ دسته تقسیم‌می‌شود :

۱) time of arrival (TOA)
۲) time difference of arrival (TDOA)
۳) angle of arrival (AOA)
۴) received signal strength indication (RSSI)

در این پروژه از TDOA استفاده‌شده‌است. در این روش با اندازه گیری زمان ارسال و دریافت پیام بین منبع و گره، هدف فاصله تخمین زده‌می شود. گره منبع به‌عنوان منبع اصلی و گره هدف به‌عنوان گره‌ای که فاصله نسبت به آن سنجیده‌می شود، انتخاب‌می شود. این فاصله با استفاده از الگوریتم trilateration-centroid محاسبه‌می‌شود که در ادامه شرح‌داده‌خواهدشد.

۳. روش پیشنهادی

سیستم موقعیت یابی UWB از پالس گوسی باند فوق‌وسیع استفاده‌می‌کند که در آن دامنه زمانی پالس‌ها کمتر از ۰٫۵ نانو ثانیه با دقت بسیار بالاست. معمولاً سیستم‌های موقعیت‌یابی مبتنی‌بر باند فوق‌وسیع دارای چند گره منبع بوده که با دریفات الگو پالس از گره هدف زمان دریافت را محاسبه‌می‌کنند. روش عملکرد این الگوریتم در شکل (۱) آمده‌است.



شکل۱: روش موقعیت‌یابی باند فوق‌وسیع [7]

زمانی که پیام توسط گره هدف دریافت‌می‌شود(ID) گره منبع زمان ارسال را ثبت‌می‌کند(TSR). گره هدف نیز زمان دریافت (TRR) را ثبت‌کرده و زمان‌های (TSP TRR TSF) که توسط گره هدف ثبت‌شده‌است را در زمان TSF به گره منبع ارسال‌می‌کند. بعد از دریافت تمامی زمان‌های محاسبه‌شده توسط منبع ، حال اطلاعات برای محاسبه فاصله مهیا است. روند محاسبه فاصله به شرح زیر است :

گره منبع مجموع میانگین زمان ارسال و دریافت بین گره منبع و گره هدف را محاسبه‌می‌کند. در این محاسبات گره منبع از کلاک داخلی خود برای جلوگیری از پدیده Synchronizing clock استفاده‌می‌کند. بنابراین فاصله بین دو گره با ضرب رابطه زیر به‌عنوان زمان ارسال و دریافت پیام(T_{OF}) با سرعت نور (سرعت انتشار امواج UWB) محاسبه‌می‌شود.

$$\frac{(T_{RR}-T_{SP})-(T_{SR}-T_{RP})+(T_{RF}-T_{SR})-(T_{SF}-T_{RR})}{4} \quad (2)$$

برای محاسبه فاصله هر گره منبع با گره هدف برای به‌دست آوردن مختصات نسبت به گره های منبع از الگوریتم trilateration-centroid استفاده‌می‌شود. نقطه منحصربه‌فرد تقاطع سه دایره که هرکدام نماینده یک گره منبع هستند به‌عنوان موقعیت گره هدف شناخته‌می‌شود (شکل۲). مختصات گره هدف (X,Y) به شکل زیر محاسبه‌می‌شود :

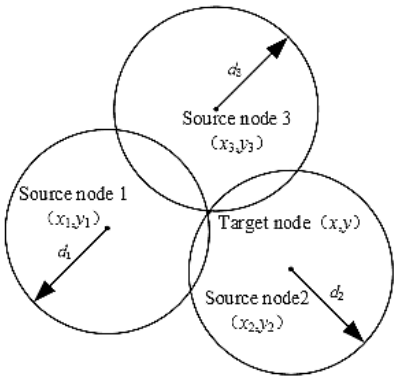
$$x=\frac{(y_2-y_1)\gamma_1+(y_2-y_3)\gamma_2}{2((x_2-x_3)(y_2-y_1)+(x_1-x_2)(y_2-y_3))} \quad (3)$$

$$y=\frac{(x_2-x_1)\gamma_1+(x_2-x_3)\gamma_2}{2((x_2-x_1)(y_2-y_3)+(x_2-x_3)(y_1-y_2))} \quad (4)$$

که در آن :

$$\gamma_1=x_2^2-x_3^2+y_2^2-y_3^2+d_3^2-d_2^2 \quad (5)$$

$$\gamma_2=x_1^2-x_2^2+y_1^2-y_2^2+d_2^2-d_1^2 \quad (6)$$



شکل۲: نحوه محاسبه مختصات گره هدف با استفاده از الگوریتم [7] trilateration-centroid

d_i نشان‌دهنده فاصله بین هر گره منبع متناظر با گره هدف است. به‌طور مثال با فرض یک سیستم مختصات که در آن مقیاس محور x و y برابر ۱۰۰ سانتی‌متر یا یک متر است، داریم :

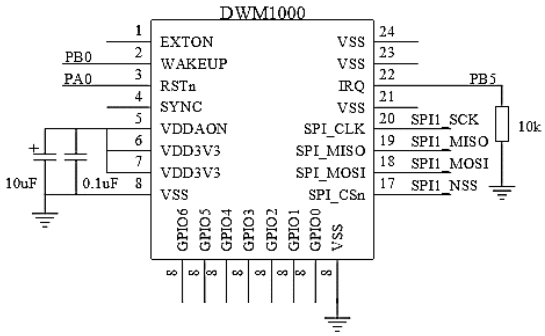
$$x=\frac{\gamma_1+\gamma_2}{100} \quad (7)$$

$$y=-\frac{\gamma_2}{200} \quad (8)$$

در ادامه سخت‌افزار طراحی‌شده معرفی‌می‌شود.

۴. طراحی سخت‌افزار

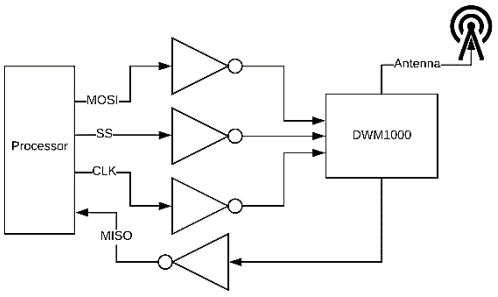
فناوری موقعیت‌یابی اغلب دارای هزینه بالا و عملکرد ضعیف بدون‌درنگ است و در محیط‌های پیچیده به‌خوبی و دقیق عمل‌نمی‌کند.



شکل۳: شماتیک کلی ماژول DWM1000 [7]

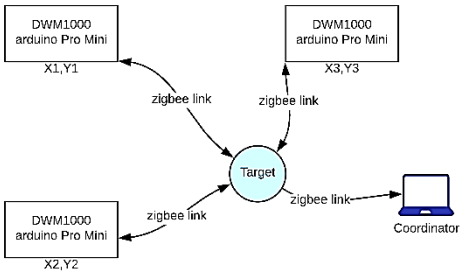
همان‌طورکه مشـــاهده‌می‌شـــود. شـــکل (۳) شـــماتیک کلی ماژول DWM1000 را نشـــان‌می‌دهد. این ماژول توســـط رابط SPI به MCU متصل و به‌وسیله مقداردهی به رجیسترهای مختلف تنظیم شده و در مدهای مختلف عمل‌می‌کند. این ماژول می‌تواند با گذرگاه SPI با ســـرعت ۲۰ مگاهرتز با MCU ارتباط برقرارکند و به‌دلیل توانایی آن در مقابله با تداخل چندمســـیری برای موقعیت یک کاربرد در شـــرایط پیچیده داخلی مناسب است .ماژول DWM1000 از فرستنده گیرنده، مبدل حالت، کنترل‌کننده حالت و رابط SPI تشکیل‌شده‌است.

برای راه‌اندازی ماژول DWM1000 به‌دلیل اینکه ولتاژ کاری این ماژول ۳,۳ ولت است نیاز به یک خط SPI است که حد بالای ولتاژ آن برابر ۳,۳ باشد؛ برای این منظور از بافر SN74LVC2G17 در این پروژه استفاده‌شده‌است(شکل ۴).



شکل۴: شماتیک برد PCB راه‌انداز DWM1000

برد راه‌انداز DWM1000 از طریق بافر به پروتکل SPI برد Arduino pro mini متصل‌می‌شود. اطلاعات دریافتی این برد به‌وسیله پروتکل I2C به برد Arduino Uno ارسال‌می‌شود. در هر گره منبع یک ماژول xbee وجوددارد تا به‌و سیله پروتکل zigbee اطلاعات به صورت وایرلس به ایستگاه زمینی یا pc ارسال شود. شماتیک کلی گره‌های منبع و گره هدف طراحی ما در شکل (۵) نمایش‌داده‌شده‌است.

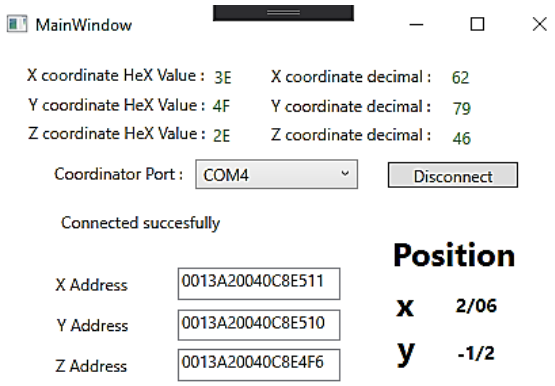


شکل۵: ساختار کلی شبکه موقعیت‌یابی بلادرنگ مبتنی‌بر ارتباط وایرلس پروتکل زیگبی

ماژول‌های زیگبی در هر گره منبع به‌صورت Router تنظیم‌می‌شوند. اطلاعات دریافتی از گره هدف در هر گره منبع جداگانه به Coordinator ارسال‌می شوند تا پردازش اصلی برای الگوریتم trilateration-centroid روی آن انجام‌شـــود. برای به‌کارگیری ماژول‌های xbee از یک کتابخانه مستقل استفاده‌شده‌است تا قابلیت شخصی‌سازی برای ارسال داده و نیز کدینگ اطلاعات ارسالی و دریافتی ممکن شود. برای به‌کارگیری ماژول DWM1000 از پورت کتابخانه رســـمی این ماژول روی STM32 برای آردوینو اســـتفاده‌شـــده‌اســـت. حداکثر جریان مصـــرفی برای ماژول DWM1000 برابر ۱۶۰ میلی‌آمپر اســـت. برای این منظور از رگولاتور ۳,۳ ولت AP7333 با حداکثر جریان خروجی ۴۰۰ میلی‌آمپر اســـتفاده شـــده‌اســـت. ارتباط ماژول با Arduino Pro Mini تا نرخ ۲۰ مگاهرتز در ثانیه و از طریق ارتباط SPI است. همچنین نرخ ارسال اطلاعات ماژول Xbee تا ۷۵ بایت در ثانیه گزارش‌شده‌است، این نرخ نرخ مناسبی برای ارسال و دریافت داده برای موقعیت‌یابی بلادرنگ است.

۵. شبیه‌سازی و پیاده‌سازی رابط کاربری

یک رابط کاربری یکپارچه برای ارزیابی فاصله و همچنین به‌کارگیری الگوریتم موقعیت‌یابی در زبان C# پیاده‌سازی شده‌است. این نرم‌افزار مبتنی‌بر WPF بوده و توانایی دریافت اطلاعات از سه گره همزمان را همراه آدرس فرستنده پروتکل زیگبی دارد. این نرم‌افزار به‌صورت خودکار اطلاعات را از گره Coordinator دریافت، فریم پیام‌های دریافتی را تجزیه و داده را از درون آن استخراج‌می‌کند. در شکل(۶) شمای کلی این رابط کاربری را مشاهده‌می‌کنید.



شکل۶: شمای رابط کاربری طراحی‌شده برای موقعیت‌یابی بلادرنگ در c#

۶. انجام تست‌ها و نتایج‌حاصله

نقاط انتخاب‌شده برای تست در فواصل ۱۰ سانتی‌متر تا ۱ متر تنظیم شده‌اند. گره منبع در نقطه مبدأ تنظیم‌شده و گره هدف در هر نقطه آزمایش جابجا شده‌است. داده‌های تست به رایانه ارسال‌شده و از طریق رابط کاربری نمایش‌داده‌می‌شوند. داده های این آزمایش برای یک جفت گره در جدول ۱ آمده‌است.

جدول۱: نتایج تست سنجش فاصله برای یک جفت ماژول DWM1000 در مد Ranging

Distance/m	Test Data/m	Error/m
0.1	0.21	0.11
0.2	0.4	0.2
0.3	0.6	0.3
0.4	0.63	0.23
0.5	0.72	0.22
0.6	0.8	0.2
0.7	0.87	0.18
0.8	1	0.2
0.9	1.09	0.19
1	1.21	0.21

همان‌طورکه از نتایج جدول (۱) مشخص است، این ماژول به‌طور میانگین در حدود ۲۱ سانتی‌متر از فاصله‌سنجی کمتر از ۱ متر خطا دارد که دقت بسیار قابل‌قبولی به نسبت سیستم‌های مبتنی‌بر GPS است. این خطا را می‌توان با ایجاد آفست به‌صورت نرم‌افزاری رفع‌کرد.

نتایج موقعیت‌یابی در یک سیستم مختصات با مقیاس ۱ تا ۳ متری به‌صورت جدول (۲) است :

جدول (۲): نتایج موقعیت یابی

Measuring Position/cm		Setting Position/cm		Error/cm
X	Y	X	Y	
3	296	0	300	3.5
192	303	200	300	8.5
204	207	200	200	8.06
307	196	300	200	8.01
295	308	300	300	9.4
295	3	300	0	5.8

۷. نتیجه‌گیری

با توجه به ضعف‌های سیستم‌های موقعیت‌یابی کنونی، در این مقاله یک سیستم مبتنی‌بر باند فوق‌وسیع با استفاده از ماژول dwm1000 و ارتباط زیگبی معرفی‌شد. نتایج تست دقتی در حدود ۱۰ سانتی‌متر را برای ماژول گزارش‌می‌کنند و با درون یابی و کالیبراسیون محیط های شخصی سازی شده می‌توان مقدار خطا را تا حد زیادی کاهش‌داد. این دقت با توجه به خطای ۱۰ تا ۱۰۰ متری در ماژول‌های گرانقیمت با تکنولوژی GPS خطایی قابل‌قبول و قابل‌چشم پوشی است. از این سیستم در موقعیت‌یابی داخلی ربات‌ها، پرسنل بیمارستان‌ها و درکارخانه‌ها می‌توان‌استفاده‌کرد.

References

[1] E. Sanchez, M. Botsch, B. Huber, and A. Garcia, “High precision indoor positioning by means of LiDAR,” in *2019 DGON Inertial Sensors and Systems, ISS 2019 - Proceedings*, 2019.

[2] C. Adrados, I. Girard, J. P. Gendner, and G. Janeau, “Global Positioning System (GPS) location accuracy improvement due to selective availability removal,” *Comptes Rendus - Biol.*, vol. 325, no. 2, pp. 165–170, Feb. 2002.

[3] K. Krumvieda *et al.*, “A Complete IF Software GPS Receiver: A Tutorial about the Details.” pp. 789–829, 14-Sep-2001.

[4] David S. Chiu, Kyle P. O’Keefe “Seamless Outdoor-to-Indoor Pedestrian Navigation using GPS and UWB | Request PDF.” [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/252183286_Seamless Outdoor-to Indoor_Pedestrian_Navigation_using_GPS_and_UWB. [Accessed: 13-Aug-2020].

[5] “(3) (PDF) Assessing the Accuracy of High Sensitivity GPS Receiver for Location Based Services.” [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/228443048_Assessing_the_Accuracy_of_High_Sensitivity_GPS_Receiver_for_Location_Based_Services. [Accessed: 13-Aug-2020].

[6] R. S. Kshetrimayum, “An introduction to UWB communication systems,” *IEEE Potentials*, vol. 28, no. 2, pp. 9–13, Mar. 2009.

[7] D. Pan and Y. Yu, “Design of Indoor Position System Based on DWM1000 Modules,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 585, no. 1.

پی‌نوشت

1. Ultra -Wide Band
2. Federal communications commission