



دانشگاه مهندسی کامپیوتر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

## فرم تعریف پروژه

## فارغ التحصیلی دوره کارشناسی

تاریخ: .....

شماره: .....

عنوان پروژه: پیاده سازی ارتباط باس CAN FD بین میکروکنترلر و FPGA	
امضاء:	استاد راهنمای پروژه: دکتر محمد مهدی همایونپور
مشخصات دانشجو:	
نام و نام خانوادگی: محمد چمن مطلق	گرایش: -
شماره دانشجویی: ۹۶۳۱۰۱۸	ترم ثبت نام پروژه: تابستان ۱۴۰۰
داوران پروژه:	
۱- امضاء داور:	
۲- امضاء داور:	
<p><b>شرح پروژه</b> (در صورت مشترک بودن بخشی از کار که بعهدہ دانشجو می باشد مشخص شود):</p> <p>ارتباطات بین اجزاء کامپیوتری و الکترونیکی، موضوع بسیار مهمی در علوم مهندسی می باشد. تلاش های فراوانی در جهت ارائه و استاندارد سازی این ارتباطات وجود دارد. برخی از این استانداردها صرفاً یک ارتباط فیزیکی را مشخص می کنند، برخی یک پروتکل سطح بالا هستند و برخی نیز شامل هر دو قسم می شوند. در این میان می توان به باس هایی نظیر SPI، UART و CAN اشاره نمود.</p> <p>باس CAN یک باس استاندارد شناخته شده در صنایع خودروسازی، اتوماسیون، صنایع هوافضا و... می باشد و ویرایش های مختلفی از این باس توسعه یافته است. CAN FD یک ویرایش خاص از باس CAN می باشد که توانایی افزایش نرخ انتقال بدون تغییر لایه فیزیکی CAN را فراهم می آورد. با توجه به نوین بودن CAN FD، تلاش های کمتری در راستای پیاده سازی و استفاده از این باس صورت گرفته است.</p>	

هدف نهایی این پروژه، پیاده‌سازی یک ارتباط دو طرفه مابین یک میکروکنترلر و یک FPGA با بهره‌وری از باس CAN FD می‌باشد. بنابراین در راستای انجام این پروژه، باید دو نوع پیاده‌سازی (میکروکنترلر و FPGA) توسعه یابد و در نهایت پس از برقراری ارتباط، سرعت و صحت انتقال مورد بررسی قرار گیرد.

جزئیات بیشتر در مورد پروژه و طرح مورد پیشنهاد در ادامه بیان شده است.

#### وسائل مورد نیاز:

- یک دستگاه میکروکنترلر با پشتیبانی از واسط CAN FD
- دو دستگاه فرستنده-گیرنده واسط CAN FD
- یک دستگاه برد توسعه FPGA

تاریخ شروع: ۱۴۰۰/۶/۱

محل انجام پروژه: دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه امیرکبیر

تاریخ تحویل به آموزش دانشکده:

اسم و امضاء:

تاریخ تصویب در گروه:

اسم و امضاء:

تاریخ تصویب در دانشکده:

اصلاحات لازم در تعریف پروژه:

توجه: در صورت عدم رعایت حداقل فاصله (۳ ماه کامل) از تاریخ تصویب پروژه تا تاریخ دفاع، دانشجو ۶

نمره مربوط به

رعایت زمانبندی را اخذ نمی نماید.

صفحه	فهرست عناوین
۱	مقدمه .....
۲	خصوصیات باس CAN .....
۵	طرح پیشنهادی .....
۶	مراحل انجام کار .....
۷	شیوه ارزیابی .....
۷	محصولات طرح .....
۸	مراجع .....
۹	پیوست .....

## صفحه

## فهرست اشکال

- شکل ۱: مدل لایه‌ای باس CAN طبق استاندارد پیاده‌سازی [۵]–[۶]..... ۳
- شکل ۲: قالب پیام مطابق با مشخصات CAN ۲.۰A. لازم به ذکر است که در CAN ۲.۰B مهم‌ترین تفاوت ایجاد شده، در طول شناساگر است که می‌تواند تا ۲۹ بیت افزایش یابد [۶]..... ۳
- شکل ۳: مقایسه قالب داده CAN استاندارد و CAN FD [۱۰]..... ۴
- شکل ۴: مقایسه زمان بیتی CAN استاندارد و CAN FD در حالت کاری عادی [۸]..... ۴
- شکل ۵: نمودار بلوکی اجزاء پروژه..... ۵
- شکل ۶: زمانبندی انجام طرح پیشنهادی..... ۶

## مقدمه

بی شک یکی از مهم‌ترین کارکردهای هر روزهی مهندسی، ارتباطات بین اجزاء مختلف است. درحالی که امروزه کامپیوترها فعالیت‌های بیشتر و بیشتری را به عهده می‌گیرند، اهمیت تبادل داده در حال افزایش می‌باشد. تبادل داده بین کاربران (چه عوامل انسانی و چه عوامل غیر انسانی) اجازه بازیابی یا ضبط داده، تکثیر و نسخه‌برداری داده و البته اجرای عملیات‌ها به شکل غیر متمرکز را می‌دهد [۱]. در راستای به کارگیری همین مزایا، واسطه‌های ارتباطی مختلفی نظیر SPI، I<sup>2</sup>C، UART و... پیاده‌سازی و استاندارد شده اند که البته هرکدام ویژگی‌های منحصر به فرد خود و مزایا و معایبی دارند که آن‌ها را مناسب کاربردهایی خاص ساخته است.

باس CAN<sup>۱</sup> که نخستین بار در سال ۱۹۸۶ توسط شرکت آلمانی بوش<sup>۲</sup> در کنگرهی جامعه مهندسان خودرویی<sup>۳</sup> ارائه شد [۲]، تاکنون توجهات زیادی را به خود جلب نموده است. با وجود اینکه این باس نخستین بار به منظور استفاده در صنایع خودرویی معرفی شد [۲]، ویژگی‌های منحصر به فرد این باس، آن را برای کاربردهای زیادی در صنایع مختلف به خصوص صنایع هوا و فضا مناسب کرده است [۳]. میزان کاربرد و اهمیت این باس در طول سال به قدری افزایش یافت که جزئیات پیاده‌سازی و ارزیابی این باس، در طول سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۵ میلادی در قالب ۶ استاندارد سازمان بین المللی استاندارد سازی قرار گرفت [۴]. در پی افزایش کاربردهای باس CAN، نسخ دیگری از این باس ارائه شدند که در این میان می‌توان به CAN FD<sup>۴</sup> اشاره نمود [۲].

هدف نهایی این پروژه، پیاده‌سازی یک ارتباط دو طرفه مابین یک ریزپردازنده و یک FPGA<sup>۵</sup> از طریق باس ارتباطی CAN FD می‌باشد. در ادامه، جزئیات بیشتری در مورد باس CAN و نسخه CAN FD این باس، پروژه پیشنهادی و پیاده‌سازی و ارزیابی این پروژه ارائه خواهد شد.

<sup>۱</sup> Controlled Area Network

<sup>۲</sup> Robert Bosch GmbH

<sup>۳</sup> Society of Automotive Engineers (SAE) congress

<sup>۴</sup> Flexible Date rate CAN

<sup>۵</sup> Field-programmable gate array

## خصوصیات باس CAN

باس سریال CAN توسط شرکت بوش به صورت یک سیستم همه‌بخشی<sup>۶</sup>، با قابلیت پشتیبانی از چندین راهبر<sup>۷</sup> و به صورت آسنکرون<sup>۸</sup> توسعه پیدا کرد. هدف اولیه این باس که بعدها در قالب استاندارد ISO ۱۱۸۹۸ قرار گرفت، جایگزینی این باس در صنایع خودروسازی به دلیل مشکلات پیچیدگی و سیم‌کشی باس‌های دو-سیمه موجود بود [۵]. در ادامه، این باس محبوبیت زیادی در بین واحدهای کنترل، حسگرها، سیستم‌های ضد لرزش و... پیدا کرد [۶]. حداکثر نرخ ارسال این باس برابر ۱ Mbps می‌باشد که مقاومت آن در برابر اختلالات الکتریکی و قابلیت شناسایی و تصحیح خطاها به صورت خودکار، این باس را مناسب برای کاربردهای ذکر شده نموده است. طبق استاندارد ISO ۱۱۸۹۸، مشخصات این باس در دو بخش A و B و دو ویرایش یک و دو منتشر شده است [۵].

معماری یک باس CAN از سه لایه تشکیل می‌شود که عبارتند از:

- لایه شی<sup>۹</sup> CAN
- لایه انتقال<sup>۱۰</sup> CAN
- لایه فیزیکی CAN

در بین این موارد، مجموعه دو لایه شی و انتقال، معادل لایه لینک داده در مدل مرجع ISO/OSI هستند. لایه شی مسئول انتخاب پیام، انتخاب زمان ارسال آن و در نهایت ارتباط با لایه‌های بالاتر است. لایه انتقال نیز مسئول اجرای پروتکل انتقال است که شامل موارد نظیر داوری، تشخیص خطا و کنترل قالب‌های ارسال می‌شود. لایه فیزیکی نیز نمایانگر بستر حقیقی انتقال بیت‌های داده است [۶]. شکل ۱، ساختار معماری این باس را بهتر نمایان می‌کند.

همانطور که در شکل ۱ دیده می‌شود، بخشی از فرایند کنترل باس CAN می‌تواند در لایه‌های بالاتر صورت پذیرد. به همین منظور پروتکل‌های متعددی برای تکمیل پشته توسعه یافته اند که شناخته شده ترین آن‌ها، پروتکل CANOpen است. این پروتکل تمامی لایه‌های بالاتر از لایه لینک داده در مدل مرجع ISO/OSI را پیاده‌سازی نموده است و به کاربر نهایی تسهیلات ساخت یک شبکه ساده را ارائه می‌کند [۵].

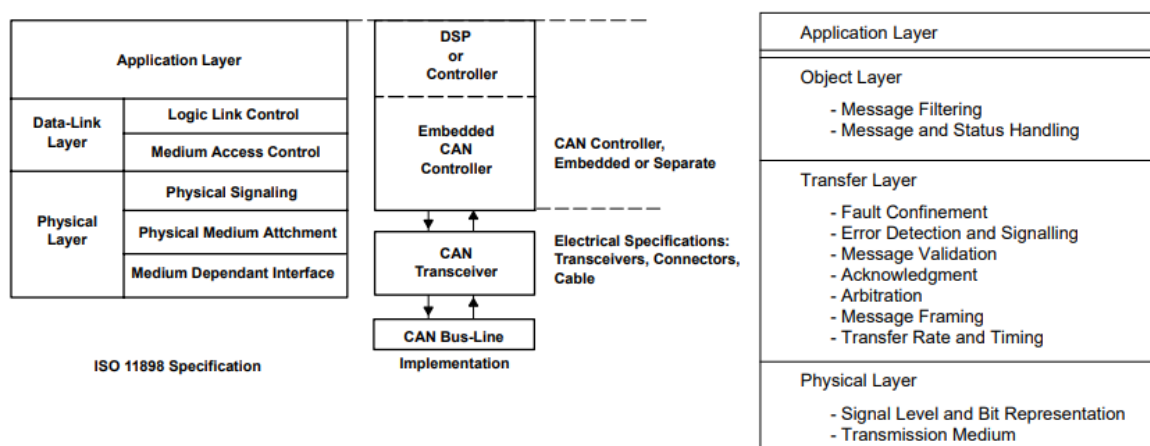
<sup>۶</sup> Broadcast

<sup>۷</sup> Master

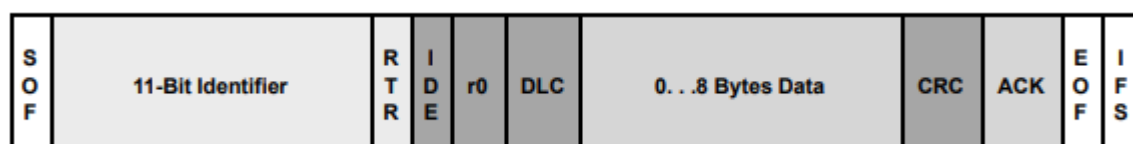
<sup>۸</sup> Asynchronous

<sup>۹</sup> Object Layer

<sup>۱۰</sup> Transfer layer



شکل ۱: مدل لایه‌ای باس CAN طبق استاندارد پیاده‌سازی [۵]–[۶].



شکل ۲: قالب پیام مطابق با مشخصات CAN ۲.۰A. لازم به ذکر است که در CAN ۲.۰B مهم‌ترین تفاوت ایجاد شده، در طول شناساگر است که می‌تواند تا ۲۹ بیت افزایش یابد [۶].

در سمت مقابل یعنی لایه فیزیکی باس CAN، رابط انتقال به صورت یک جفت سیم درهم تنیده<sup>۱۱</sup> می‌باشد. سیم‌های موجود در این جفت که CANH و CANL نامیده می‌شوند، مسئول انتقال داده باس CAN هستند. سیگنال‌ها به صورت تفاضلی<sup>۱۲</sup> و متعادل<sup>۱۳</sup> روی این سیم‌ها جابجا می‌شوند، که این موضوع عامل اصلی خنثی‌سازی اثر نویزهای محیطی می‌باشد [۶].

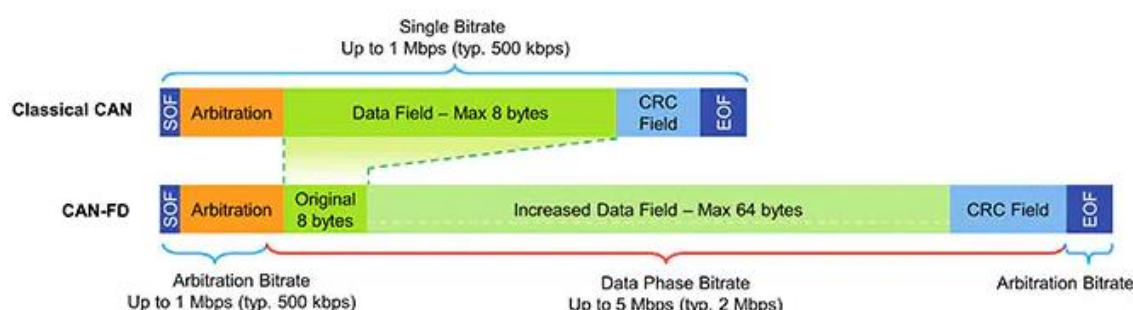
به منظور رفع برخی مشکلات باس CAN، به طور مثال نرخ و سرعت انتقال داده در این باس، ویرایش‌های مختلفی از این باس نظیر TTCAN، MiLCAN و CAN FD توسعه یافته است. باس TTCAN به منظور استفاده در سیستم‌های بلادرنگ توسعه یافته است و قابلیت برنامه‌ریزی را فراهم می‌سازد. MiLCAN نیز برای افزایش اطمینان سیستم در خودروهای نظامی توسعه یافته است. در نهایت CAN FD که مورد بحث ما می‌باشد، با ایجاد تغییراتی در CAN استاندارد، اجازه‌ی افزایش نرخ انتقال داده تا میزان ۱۵ Mbps را فراهم می‌آورد [۷].

<sup>۱۱</sup> twisted-pair wires

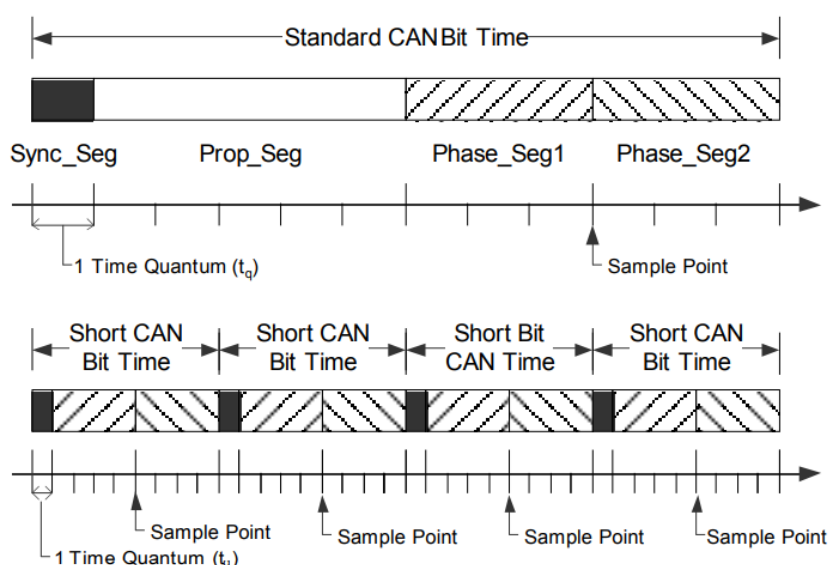
<sup>۱۲</sup> Differential

<sup>۱۳</sup> Balanced

مهندسان شرکت بوش در سال ۲۰۱۲ باس CAN FD را معرفی کردند. هدف اصلی معرفی این ویرایش خاص از باعث CAN، پشتیبانی از نرخ‌های انتقال بالاتر از ۱ Mbps در کنار افزایش اندازه محموله<sup>۱۴</sup> هر قاب به مقادیر بیشتر از هشت بیت بود [۸]. باس CAN FD با قیمتی مشابه به CAN استاندارد، سرعتی چند برابر آن را ارائه می‌کند، البته موضوع به همینجا ختم نمی‌شود و CAN FD ساز و کار پیشرفته‌تری برای تشخیص خطا نیز دارد [۹]. در راه طراحی CAN FD، تلاش بر این بود که لایه فیزیکی حفظ شده و تنها لایه‌های بالاتر تغییر کنند، بنابراین CAN FD را می‌توان یک پروتکل برای لایه فیزیکی CAN استاندارد نیز دانست. به طور کلی افزایش نرخ داده ذکر شده در CAN FD از دو طریق تغییر صورت گرفته است: ۱. افزایش نسبت محموله به سرآیند در هر قاب داده، ۲. کوتاه کردن زمان بیتی [۸].



شکل ۳: مقایسه قالب داده CAN استاندارد و CAN FD [۱۰].

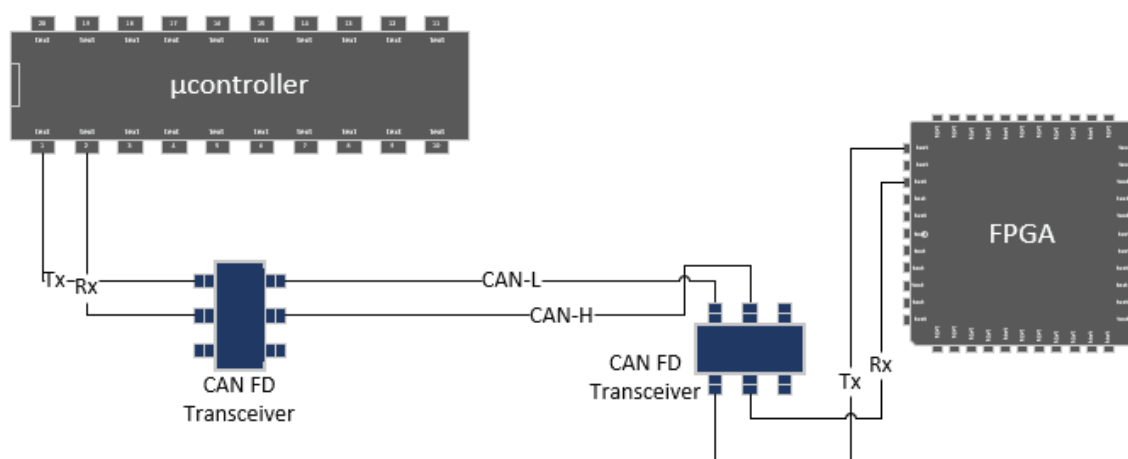


شکل ۴: مقایسه زمان بیتی CAN استاندارد و CAN FD در حالت کاری عادی [۸].



## طرح پیشنهادی

هدف این پروژه، پیاده‌سازی یک ارتباط از طریق CAN FD بین یک میکروکنترلر و یک FPGA می‌باشد. همانطور که پیش‌تر اشاره شد، باس CAN استاندارد دارای سه لایه شی، انتقال و فیزیکی می‌باشد و CAN FD با استفاده از لایه فیزیکی باس CAN، به پیاده‌سازی دو لایه بالاتر می‌پردازد. این لایه فیزیکی از طریق یک جفت سیم درهم تنیده (رابط باس CAN) و دستگاه‌های فرستنده-گیرنده<sup>۱۵</sup> انجام می‌شود. بنابراین، نمودار بلوکی اجزاء این پروژه، مطابق شکل ۵ می‌باشد.



شکل ۵: نمودار بلوکی اجزاء پروژه.

مستقل از پیاده‌سازی لایه فیزیکی باس CAN، به منظور کارکرد صحیح طبق مشخصات CAN FD، به طراحی لایه‌های شی و انتقال CAN FD پرداخته خواهد شد. با توجه به اینکه پیاده‌سازی باید در طرفین باس، یعنی میکروکنترلر و FPGA، انجام شود، انجام عملیات باید به دو شکل متفاوت انجام شود. در سمت FPGA پیاده‌سازی از طریق یک زبان توصیف سخت‌افزار<sup>۱۶</sup> انجام خواهد شد. در سمت دیگر ارتباط (میکروکنترلر) نیز پیاده‌سازی از طریق زبان‌های C و اسمبلی در کنار استفاده از برخی کتابخانه‌های موجود نرم‌افزاری انجام خواهد شد.

پس از اتمام فرایند پیاده‌سازی، مجموعه طراحی شده باید مورد ارزیابی قرار گیرد. این ارزیابی شامل دو مرحله می‌شود: ۱. بررسی صحت ارتباط و ارسال صحیح داده مابین میکروکنترلر و FPGA. ۲. بررسی نرخ ارسال داده.

<sup>۱۵</sup> Transceiver

<sup>۱۶</sup> HDL

## مراحل انجام کار

- به منظور اجرای صحیح طراح پیشنهادی، انجام کلی پروژه به نه مرحله تقسیم شده است که توضیحات هر بخش به اختصار در ادامه بیان شده است. شکل ۶ نیز برنامه‌ریزی زمانی انجام این مراحل را نشان می‌دهد.
- مرحله نخست انجام این پروژه، شناسایی فعالیت‌ها و امکان‌سنجی است. این مرحله که تا زمان نگارش این سند بخش زیادی از آن انجام شده است، شامل شناسایی و درک فناوری‌های موجود و بررسی میزان در دسترس بودن منابع مورد نیاز می‌شود.
  - مرحله بعد مربوط تهیه منابع مورد نیاز می‌شود. در این مرحله اسناد، گزارش‌ها، مقالات علمی و استانداردهای مربوط به طرح پیشنهادی جمع‌آوری می‌شوند.
  - در مرحله بعد، از بین منابع جمع‌آوری شده، داده‌های ارزشمند شناسایی و جداسازی می‌شوند.
  - مرحله چهارم مربوط به آماده‌سازی منابع مورد نیاز برای پیاده‌سازی CAN FD در میکروکنترلر و FPGA می‌شود. در این مرحله باید کتابخانه‌های لازم یافت شوند و ابزارهای لازم برای برنامه‌نویسی و شبیه‌سازی میکروکنترلر و FPGA جمع‌آوری شوند.
  - در این مرحله پیاده‌سازی روی میکروکنترلر انجام شده و صحت کار بررسی می‌شود.
  - این مرحله نیز مشابه مرحله قبل، پیاده‌سازی روی FPGA انجام شده و صحت آن بررسی می‌شود.
  - در این مرحله، پیاده‌سازی‌های انجام شده یکپارچه می‌شوند و ارتباط نهایی شکل می‌گیرد.
  - مرحله نهایی مربوط به ارزیابی و بررسی صحت پیاده‌سازی انجام شده می‌شود.
  - این مرحله مربوط به تهیه و ارائه گزارش نوشتاری پایانی است که موازی با مراحل پیشین انجام می‌شود.

	۱۴۰۰/۶		۱۴۰۰/۷		۱۴۰۰/۸		۱۴۰۰/۹		۱۴۰۰/۱۰		۱۴۰۰/۱۱	
شناسایی فعالیت و امکان‌سنجی												
تهیه منابع												
جمع‌آوری و مقایسه داده‌ها												
تهیه کتابخانه‌های نرم‌افزاری لازم												
پیاده‌سازی و ارزیابی در میکروکنترلر												
پیاده‌سازی و ارزیابی در FPGA												
یکپارچه‌سازی پیاده‌سازی‌ها												
ارزیابی نهایی												
ارائه گزارش نوشتاری												

شکل ۶: زمانبندی انجام طرح پیشنهادی

## شیوه ارزیابی

همانطور که پیش تر اشاره، در پایان پیاده سازی طرح روی FPGA و میکروکنترلر، فعالیت خروجی باید مورد ارزیابی قرار گیرد. این ارزیابی باید دو جنبه مهم را پوشش دهد:

۱. صحت ارتباط و انتقال درست داده باید بررسی شود.
۲. نرخ انتقال داده محاسبه و بررسی شود. این مورد از آنجایی اهمیت دارد که مهم ترین برتری CAN FD نسبت به CAN استاندارد، نرخ انتقال داده ای آن است. حداکثر نرخ داده CAN استاندارد برابر ۱ Mbps می باشد، در حالی که نرخ داده CAN FD تا ۱۵ Mbps هم دیده شده است [۷].

به منظور ارزیابی موارد فوق، می توان از راهکارهای متعددی استفاده نمود. روش پیشنهادی، ارسال داده بزرگ با برچسب زمانی<sup>۱۷</sup> می باشد. در این روش یک داده بزرگ که حاوی زمان نیز می باشد، از طریق بستر CAN FD ارسال شده و در مقصد، علاوه بر بررسی صحت ارسال داده، از طریق مقایسه زمان موجود در داده و زمان فعلی، می توان نرخ ارسال داده را نیز محاسبه نمود.

## محصولات طرح

همانطور که ذکر شد، باس CAN FD تاریخچه کوتاه تری از CAN استاندارد دارد و طبیعتاً در تحقیقات و صنایع مختلف، توجه کمتری به آن شده است. با توجه به اینکه CAN FD به صورت بالقوه می تواند با قیمتی یکسان با CAN استاندارد، کارایی بالاتری ارائه دهد [۹]، وجود یک روش ساختارمند برای کار با CAN FD بسیار ارزشمند خواهد بود.

خروجی نهایی این پروژه، می تواند به صورت یک کتابخانه نرم افزاری (برای میکروکنترلر) و یک IP-Core (برای FPGA) درآید که هر کدام از این موارد به خودی خود می توانند استفاده از CAN FD را در آینده تسهیل نمایند. این فرایند می تواند به رشد استفاده از CAN FD در صنایع مختلف و در نتیجه بهبود کیفیت ارتباطات سریال و در نتیجه افزایش کارایی ادوات مختلف، کمک بسزایی نماید.

## مراجع

- [١] C. S. Clifton, *What every engineer should know about data communications*. ٢٠٢٠.. Available: <https://www.taylorfrancis.com/books/٩٧٨١٠٠٣٠٦٥٥٨٦>
- [٢] CAN in Auromation, “History of CAN technology.” CAN in Auromation, ٢٠١٩. [Online]. Available: <https://www.can-cia.org/can-knowledge/can/can-history/>
- [٣] A. Scholz, T.-H. Hsiao, J.-N. Juang, and C. Cherciu, “Open source implementation of ECSS CAN bus protocol for CubeSats,” *Advances in Space Research*, vol. ٦٢, no. ١٢, pp. ٣٤٣٨–٣٤٤٨, Dec. ٢٠١٨, doi: ١٠.١٠١٦/j.asr.٢٠١٧.١٠.٠١٥.
- [٤] ١٤:٠٠-١٧:٠٠, “ISO ١١٨٩٨-١:٢٠١٥,” *ISO*. <https://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/٠٦/٣٦/٦٣٦٤٨.html>.
- [٥] S. Corrigan and S. Corrigan, “Introduction to the controller area network (CAN),” *Application Report SLOA101*, ٢٠٠٢.
- [٦] Robert Bosch GmbH, “CAN Specification,” ١٩٩١.
- [٧] Computer Solutions Ltd, “CAN and CAN FD - a brief tutorial for Embedded Engineers.” [https://www.computer-solutions.co.uk/info/Embedded\\_tutorials/can\\_tutorial.htm](https://www.computer-solutions.co.uk/info/Embedded_tutorials/can_tutorial.htm)
- [٨] F. Hartwich, *CAN with flexible data-rate*. ٢٠١٢.
- [٩] A. Mutter and Florian Hartwich, “Advantages of CAN FD Error detection mechanisms compared to Classical CAN,” *CAN in Automation iCC*, ٢٠١٥.

## پیوست

در ادامه، مجموعه‌ای از منابع ارزشمند در جهت بررسی CAN استاندارد، CAN FD و کاربردهای آن ارائه شده است:

- مشخصات رسمی CAN FD ارائه شده توسط شرکت بوش در لینک زیر قابل مشاهده است:

<https://can-newsletter.org/assets/files/ttmedia/raw/e۰۷۴۰b۷b۰۷۸۱b۸۹۶۰f۰۰efcc۲b۹۳edf۸.pdf>

- در لینک، مجموعه‌ای از مقالات و گزارش‌ها و استانداردهایی که مستقیماً به CAN استاندارد یا CAN FD پرداخته اند موجود است:

[https://web.archive.org/web/۲۰۱۷۰۷۰۲۱۸۳۴۴۰/http://www.bosch-semiconductors.de/en/automotive\\_electronics/ip\\_modules/can\\_literature\\_۲.html](https://web.archive.org/web/۲۰۱۷۰۷۰۲۱۸۳۴۴۰/http://www.bosch-semiconductors.de/en/automotive_electronics/ip_modules/can_literature_۲.html)

- توضیح اختصاری CAN FD و تفاوت آن با CAN استاندارد در لینک زیر قابل مشاهده است:

<https://www.can-cia.org/can-knowledge/can/can-fd/>

- نمونه‌ای از استفاده از CAN FD در یک ماموریت فضایی زیر نظر آژانس فضایی اروپا<sup>۱۸</sup>:

[https://indico.esa.int/event/۲۲/contributions/۱۹۷۰/attachments/۱۶۷۲/۱۹۶۴/۱۰-\\_SSTL\\_ADCSS\\_۲۰۱۳.pdf](https://indico.esa.int/event/۲۲/contributions/۱۹۷۰/attachments/۱۶۷۲/۱۹۶۴/۱۰-_SSTL_ADCSS_۲۰۱۳.pdf)

- مقاله زیر به مهاجرت از CAN استاندارد به CAN FD، تفاوت‌ها و چالش‌های مربوطه پرداخته است:

[http://s۳.eu-central-۱.amazonaws.com/cancia-de/documents/proceedings/icc\\_۲۰۱۵\\_esparza.pdf](http://s۳.eu-central-۱.amazonaws.com/cancia-de/documents/proceedings/icc_۲۰۱۵_esparza.pdf)