بسم الله الرحمن الرحیم

موسسه آموزش عالی پیام گلپایگان

پروژه درس ابزار دقیق پیشرفته

شبکه صنعتی CAN-BUS و کاربرد آن

PicPars.com

غلامعلی کریمی
عباس علیخانی
اردوان مهدی علمدارلو

استاد راهنما :
جناب آقای مهندس سهراب زاده

اردیبهشت ۱۳۸۹

چکیده

امروزه، استفاده از لوازم برقی و الکترونیکی در خودرو، روز به روز در حال افزایش بوده و به تدریج جایگاه ویژه‌ای در میان قطعات خودرو می‌یابند. افزایش این قطعات و واحد ها باعث ایجاد و توسعه روش‌های استاندارد ارتباطات در خودرو همانند *VAN*، *ABUS*، *CAN* و غیره شد. در این میان، شبکه *CAN* با استقبال بیشتری روبرو شده است. این مقاله در ابتدا به بررسی چگونگی توسعه شبکه کن باس و معرفی و کاربرد آن پرداخته و در ادامه به جزئیات تبادل داده ها در شبکه و تجهیزات مورد نیاز آن می پردازد و از آنجایی که بیشترین کاربرد این شبکه در خودروها می باشد در این مقاله نیز بر این کاربرد ، تاکید بیشتری شده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱. مقدمه ۴

۲. معرفی شبکه ی CAN..... ۶

نقش ترمیناتور ۸

حالات باس ۸

کد گذاری منچستر و بدون بازگشت به صفر ۹

سنکرون سازی ۱۰

۳. مدل مرجع OSI..... ۱۱

لایه ی فیزیکی ۱۱

لایه پیوند داده ها ۱۲

۴. کاربرد CAN در خودروها ۱۲

۵. اصول تبادل داده ها در CAN..... ۱۳

مزایای این نوع تبادل داده ۱۵

۶. فریمهای فرمت CAN..... ۱۵

فریم داده ۱۶

۷. کارایی تخصیص باس..... ۱۸

۸. شناسایی خطا ۱۹

مکانیزم های مورد استفاده برای آشکارسازی خطا ۱۹

۹. پیاده سازی پروتکل CAN..... ۲۰

روش برقراری ارتباط بین قطعات برقی در سیستم CAN ۲۰

۱۰. واحد کنترل الکترونیکی(ECU)..... ۲۲

۱۱. استفاده از CHIP های مجتمع ۲۳

۱۲. سازمانهای استاندارد سازی کن باس ۲۴

استانداردهای CAN ۲۴

نتیجه‌گیری ۲۵

منابع ۲۶

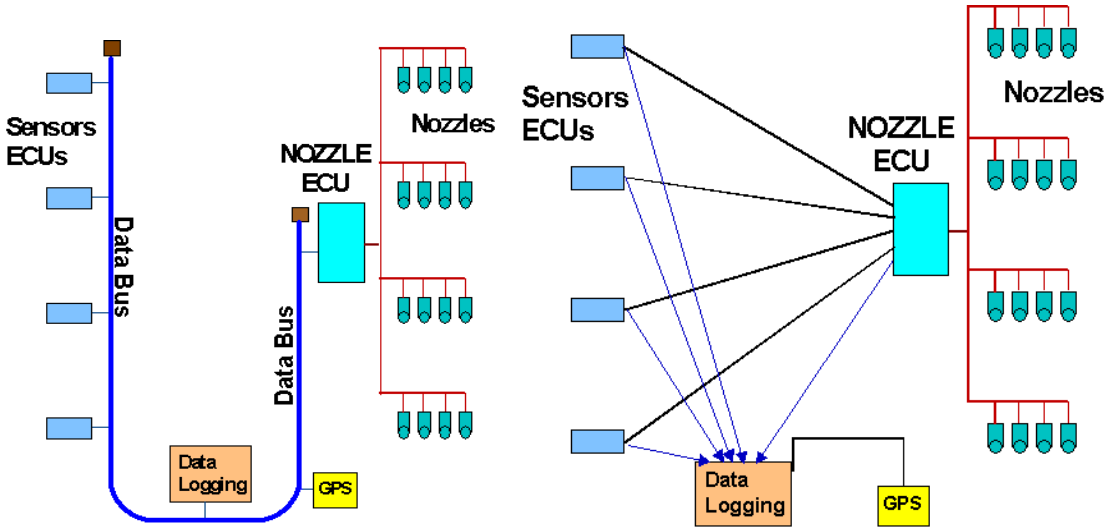
فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱: مقایسه سیم کشی معمولی واتصال واحدها از طریق باس سریال به کنترلر ۵
شکل ۲: نحوه سیم کشی در شبکه CAN ۸
شکل ۳: حالات برجسته و نهفته باس ۹
شکل ۴: کد گذاری بیتی منچستر ۹
شکل ۵: کدگذاری بدون بازگشت به صفر ۹
شکل ۶: قرار دادن Stuff bit بعد از پنج بیت برای سنکرون سازی ۱۰
شکل ۷: لایه های مدل مرجع OSI ۱۱
شکل ۸: شبکه کن فقط از دو لایه ی مدل مرجع استفاده می کند ۱۱
شکل ۹: اتصال بخشهای مختلف خودرو توسط شبکه ی کن باس ۱۳
شکل ۱۰: ارسال اطلاعات و پذیزش یا رد توسط ایستگاهها ۱۴
شکل11 : برقراری ارتباطCAN مطابق استانداردISO ۱۱۸۹۸ .....۱۵
شکل 12: حالت استاندارد فریم ارسال ۱۷
شکل ۱۳: حالت طولانی یا گسترش یافته فریم داده ۱۸
شکل ۱۴: کنترلر CAN از نوع ALONE -STAND ۲۱
شکل ۱۵: کنترلر CAN از نوع یکپارچه ۲۱
شکل۱۶: ارتباط شبکه کن با دیگر پروتکل های ارتباطی مانند USB,RS 485 RS 232و شبکه ی Ethernet با رابط واسطه ...۲۱
شکل ۱۷: یک واحد کنترل الکترونیکی برای ارتباط سنسور با شبکه ۲۲
شکل ۱۸: شکل۱۹ –یک نمونه ماژول کنترلر CAN ۲۲
شکل ۱۹: یک مدار سطحی ضرب گیر CAN ۲۴

۱. مقدمه

در اوایل دهه ۱۹۸۰ شرکت Bosch شبکه کنترل کننده خود را توسعه داد و آن را در مجمع مهندسین خودرو با نام Automotive Serial Controller Area Network معرفی کرد. بطوریکه اجزا کنترلی مثلا" یک ماشین (چراغهای خطر , کیسه هوا , چراغها , شیشه برقی و قفلهای درب) همگی به یک کانال ارتباطی مشترک متصل می شوند. کارخانه های اتوماتیک دریافته بودند که در حالت عادی و بدون شبکه اگر سیم کشی یک قسمت دچار مشکل شود دورانداختن ماشین شاید ارزانترین راه حل باشد تا رفع عیب آن.[1,4]



شکل ۱: مقایسه سیم کشی معمولی(دسترسی مستقیم کنترلر به سایر واحدها)
واتصال واحدها از طریق باس سریال به کنترلر

در اصل پروتکل CAN[1] توسط شرکت بوش ابداع و با همکاری اینتل بازسازی و تکمیل شد. در سال ۱۹۸۷ شرکت اینتل اولین تراشه ی CAN موسوم به تراشه ی ۸۲۵۲۶ را ساخت که بعدها در تراشه ی ۸۲۵۲۷ تکمیل شد. در همان زمان کارخانه ی نیمه هادی فیلیپس نیز اقدام به ساخت تراشه ی 82C200 برای کنترلر CAN نمود. پس از آن شرکتهای موتورلا و NEC نیز اقدام به ساخت تراشه های CAN نمودند.[4]

در سال ۱۹۹۲ گروه CAN in Automation(CiA) تشکیل شد و در سال بعد استاندارد ISO11898 جهت تعریف CAN برای استفاده های صنعتی انتشار یافت.[1]

در سال ۱۹۹۲ کارخانه ی بنز جهت ارتباطات الکتریکی داخل خودروهایش از شبکه ی CAN استفاده کرد که منجر به کاهش حدود یکصد کیلوگرم از وزن ماشین شد. این موضوع مورد استقبال سایر خودرو سازان نیز قرار گرفت. شرکت ولوو نیز با بهره‌گیری از این تکنیک در مدل خودروی سواری S80 خود توانست به میزان یک کیلومتر از طول دسته سیم این خودرو بکاهد.[10]

[1] Control Area Network

امروزه تعداد زیادی شبکه مخصوص خودرو طراحی و از طرف شرکت‌های مطرح دنیا معرفی شده‌اند. از جمله این شبکه ها می‌توان به گذرگاه‌های CAN، VAN[۲]، LIN، TTP/C، MOST، IDB ۱۳۴۹ اشاره کرد. کشور های مختلف استانداردها و نام های خاصی را برای کاربرد این سیستم ها به کار می برند که از جمله معروفترین آنها می توان به:

- استاندارد Can : ساخت آلمان که در خودرو های بنز ب.ام.و و فیات و ولوو به کار می رود.
- استاندارد VAN : ساخت کشور فرانسه و روی محصولات رنو و پژو این کشور مورد استفاده است.
- استاندارد J1850 : ساخت کشور آمریکا که بر روی محصولات تولید کرایسلر فورد و جی ام مورد استفاده می باشد.
- استاندارد Proprietary : تولید کشور ژاپن که بر روی محصولات این کشور مورد استفاده می باشد.
- استاندارد Abus : محصول آلمان و مورد استفاده بر روی محصولات گروه فولکس واگن است.

در میان استاندارد های بالا CAN از موفق ترین آن ها به حساب می آید و بیشتر خودرو سازان از این استاندارد بر روی محصولاتشان استفاده می کنند. در خودروهای تولیدی کشور ما ایران، دو گذرگاه CAN و VAN بیشتر از بقیه مورد توجه هستند. مطمئنا" نقش ارتباطات در یک ماشین می تواند بیانگر تفاوت بین مرگ و زندگی باشد. CAN یک شبکه پایدار در برابر شرایط سخت کاری است و امکان بروز خطا در آن بسیار پائین است.[7,9]

۲. معرفی شبکه ی CAN

CAN مخفف شبکه محلی کنترلر[۳] است. اساسا این شبکه برای محیطهای پر نویز صنعتی طراحی شده است. CAN-BUS رابط دو سیمه تفاضلی است که روی یک جفت سیم به هم پیچیده شده محافظ دار(STP[۴]) یا بدون محافظ(UTP[۵]) یا کابل تخت[۶] به همراه سیم زمین اجرا می شود و به این سیمها CAN_L و CAN_H گفته می شود. تعداد وسایل قابل اتصال ۱۱۰ وسیله است. توپولوژی بصورت باس است که دو طرف آن ترمیناتور نیاز دارد. برای هر گره از یک کانکتور نوع 9 Pin D Male استفاده می شود. نحوه ی رمز گذاری بیتی برای گذرگاه دیفرانسیلی دو سیمه به صورت بدون بازگشت به صفر[۷] (با یک بیت Stuffing) است.[3]

---

[۲] Vehicle Area Network : گذرگاه VAN نیز همانند گذرگاه CAN برای شبکه های داخلی خودرو طراحی شده است. این پروتکل، توسط شرکت‌ها PSA و رنو تهیه شده و فقط توسط این دو شرکت مورد استفاده قرار می گیرد. البته در خودروهایی که از این گذرگاه بهره می‌برند، گذرگاه CAN نیز وجود دارد. در واقع تلفیق از این دو گذرگاه شبکه Multiplex را می‌سازد.

[3] Control Area Network
[4] Shielded Twisted Pair
[5] Un-Shielded Twisted Pair
[6] Ribbon cable
[7] Non Return to Zero (NRZ)

استفاده از رمز گذاری بدون بازگشت به صفر ارسال پیغامهای ترکیبی را با حداقل تعداد انتقال و اطمینان بالا برای اغتشاشهای خارجی، تضمین می کند.

Pin #	Signal Names	Signal Description
1	Reserved	Upgrade Path
2	CAN_L	Dominant Low
3	CAN_GND	Ground
4	Reserved	Upgrade Path
5	CAN_SHLD	Shield, Optional
6	GND	Ground, Optional
7	CAN_H	Dominant High
8	Reserved	Upgrade Path
9	CAN_V+	Power, Optional

جدول۱ – پینهای کانکتور خروجی CAN Bus

پروتکل CAN برای رسانیدن پیغام های کوتاه با طول حداکثر ۸ بایت طراحی شده است وبه طور معمول برای فرستادن سیگنال های راه انداز مثل قفل کردن کمربند های ایمنی در مواقع ترمز های سنگین و اندازه گیری مقادیری مانند دما وفشار استفاده می شود.[3]

این پروتکل هیچ گونه وقفه ای برای انتقال پیغام ندارد اما اولویت فرستادن پیغام را برای عدم برخورد خواهد داشت و معمولا پیغام اورژانسی را در اولویت قرار می دهد.
سیستم های CAN بسیار سریع هستند و قابلیت انتقال حداکثر۷۶۰۰ پیغام ۸ بایتی و ۱۸۰۰۰ سیگنال راه انداز در ثانیه را دارا خواهند بود.[1]

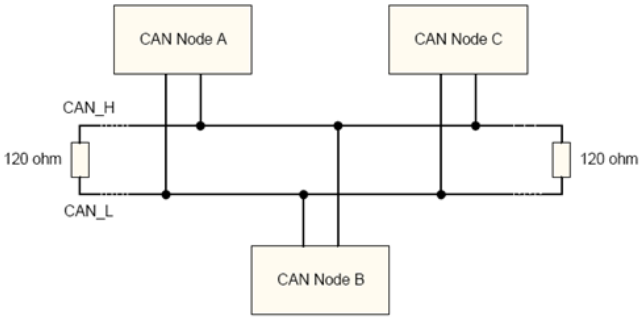
بالا ترین نرخ ارسال داده در این پروتکل 1Mbps و کمترین آن 10Kbps می باشد.تمام ماژولهای استفاده شونده در این پروتکل می بایست حداقل نرخ ارسال 20Kbps را پشتیبانی کنند. طول کابل به نوع ارسال استفاده شده بستگی دارد.به طور معمول همه ی قطعات استفاده شده در سیستم انتقال باید دارای نرخ انتقال یکسان باشند.حداکثر طول خط انتقال یک کیلومتر و حداقل آن 40 متر در نرخ 1Mbps است. مقاومتهای پایانی[8] در انتهای هر خط قرار داده می شوند. بیشترین زمان انتقال در فریم ۸ بایتی با ۱۱بیت شناسایی ،۱۳۴ مرتبه ی بیتی است(یعنی ۱۳۴ میکرو ثانیه در حداکثر نرخ انتقال 1Mbps).[1]

[8] Termination resistors

سرعت	طول کابل
1Mbps	40m
250Kbps	250m
125Kbps	500m
10Kbps	1Km

جدول۲ – ماکزیمم نرخ بیت بر حسب طول باس

بطور کلی CAN در خودروها،سیستمهای حمل و نقل،ماشین آلات الکترونیکی و پزشکی،در ساختمان سازی و ... کاربرد دارد. یکی از ویژگی های CAN که باعث پذیرش گسترده ی آن شد،امکان استفاده از محصولات تولید کنندگان مختلف در شبکه است. جایگاه CAN در هرم اتوماسیون در سطوح پایین است.[4]



شکل ۲: نحوه سیم کشی در شبکه CAN

نقش ترمیناتور

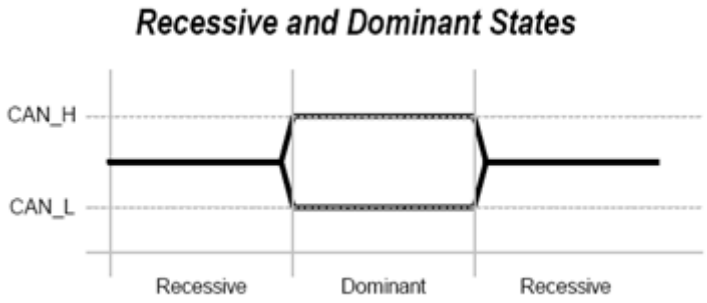
ترمیناتور مقاوتی در حدود ۱۲۰ اهم است که در دوطرف باس بین CAN_L و CAN_H قرار میگیرد. نقش ترمیناتور تطبیق امپدانس و جذب سیگنالهاست. بدون وجود ترمیناتور وقتی سیگنال به دو سر سیم باز می رسد اکو شده و با دامنه ی معکوس روی سیم برگشت پیدا می کند. این سیگنال برگشتی شبیه نویز بوده و سیگنالهای داده را خراب می کند. بطور کلی ترمیناتور لازم است در ابتدا و انتهای کابل trunk قرار گیرد. کابل trunk کابل اصلی است که از ابتدا تا انتهای باس کشیده شده است.[4]

حالات باس

دو نوع حالت در توصیف باس وجود دارد: حالت نهفته (Recessive) و حالت برجسته (Dominant).

حالت نهفته هنگامی رخ می دهد که دو سیم CAN_L و CAN_H دارای پتانسیل یکسانی باشند و حالت برجسته زمانی رخ میدهد که دو سیم با یکدیگر اختلاف پتانسیل داشته باشند. باس CAN وقتی غیر فعال است به صورت نهفته باقی می ماند.[2]

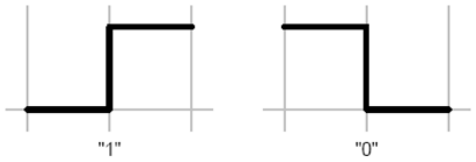
تشخیص حالات باس نهفته و برجسته از صفر و یک کار بسیار مهم و دشواریست. صفر و یک برای سیستم اعداد باینری مناسب است ولی آنها نمی توانند حالات باس را بازگو کنند .این دو مفهوم نهفته و برجسته باس یک مفهوم مهم و خاص در هنگام بحث داوری باس و میدان کنترل CAN خواهد بود.[1]



شکل ۳: حالات برجسته و نهفته باس

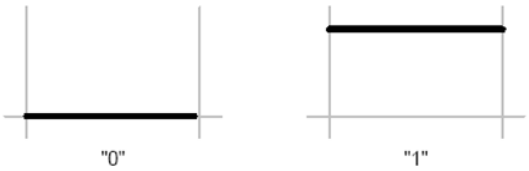
کد گذاری منچستر و بدون بازگشت به صفر

۱-**کدگذاری منچستر**: در این روش برای رمز[۹] کردن نیاز به نمایش انتقال بیت از ۰ به ۱ و از ۱ به ۰ می باشد.این کد گذاری برای ارتباطات آسنکرون مناسب است به خاطر اینکه همیشه یک بیت برای سنکرون شدن وجود دارد.دریافت کننده با رسیدن لبه قادر به تشخیص ابتدا و انتهای فریم است. عیب اولیه منچستر این است که برای رمز کردن نیاز به پهنای باند زیاد برای دیدن ۲ بازه‌ی زمانی[۱۰] دارد.[1]



شکل ۴: کد گذاری بیتی منچستر

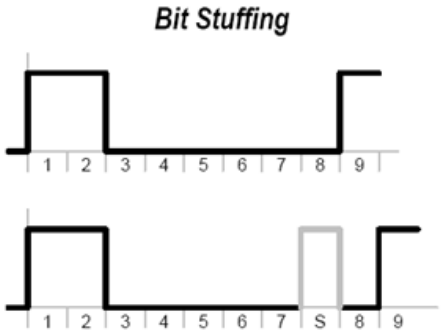
۲-**کدگذاری بدون بازگشت به صفر**: در این روش که پروتکل CAN از آن استفاده می کند ، برخلاف قبلی نیاز به نمایش هر بیت نیست واین سیگنال بازه‌ی زمانی ۰ یا ۱ ورودی را به قوت خود نگه می دارد. اگر یک فریم شامل رشته ای از ۰ یا ۱ باشد این سیگنال بازه های زمانی زیادی را به صورت ثابت نگه می دارد. عیب این روش این است که برای تشخیص شروع و انتهای هر بیت راه آسانی وجود ندارد و برای رفع کردن این مشکل نیاز به استفاده ازکلاک[۱۱] هم فرکانس با فریم داریم تا بتواند آن رشته را کد گشایی کند.



شکل ۵: کدگذاری بدون بازگشت به صفر

[9] Encode
[10] Time Slot
[11] Clock

چون روش بدون بازگشت به صفر سیگنالها را برای مدت زیادی نگه می دارد ممکن است اسیلاتورها از سنکرون بودن خارج شوند . پروتکل CAN یک سیگنال دیگر را به عنوان کلاک تولید می کند و در هر ۵ بیت یک بیت اضافی را وارد فریم می کند این بیت را به عنوان stuff bit می شناسیم. دریافت کننده از این بیت برای سنکرون سازی کلاک استفاده می کند . هر شاخه stuff bit مربوط به خود را می شناسد و اگر دریافت کننده ۵ بیت صفر یا یک را ببیند به آن اعتنا نمی کند و سراغ بیت بعدی می رود.[1,2]



شکل ۶: قرار دادن Stuff bit بعد از پنج بیت برای سنکرون سازی

سنکرون سازی

پروتکل CAN از روش انتقال اطلاعات سنکرون استفاده میکند. برای سیستم CAN این بدین معنیست که هر شاخه با استفاده از نرخ ساعت ثابت ارسال و دریافت می کند و همه ی نرخهای ساعت نیز بر مبنای نقطه مرجع خواهند بود. این روش ، انتقال اطلاعات را بسیار سودمند می سازد ولی سنکرون نگه داشتن کلاک ها در طول زمان های طولانی مشکل است. کلاک ها معمولا سنکرون بودن خود را به خاطر رانش اسیلاتورها و تاخیرات انتشار و خطاهای مراحل از دست می دهند.

شاخه های CAN از دو روش برای سنکرون کردن کلاک هایشان استفاده می کنند: سنکرون سازی سخت و دوباره سنکرونی.

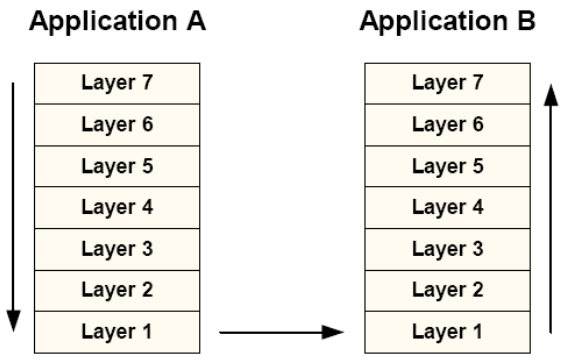
سنکرون سازی سخت تنها در زمان انتقال پیغام و معمولا در ابتدای فریم پیغام جدید رخ میدهد. قبل از اینکه فریم شروع شود حالت باس به صورت نهفته و غیر فعال است.

اولین بیت اغازگر فریم به صورت برجسته انتقال پیدا می کند. هر شاخه ساعت خود را با استفاده از انتقال ساخته شده توسط فریم سنکرون می کند. کلاک ها معمولا قادر به سنکرون نگه داشتن خود در تمام طول فریم نیستند بنابراین باید دوباره سنکرون شوند.

دوباره سنکرون سازی هر بار که حالت باس از نهفته به برجسته تغییر پیدا می کند رخ میدهد. اگر یک رشته از ۰ یا ۱ وجود داشته باشد آنگاه شاخه های CAN از انتقال ساخته شده توسط stuff bit برای دوباره سنکرون سازی کلاک هایشان استفاده می کنند.[1]

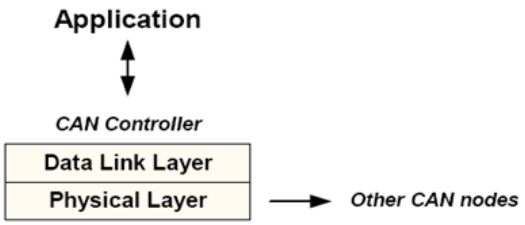
۳. مدل مرجع OSI

این مدل مشخص می کند که چطور پیغام از نقطه ای به نقطه دیگر فرستاده شود. این مدل به ۷ لایه تقسیم شده است. هر لایه تابعی جداگانه در این مدل است.لایه های بالاتر بیشتر کاربرد نرم افزاری دارند و لایه های پایینی با ترافیک واقعی بیت سروکار دارند. در هنگام کار شبکه یک پیغام ۷ لایه را یک به یک طی میکند از لایه ۷ شروع ودر لایه ۱ پایان می یابد و در هنگام دریافت پیغام حرکت پیغام در این مدل برعکس خواهد بود.



شکل ۷: لایه های مدل مرجع OSI

همه شبکه ها از تمام این ۷ لایه استفاده نمی کنند. شبکه CAN چون فقط برای انتقال فرمان در شبکه (مثل پیغام های ساده برای شرایط راه انداز یا نمایش مقادیر دما و فشار) استفاده می شود ، نیازی به ابزاری برای امنیت شبکه ندارد ، به همین خاطر در این شبکه از ۲ لایه فیزیکی و لایه پیوند داده ها استفاده می شود .[1,6].



شکل ۸: شبکه کن فقط از دو لایه ی مدل مرجع استفاده می کند

لایه ی فیزیکی

این لایه اتصالات بین شاخه های مختلف در شبکه و انتقال واقعی سیگنال الکتریکی در طول یک سیم مسی یا کواکسیال یا فیبر نوری یا بدون سیم را کنترل می کند. لایه فیزیکی اطلاعات انتقال داده شده از لایه پیوند داده ها را تفسیر کرده و به سیگنال های الکترونیکی تبدیل می کند.[1]

لایه پیوند داده ها

این لایه اقدام به ساختن فریم اطلاعات برای کنترل و نگه داشتن اطلاعات می کند. این اطلاعات کنترلی برای شناسایی فریم ها ، تعیین دسترسی به باس و آشکار سازی خطا استفاده می شود. قسمتی از این اطلاعات کنترلی برای عدم ایجاد تداخل در شبکه هنگامی که چند پیغام در یک زمان ثابت در یک قسمت از شبکه فرستاده خواهند شد استفاده می شود. تابعی که منجر به این کار می شود کنترل دسترسی متوسط باس نام دارد. این پروتکل نقشی مفید در عدم تداخل در شبکه خواهد داشت و فریم های اطلاعات را بر حسب اولویت به باس میرساند. بخشی دیگر از این اطلاعات کنترلی برای گزارش خرابی های پیغام در طول مسیر است.[1]

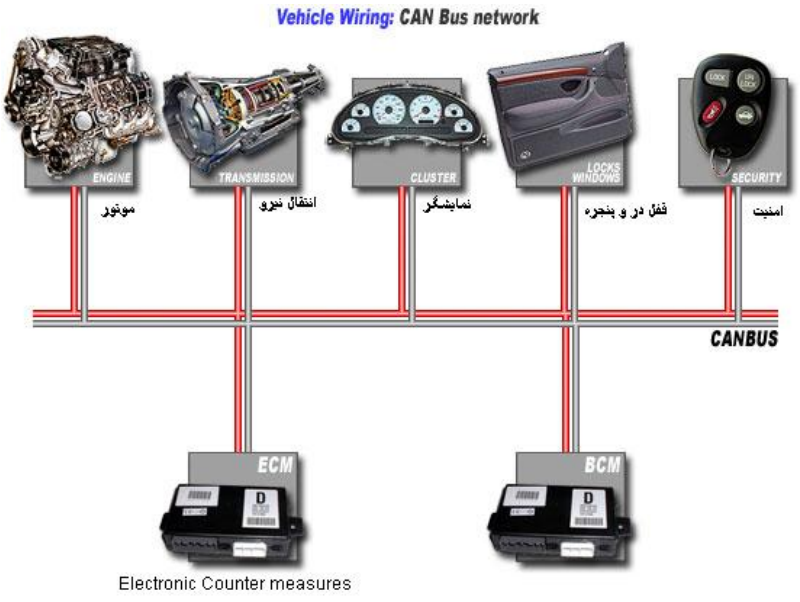
۴. کاربرد CAN در خودروها

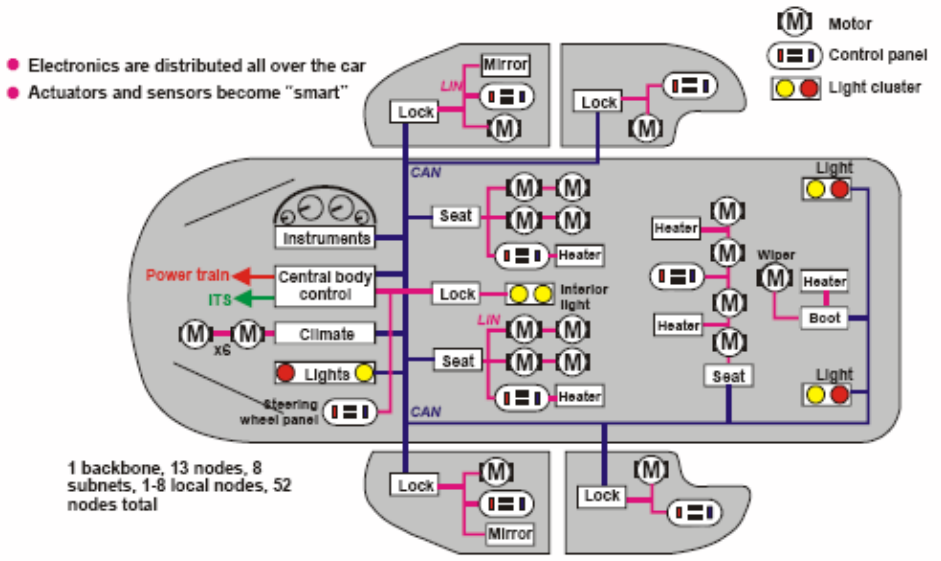
به کار بردن سیستم کن باس در اتومبیل علاوه بر کاهش هزینه ها در ساختمان اتومبیل باعث افزایش انعطاف پذیری در افزودن سیستمها و تجهیزات پیشرفته و تسهیل در نصب آنها می شود. همچنین کار برای سازندگان ساده تر شده و باعث کاهش سیم کشی ها و حذف سیم کشی های زائد شده است.[5]

از کاربرد های دیگر این شبکه در وسایل نقلیه می توان به موارد زیر اشاره کرد:

کن باس با سرعت بالا می تواند در مدیریت موتور و کنترل ترمز، کنترلرهای شبکه ای برای تنظیم زمان موتور، انتقال، شاسی (با نرخ دیتا حدود 200kbit/s تا 1Mbit/s) کاربرد داشته باشد.

همچنین کن باس با سرعت کم می تواند در کنترل در و پنجره ها و اجزای شبکه، دستگاههای الکترونیکی شاسی و دستگاههای الکترونیکی که راحتی خودرو را بیشتر می کند، مانند کنترل نور، تهویه هوا، قفل مرکزی، تنظیم صندلی وآینه کاربرد داشته باشد.کاربردهای بسیار دیگری نیز امکانپذیر است.[2]





شکل ۹: اتصال بخشهای مختلف خودرو توسط شبکه ی کن باس

۵. اصول تبادل داده ها در CAN

به طور کلی نحوه انتقال اطلاعات در شبکه های مختلف به سه صورت زیر است:

- Point to point : در این روش اطلاعات مشخص از ایستگاه فرستنده به ایستگاه گیرنده می رسد و در کل اطلاعات مورد نظر دارای یک گیرنده مشخص است.
- Broad Cast : در این سیستم اطلاعات روی شبکه فرستاده می شود و هر ایستگاه بر حسب نیاز خودش به اطلاعات منتشر شده از آنها استفاده می کند.
- Multi Point : این روش با روش بالا کمی شبیه به هم می باشد با این تفاوت که در روش بالا شما اطلاعات را که از یک ایستگاه دریافت و منتشر می کنید در سرتاسر شبکه پخش می شود، اما در روش سوم اطلاعات به چند ایستگاه مشخص فرستاده می شود.

در اغلب پروتکلهای باس روند ارسال اطلاعات بر اساس Point to point یعنی با ارسال آدرس ایستگاه گیرنده می باشد. هر ایستگاه Slave[۱۲] برای خود یک آدرس منحصر به فرد یاID دارد. با ارسال اطلاعات از Master که حاوی یک آدرس نیز هست،فقط ایستگاه مورد نظر اطلاعات را دریافت می کند. به این ترتیب در اغلب سیستمهایی که به این روش عمل می کنند تنها یک گیرنده وجود دارد.

در پروتکل CAN ارسال اطلاعات بر اساس آدرس نبوده و از روش Broad Cast استفاده می شود. تمام ایستگاهها اطلاعات را دریافت کرده و با توجه به نوع و محتوای آن در مورد پذیرش یا رد آن تصمیم گیری

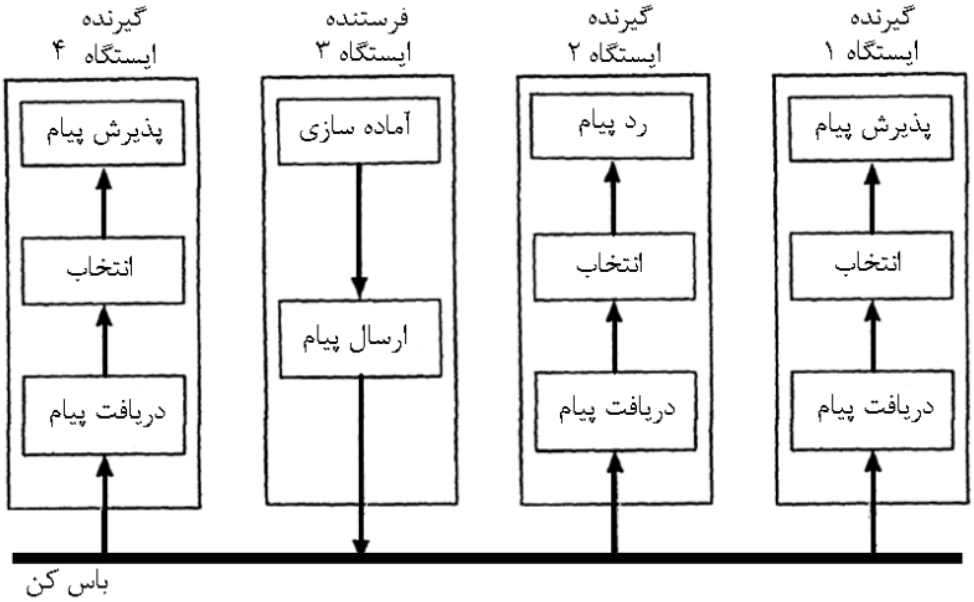
[۱۲] در یک سیستم کنترلی یک Server یا Master ورودی ها را می خواند و روی خروجی می نویسد, از دستگاهها ی دیگر اطلاعات را درخواست می کند . از طرف دیگر یک Slave یا Client اطلاعات را برای سیستم فراهم می کند و معمولا" وقتی با او صحبت می شود پاسخ می دهد.

می کنند. در واقع بجای آدرس‌دهی، محتوای پیام ارسالی (مثلاً دمای موتور و یا فرمان روشن شدن چراغ راهنما) به همراه اولویت آن، توسط شناسه‌ای اختصاصی در شبکه مشخص می‌شود. مثلا اگر اطلا عات ارسال شده حاوی سرعت یا دمای موتور باشد همه ی ایستگاهها آن را دریافت کرده و با توجه به محتوای اطلاعات، هر ایستگاهی که آن اطلاعات برایش دارای اهمیت باشد آن را پذیرش کرده و از آنها استفاده می کند، بقیه ی ایستگاهها اطلاعات را رد می کنند. بدین ترتیب امکان داشتن چند گیرنده وجود دارد.[1]

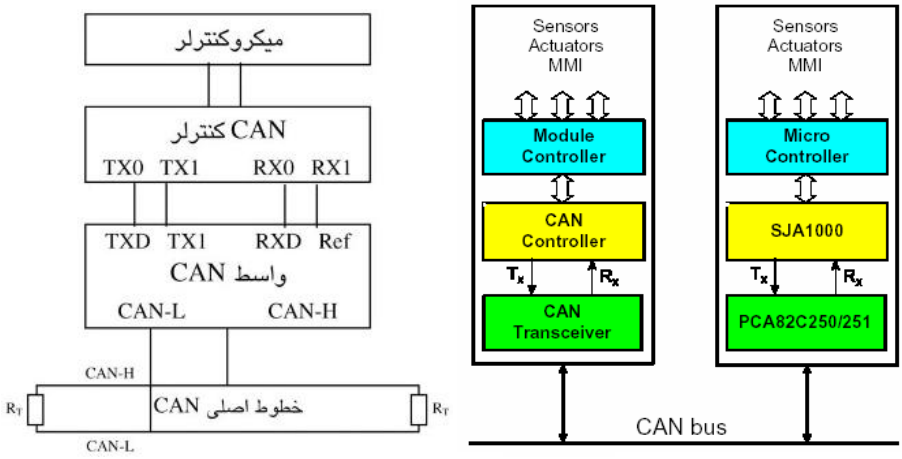
مراحل تبادل داده ها

ارسال یک پیغام از هر ایستگاه به باس و دریافت آن توسط ایستگاههای دیگر دارای چند مرحله است:

- Make ready: آماده سازی و ارسال دیتا و شناسه ها به چیپ CAN
- Send Message: بازسازی و ارسال پیغام توسط چیپ CAN به محض دریافت تخصیص باس
- Receive Message: تمام ایستگاههای دیگر به عنوان گیرنده پیغام خواهند بود.
- Select: انتخاب، هر ایستگاهی که به درستی پیغام را دریافت کرده است بررسی می کند که آیا دیتای دریافتی مربوط به ان ایستگاه است؟
- Accept: در صورت دارای اهمیت بودن دیتا برای ایستگاه پردازش می شود.[1]



شکل ۱۰: ارسال اطلاعات و پذیزش یا رد توسط ایستگاهها



شکل11 : برقراری ارتباط CAN مطابق استاندارد ISO ۱۱۸۹۸

مزایای این نوع تبادل داده

نوع تبادل داده استفاده شده در شبکه ی CAN دارای مزایای زیادی نسبت به دیگر شبکه های مبتنی بر باس است ، از جمله می توان به انعطاف پذیری زیاد سیستم و ساختار به دلیل آدرس دهی بر اساس محتوا و امکان اضافه کردن راحت ایستگاهها به شبکه بدون اصلاحات سخت افزاری یا نرم افزاری اشاره کرد.

همچنین در این سیستم می توان به راحتی اجزای الکترونیکی مدولار را اضافه کرد. امکان داشتن چند گیرنده[۱۳] و امکان ارسال اندازه گیریها با شبکه و در نتیجه عدم نیاز به سنسور مجزا برای هر کنترلر از دیگر مزایای آن به شمار می رود.[1]

۶. فریمهای فرمت CAN

فریم یک بسته اطلاعاتی شامل یک پیغام کامل از انتقال دهنده میباشد. CAN دارای ۴ نوع فریم می باشد:

- **فریم داده**: یک پیغام استاندارد که برای انتقال اطلاعات درشبکه ازآن استفاده می شود.
- **فریم راه دور**: یک پیغام با درخواست یک دریافت کننده ، اطلاعات از شاخه دیگر با فاصله فرستاده خواهد داشت.
- **فریم خطا**: در مواقع از بین رفتن فریم یک پیغام فرستاده می شود و این خطا در فریم به فرستنده اطلاع می دهد تا دوباره پیغام فرستاده شود.
- **فریم بار زیاد**: این فریم شبیه به فریم خطاست . در هنگام زیاد شدن بار شبکه و بوجود آمدن خطا این فریم توسط گیرنده به فرستنده فرستاده خواهد شد تا پیغام بعدی با تاخیر فرستاده شود.[2]

[13] broad cast, multi cast

بدلیل اهمیت فریم داده در اینجا تنها به توضیح این فریم می پردازیم. همانطور که گفته شد این فریم برای انتقال اطلاعات به کار می رود:

فریم داده

کن باس ارسال و دریافت اطلاعات را با فیلد آغازین و فیلد پایانی در ابتدا و انتهای هر فریم کنترل می کند. سیستم کن از مبادله ی باینری به صورت سریال استفاده می کند.اطلاعات در فریمهای داده از فرستنده به گیرنده ارسال می شود.

فریم داده دارای دو فرمت اصلی برای ارسال پیغام است:

۱- **فرمت استاندارد**(2.0 A) که طول شناسه ی آن(کد شناسایی) ۱۱ بیت است، بنابر این طول فیلد داوری۱۲ بیت است.

۲- **فرمت طولانی**[۱۴](2.0 B) که طول شناسه ی آن 29 بیت است، بنابر این طول فیلد داوری32 بیت است.

در حالت استاندارد هر فریم داده از هفت فیلد اصلی تشکیل شده است:

۱- فیلد آغاز: یک بیت برجسته مجرد ابتدای فریم اطلاعات را علامت گذاری می کند و همه دریافت کننده ها از این بیت برای سنکرون کردن کلاک هایشان استفاده می کنند.

۲- فیلد داوری[۱۵]: این فیلد شامل کدشناسایی و بیت درخواست‌انتقال از راه دور(RTR[۱۶]) است و به صورت دو منظوره کاربرد دارد، در تعیین دسترسی شاخه ها به باس، و دیگر در شناختن نوع اطلاعات پیغام استفاده میشود.

۳- فیلد کنترل: شامل بیت توسعه شناسه(IDE[۱۷]) یک بیت رزرو(r0) و کد طول اطلاعات(DLC[۱۸]) میباشد.

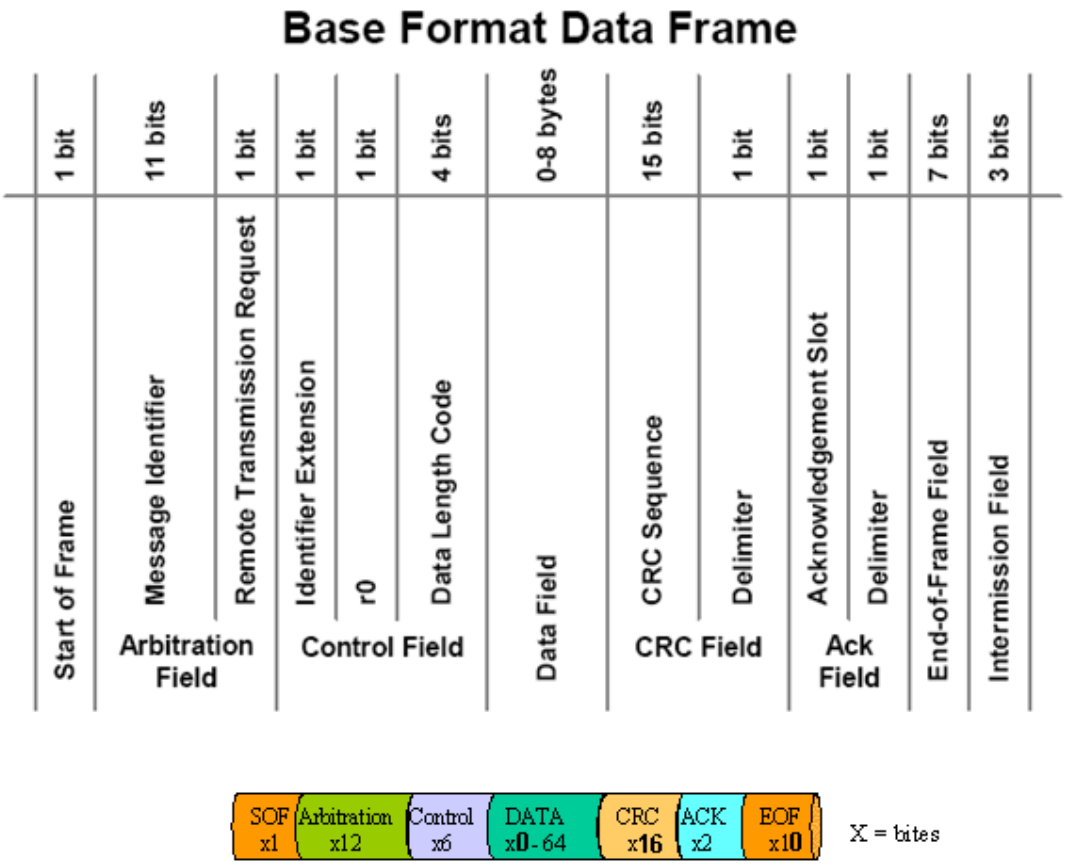
۴- فیلد داده: شامل حداکثر ۸ بایت می باشد و مهمترین بیت را اول انتقال می‌دهد، این فیلد تنها فیلدی است که دارای طول ثابتی نیست.

۵- فیلد کد چرخشی(CRC)[۱۹]: این فیلد ۱۵ بیت طول دارد. دریافت کننده با استفاده از این مقادیر در این فیلد قادر خواهد بود تا اگرتوالی بیت اطلاعات در بین راه از بین رود بتواند خطا را آشکار کند.

[14] Extended
[15] Arbitration field
[16] Remote Transmission Request
[17] Identifier Extension
[18] Data length Code
[19] Cyclic Redundancy Code

۶- فیلد تصدیق(ACK) [۲۰]: این فیلد ۲ بیت طول دارد و شامل بیت مقطعی [۲۱] و نیز بیت حایل [۲۲] تصدیق می باشد.شاخه ای که فریم اطلاعات را انتقال می دهد این ۲ بیت را بصورت نهفته می فرستد و فرستنده انتظار می کشد تا حداقل یک گیرنده دریافت پیغام ارسال شده را تصدیق کند.

۷- فیلد پایان: هر فریم اطلاعات با یک هفت "بیت انتهای فیلد فریم" و یک ۳ بیت "فیلد تنفس" پایان می یابد. که فیلد انتهای فریم برای علامت گذاری فریم های انتقال یافته و بدون خطا بصورت نهفته ارسال می‌شود و فیلد **تنفس** حداقل فضای بین اطلاعات فریم از راه دور را بیان می‌کند و هر۳ بیت آن به صورت نهفته ارسال می‌شود.[1]

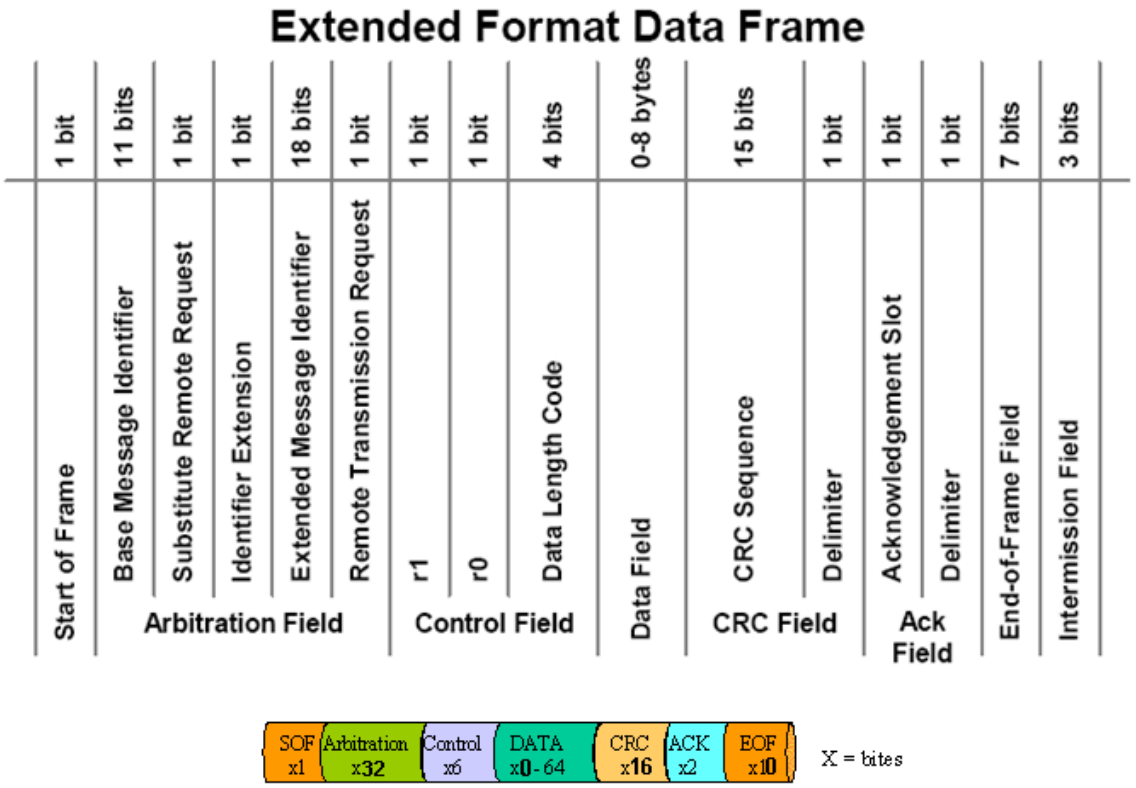


شکل 12: حالت استاندارد فریم ارسال

[20] Acknowledgement field
[21] Slot Bit
[22] delimiter

در این پیام، ابتدا بیت‌های Arbitration یا همان فیلد داوری ارسال می‌شوند. این بیت‌ها شامل بخش شناسه ID(کد شناسایی) و بیت RTR هستند. در صورتی که بیت RTR صفر منطقی باشد، معرف فریم داده‌ها و در صورتی که یک منطقی باشد، معرف درخواست فریم داده است.

حالت طولانی ارسال اطلاعات نیز شامل همان هفت فیلد اصلی است با این تفاوت که کد شناسایی در فیلد داوری دارای طولهای متفاوتی هستند. در فرمت طولانی کد شناسایی دارای ۲۹ بیت است که ۱۱ بیت پایه و ۱۸ بیت افزوده شده می باشد، بنابر این طول فیلد داوری در این فرمت به ۳۲ بیت می رسد.



شکل ۱۳: حالت طولانی یا گسترش یافته فریم داده

کنترلرهایی که از فرمت طولانی استفاده می کنند می توانند از فرمت استاندارد نیز استفاده کنند. پیغامهای استاندارد نسبت به پیغامهای طولانی دارای اولویت بیشتری می باشند. در فرمت طولانی نیز فیلد داده ممکن است بین ۰ تا ۸ بایت طول داشته باشد.[1,2]

۷. کارایی تخصیص باس

در توپولوژی باس در هر لحظه فقط یکی از ایستگاهها می تواند به باس دسترسی داشته باشد.برای اختصاص باس به هر کدام از ایستگاهها به منظور اینکه آن ایستگاه اطلاعاتی را به شبکه ارسال کند،دو روش وجود دارد:

۱- تخصیص با برنامه زمانی ثابت: در فواصل زمانی از پیش تعیین شده باس به ترتیب به هر کدام از ایستگاهها اختصاص داده می شود.

۲- تخصیص بر حسب نیاز: هر ایستگاه که نیاز به ارسال اطلاعات دارد در خواستی صدور می کند و در صورت در اولویت قرار گرفتن درخواست ، باس به آن ایستگاه اختصاص می یابد.

در صورتی که چند ایستگاه با هم بخواهند پیغامی را ارسال کنند با توجه به اینکه ضرورت تبادل پیغامها در شبکه متفاوت است ،کمیتها با تغییرات سریع (مانند بار موتور) نسبت به کمیتهای آهسته (مانند دمای موتور) دارای اولویت بیشتر ارسال می باشند. به این صورت که هر پیغام از نظر اهمیت و اولویت دارای یک شناسه منحصر به فرد است که در زمان رقابت ایستگاهها شناسه با عدد باینری کوچکتر دارای اولویت بیشتر است.

۸. شناسایی خطا

شبکه CAN یکی از معتبرترین روش‌های تبادل اطلاعات بوده و یکی از مزایای آن، تشخیص و تصحیح خطا و قابلیت اطمینان بالاست پروتکل کن باس دارای پنج مکانیزم برای شناسایی خطا می باشد که سه تای آن در سطح فریم و دو تا در سطح بیت می باشد.

مکانیزم های مورد استفاده برای آشکارسازی خطا

چک کردن بیت: مربوط به زمانی است که خطایی در حالت بیت رخ می دهد. مثلا اگر حالت بیت نهفته را برجسته بفرستد یا برعکس و دارای سه حالات است:

۱- Cyclic Redundancy Check: چک افزونگی دوره ای یعنی محاسبه ی دوباره ی بیتهای گرفته شده در گیرنده و مقایسه ی آن با بیتهای دریافتی که در پیدا کردن خطا در شبکه با استفاده از این معادله بسیار موثر خواهد بود.

$$a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \ldots + a_2 x^2 + a_1 x^1 + a_0 x^0$$

Here a is the coefficient and x represents the variable.

شاخه فرستنده این معادله را برای ارسال هر پیغام محاسبه کرده و نتیجه ان را در انتهای فریم قرار میدهد و شاخه گیرنده نیز این معادله را حساب کرده و اگر جواب ان با جواب شاخه فرستنده یکی نبود پیغام خطایی برای فرستنده ارسال می کند.

۲- Frame check: چک فریم یعنی مقایسه ی فیلدهای بیت با فرمت ثابت.

۳- ACK[۲۳] errors: چک تصدیق خطا یعنی عدم دریافت تصدیق توسط فرستنده هر شاخه که پیغامی را می فرستد منتظر می ماند تا از رسیدن ان اطمینان حاصل کند اگر این شناسه را در یافت نکرد ان زمان پیغام خطایی را می دهد.

چک کردن فریم: همیشه شروع فریم به صورت برجسته میباشد و اگر این حالت تغییر یافت ان وقت نیز یک خطا شناخته می شود.دارای دو حالت است:

۱- Monitoring: مانیتورینگ یعنی مقایسه بیت ارسالی با بیت دریافتی.

۲- Bit Stuffing: یعنی قرار دادن بیت با مقدار مکمل بعد از پنج بیت مساوی: اگر یک شاخه بیش از ۵ بیت شناسه را در یک ردیف دید آن زمان یک پیغام خطا را برای فرستنده می فرستد.

با استفاده از روش‌های فوق، میزان خطای تشخیص داده نشده در ارسال به کمتر از نرخ ارسال خطا ضربدر $4.7*10^{-11}$ کاهش می‌یابد و خطای احتمالی ایجاد شده در پیام، شناسایی شده و تصحیحات لازم صورت می‌گیرد.[1,10]

۹. پیاده سازی پروتکل CAN

پیاده سازی شبکه کن باس به سه طریق ممکن است:

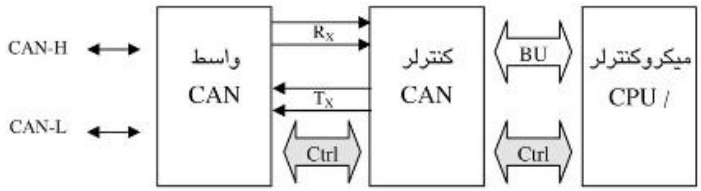
- کنترلر CAN با بافر واسطه: در این روش یک بافر فرستنده و دو بافر گیرنده مورد استفاده قرار می گیرند. از مزایای آن می توان به هزینه ساخت کم و فضای کوچک چیپ اشاره کرد. این روش تمام موارد ورودی در شبکه CAN را می پذیرد.
- کنترلر CAN با حافظه خارجی: دارای سه بخش، شناسایی کننده، کد طول دیتا، دیتای مفید اصلی می باشد. ولی فضای چیپ آن بزرگتر بوده و هزینه آن بالاست. همچنین توانایی اداره تعداد محدودی چیپ را دارد.
- کنترلرهای برده CAN برای عملیات ورودی و خروجی که با Master اداره می شوند.

روش برقراری ارتباط بین قطعات برقی در سیستم CAN

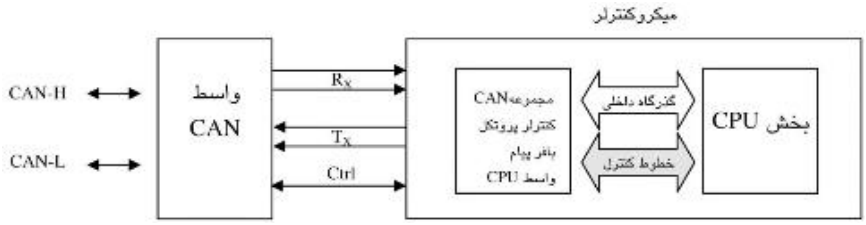
برقراری ارتباط به شکل CAN به دو فرم کلی انجام می‌شود. در یکی از این دو حالت، از مدارها و تراشه‌های مخصوص این‌گونه ارتباط که به صورت مجزا ساخته شده‌اند، استفاده می‌شود (شکل۱۴) و ارتباط از طریق اتصال این قطعات به میکروکنترلر و برنامه‌نویسی تراشه‌ها صورت می‌پذیرد. روش دوم، استفاده از میکروکنترلرهایی است که قابلیت‌های فوق، درون آنها تعبیه شده است (شکل۱۵). هر کدام از این روش‌ها

[23] Acknowledgement

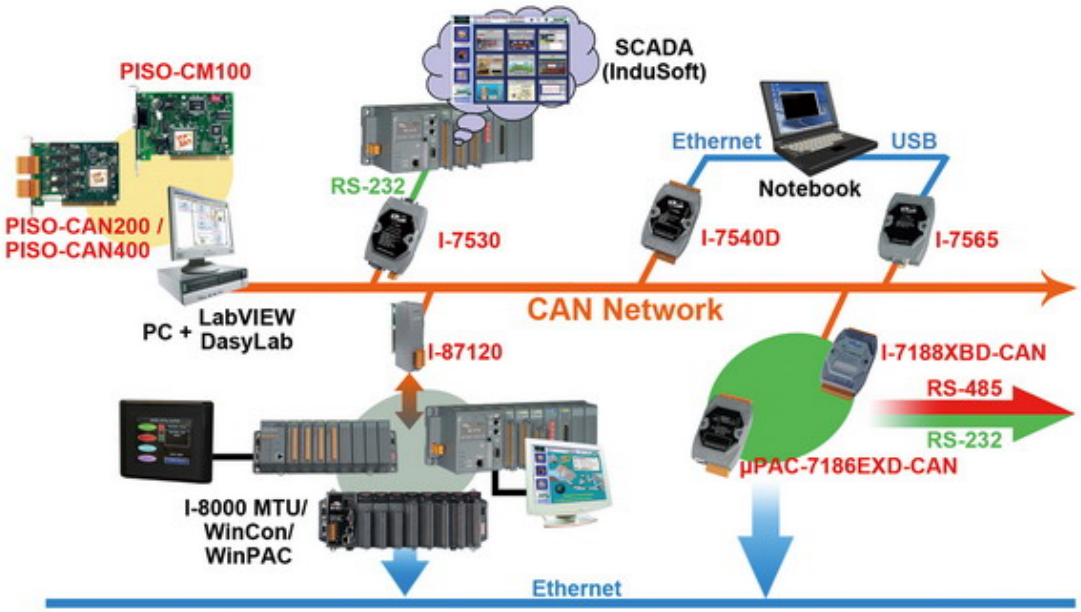
مزایایی دارند. مثلاً در روش اول، در صورت تغییر نوع CPU به تعویض مدارات جانبی نیازی نیست در حالی که در روش دوم، فضای مورد نیاز کمتر بوده و قیمت مجموعه ارزان‌تر است. همچنین، به دلیل اینکه خواندن و نوشتن اطلاعات از طریق خطوط داخلی انجام می‌شود، این روش برای کاربردهای با سرعت زیاد مناسب است.[1]



شکل ۱۴: کنترلر CAN از نوع ALONE –STAND



شکل ۱۵: کنترلر CAN از نوع یکپارچه



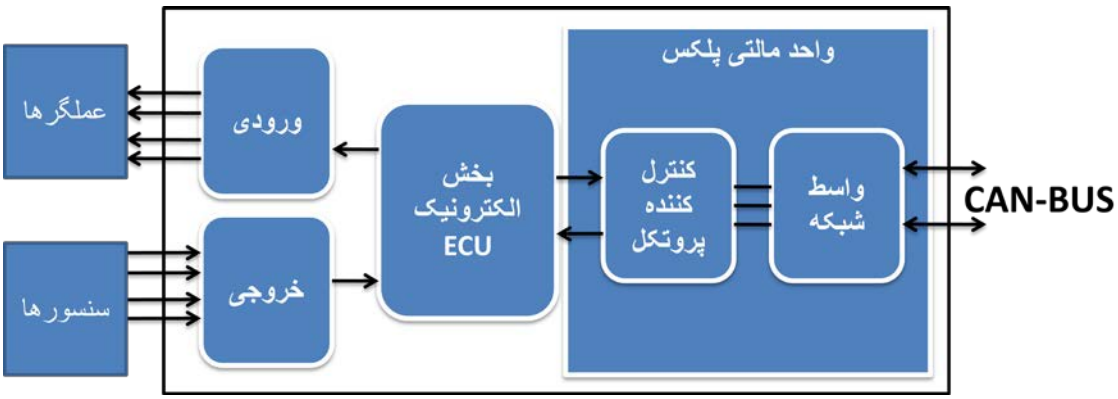
شکل۱۶: ارتباط شبکه کن با دیگر پروتکل های ارتباطی مانند RS 232,RS 485,USBو شبکه ی Ethernet یا رابط واسطه

۱۰. واحد کنترل الکترونیکی(ECU[۲۴])

ECU مخفف Electronic Control Unit و یا واحد کنترل الکترونیک می باشد و نقش هدایت و کنترل یک خودروی انژکتوری را بر عهده دارد. همانطور که می دانید خودروهای انژکتوری به دلیل عملکرد بهتر و توانایی پاس کردن استانداردهای آلودگی بطور کامل در تمام دنیا جایگزین خودروهای کاربراتوری شده اند و مغز این سیستم ECU میباشد.

ECU با توجه به سنسورهایی که به موتور متصل است وضعیت و شرایط خودرو را تحلیل کرده و پاسخهای لازم را از طریق باس به خروجیها که عبارتند از: انژکتور، جرقه زنها، و... اعمال می کند.

سنسورهای کیت های انژکتوری مختلف هستندکه هر چه تعداد آنها بیشتر باشد ECU بهتر می تواند شرایط موتور را درک کند. لازم به ذکر است، سنسورهای مهم خودروهای انژکتوری عبارتند از: سنسور دور یاPRM ، سنسور فشار داخل، سنسور دریچه گاز یا TPS ، سنسور دمای آب یا CTS ، سنسور دمای هوا یا ATS ، سنسور اکسیژن یا لامبدا، سنسور ضربه و... [7,9,10]



شکل ۱۷: یک واحد کنترل الکترونیکی برای ارتباط سنسور با شبکه

شکل ۱۸: شکل۱۹ –یک نمونه ماژول کنترلر CAN

[۲۴] Electronic Control Unit

۱۱. استفاده از Chip های مجتمع

قدم بعدی در کاهش هزینه برای محصولات بزرگ ترکیب یک شبکه با یک پردازنده یا برخی دستگاههای جانبی مانند بردهای کامپیوتری است. شرکتهای Motorola و Netsilicon پیشنهاد دادند که میکرو پردازنده ها با Ethernet و CAN ترکیب شوند. امروزه شرکتهای زیادی اقدام به تولید چیپهای CAN کرده اند.برخی از آنها بدین شرح است:[6,3]

Analog Devices, Inc. {Mixed-Signal-DSPs (ADSP-21992) with 160MIPS and On-Chip CAN V2.0b}
Atmel Corp. {8-bit RISC transceivers and microcontrollers. CAN bus standard (2.0A & 2.0B) with 80C51 core and AVR core}
Bosch {IP Modules; CAN Core, C_CAN, D_Can, TTCAN}
Cast {CAN Core, Bus Controller ICs}
Dallas Semiconductor 'Maxim' {DS80C390 Dual CAN High-Speed Microprocessor, bus controller ICs}
freescale {33389/33388 low speed fault tolerant CANBus transceiver}
Infineon {82C900 Stand-alone TwinCan Controller-TLE6250 CAN Transceiver IC Manufacturer}
Inicore Inc. {CAN IP Core IC Manufacturer}
Intel, Intel App Notes {CanBus Interface 82527 IC}
Linear Technology {CAN Transceiver IC Manufacturer}
Maxim Integrated Products {DS80C390 Dual CAN High-Speed Microprocessor, bus controller IC}
Melexis {CAN Bus Transceiver IC Manufacturer}
Microchip {MCP2510 Stand-alone CanBus Controller IC}
National Semiconductor {uP with CANBus Interface}
NXP {8/16-bit CAN Bus 2.0 Controllers/Transceiver}
OKI {CAN Controller}
Renesas Technology Corp {Micro-Controller [uC] with CAN / LIN Interface}
STMicroelectronics {uP with CAN Interface}
Xilinx {CAN IP Core, Spartan, Virtex}
Yamar Electronics {DC-BUS for digital communication overcome hostile in-vehicle power line communication environment. Power line Communication multiplex semiconductor transceivers for automotive and industrial CAN, LIN networks.}
TI {TMS320F241 with CANbus Interface-3.3v Line Transceiver ICs}

از جمله میکروکنترلرهایی که از این پروتکل صنعتی پشتیبانی می کنند می توان به آی سی های زیر اشاره کرد:

- میکروکنترلرهای 8051 :

AT89c51cc01 , AT89c51cc02 , AT 89c51cc03

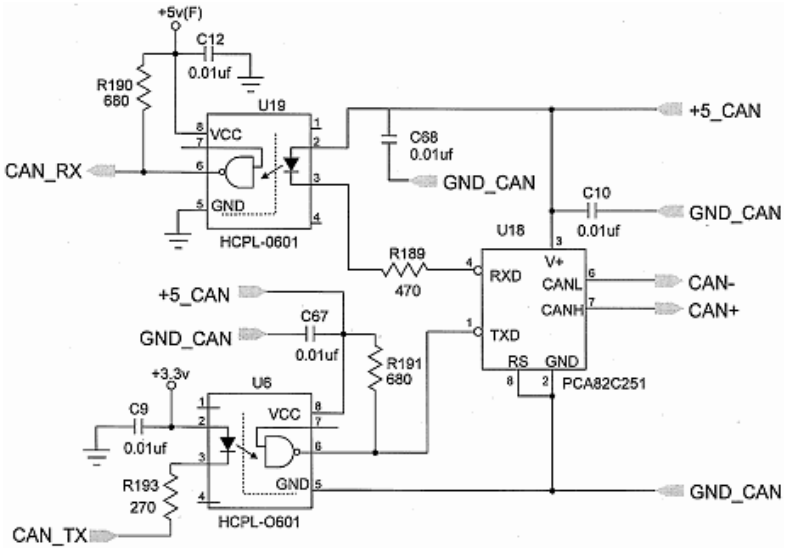
- میکروکنترلرهای AVR :

AT90CAN128 , AT90CAN64 , AT90CAN32

- میکروکنترلرهای PIC :

PIC18F458

اجزا فعال در شبکه باید از اختلالات الکتریکی جدا شوند هر ایستگاهی در شبکه به ولتاژ ایزوله نیاز دارد که معمولا" از ایزولاتورها و ترانسفرماتورها استفاده می کنند. هدف اجتناب از جریانات تولید شده توسط اختلاف پتانسیل است . میزان ولتاژ بالا مستلزم اجزا بزرگتر با فاصله های بیشتر بین عناصر است. مدار نشان داده شده در شکل زیر جهت بافر کردن (ضربه گیر) یک کنترل کننده CAN بکار می رود.[6]



شکل ۱۹: یک مدار سطحی ضرب گیر CAN است . شامل از چپ به راست : اتصالات گیرنده و فرستنده به کابل شبکه , ایزوله کننده های نوری که مدارات را از پیکهای ولتاژ حفظ می کنند, یک تقویت کننده سطح جریان و در آخر اتصالات به کنترل کننده CAN.

۱۲.سازمانهای استاندارد سازی کن باس

CiA {CAN In Automation - International Users and Manufactures Group}
ISO {International Organization for Standardization}

استانداردهای CAN

در اینجا چندین استاندارد CAN در سطح لایه ی فیزیکی آمده است :

- ISO 11898-1: CAN Data Link Layer and Physical Signalling
- ISO 11898-2: CAN High-Speed Medium Access Unit
- ISO 11898-3: CAN Low-Speed, Fault-Tolerant, Medium-Dependent Interface
- ISO 11898-4: CAN Time-Triggered Communication
- ISO 11898-5: CAN High-Speed Medium Access Unit with Low-Power Mode
- ISO 11992-1: CAN fault-tolerant for truck/trailer communication

- **ISO 11783-2**: 250 kbit/s, Agricultural Standard
- **SAE J1939-11**: 250 kbit/s, Shielded Twisted Pair (STP)
- **SAE J1939-15**: 250 kbit/s, UnShielded Twisted Pair (UTP) (reduced layer)
- **SAE J2411**: Single-wire CAN (SWC)

ISO 11898-2 uses a two-wire balanced signaling scheme. It is the most used physical layer in car powertrain applications and industrial control networks.
ISO 11898-4 standard defines the time-triggered communication on CAN (TTCAN). It is based on the CAN data link layer protocol providing a system clock for the scheduling of messages.
SAE J1939 standard uses a two-wire twisted pair, -11 has a shield around the pair while -15 does not. SAE 1939 is widely used in agricultural & construction equipment.
ISO 11783-2 uses four unshielded twisted wires; two for CAN and two for terminating bias circuit (TBC) power and ground. This bus is used on agricultural tractors. This bus is intended to provide interconnectivity with any implementation adhering to the standard.[2,3]

نتیجه‌گیری

با توجه به مزایایی همچون ارزانی، سهولت استفاده، سرعت بالا، قابلیت اطمینان و کار در شرایط مختلف و بلادرنگ۲۵ بودن، روند عمومی در طراحی سیستم‌های برقی خودروهای جدید به سمت استفاده از این گونه سیستم‌هاست، امروزه، این شبکه‌ها علاوه‌بر صنعت خودرو، در صنایع کنترلی نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و کاربردهای فراوانی در اتوماسیون صنعتی و صنایع مختلف دارند.

منابع:

[1]. CAN in Automation**, www.can-cia.org**

[2]. Wikipedia, the free encyclopedia**, www.en.wikipedia.org**

[3]**. www.interfacebus.com**

[4]. محمدرضا ماهر، احمد حیدریان، **تکنولوژی فیلد باس و کاربردهای آن**،۱۳۸۸

[5]. محمدرضا نقاش زاده، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، **آشنایی با پروتکل ارتباطی CAN و کاربرد آن در خودرو**

[6]. حسام الدین فتاحیان، مسئول انفورماتیک اداره کل آموزش فنی وحرفه ای همدان، **اتوماسیون صنعتی و شبکه های ارتباطی**

[7]. محمدرضا احدیت، حسین دهقان، دانشگاه آزاد واحد یزد، گروه برق ، **بررسی ومقایسه دو پروتکل گذرگاه VAN و گذرگاه CAN در سیستم فرمان الکتریکی خودروهای تولید داخل**

[8]. دانستنیهای آموزشی سایپا یدک

[9]. سایت خودرو و بررسی خودرو، **www.car.mihanblog.com**

[10]. صنعت خودرو، **www.sanatekhodro.com**