

پیاده سازی پروتکل های DNP3.0 و IEC 60870-5-101

به صورت Slave در MasterRTU

سمیرا بختیاری نژاد - خسرو فراهانی

پژوهشگاه نیرو

ایران

sbakhtiari@nri.ac.ir, kfarahani@nri.ac.ir

واژه های کلیدی: MasterRTU، DNP3.0، IEC 60870-5-101، TMW، پروتکل، مرکز دیسپاچینگ توزیع

چکیده

MasterRTU دستگاهی است که به منظور اجرای سیستم اتوماسیون شبکه توزیع نیروی برق در پژوهشگاه نیرو طراحی و ساخته شده است. این دستگاه می تواند علاوه بر برقراری ارتباط با مرکز دیسپاچینگ توزیع، جمع آوری اطلاعات و کنترل چند پست توزیع نیروی برق دیگر را برعهده گیرد. پروتکل های IEC 60870-5-101 و DNP3.0 که پروتکل های استاندارد و رایج ارتباط RTU با مرکز کنترل می باشند، به صورت Master و Slave در MasterRTU پیاده سازی گردیده و در این پیاده سازی از سورس کدهای شرکت TMW¹ بهره گرفته شده است. این مقاله سعی بر آن دارد تا برای استفاده طراحان و سازندگان سیستم های کنترل و مانیتورینگ، ضمن معرفی مشخصات سخت افزاری و نرم افزاری MasterRTU، نتایج حاصل از پیاده سازی پروتکل های مذکور به صورت Slave را با ذکر آزمایش های عملی انجام شده ارائه نماید.

۱- مقدمه

RTU یا پایانه راه دور دستگاهی است که به منظور نظارت و کنترل پست های برق به کار برده می شود. MasterRTU پایانه راه دوری است که به منظور اجرای سیستم اتوماسیون شبکه توزیع نیروی برق در پژوهشگاه نیرو طراحی و ساخته شده است. وظیفه این دستگاه جمع آوری اطلاعات پست توزیع نیروی برق و ارسال آن به مرکز کنترل دیسپاچینگ توزیع می باشد. هم چنین این دستگاه باید در صورت نیاز فرمان های صادر شده از مرکز کنترل را در پست اجرا نموده و نتیجه آن را به مرکز کنترل گزارش نماید. MasterRTU با استفاده از حداکثر ۶۴ نقطه ورودی دیجیتال، ۳۲ نقطه خروجی دیجیتال و ۲۴ نقطه ورودی آنالوگ، می تواند بزرگ ترین پست های توزیع نیروی برق را تحت پوشش قرار دهد. این پایانه راه دور قابلیت ارتباط با مرکز کنترل از طریق پروتکل های رایج و استاندارد DNP3.0 و IEC 60870-5-101 را دارا می باشد [1] و [2]. با استفاده از قابلیت

¹ - Triangle Micro Works

۲- ساختار کلی MasterRTU

هر MasterRTU از ماژول‌های تغذیه، اصلی^۱، ورودی/خروجی دیجیتال (DIO)^۲ و ورودی آنالوگ (AI)^۳ تشکیل شده است. ورودی ماژول تغذیه ۲۴ ولت مستقیم و خروجی‌های آن، تغذیه‌های ایزوله موردنیاز ماژول‌های مختلف می‌باشد. هر MasterRTU به گونه‌ای طراحی شده که بتواند دو ماژول DIO و دو ماژول AI را پشتیبانی نماید [7]. همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، ارتباط میان ماژول‌های ورودی و خروجی و ماژول اصلی از طریق شبکه CAN با پروتکل لایه کاربرد CANopen برقرار شده است.

شبکه CAN یک شبکه Multi Master است و در آن هر یک از ماژول‌ها می‌توانند در هر لحظه اقدام به ارسال اطلاعات نمایند و در صورتی که دو یا چند ماژول همزمان اقدام به ارسال پیام نمایند، پیامی که اولویت بالاتری دارد روی شبکه قرار گرفته و منتقل خواهد شد. مدیریت شبکه CANopen برعهده ماژول اصلی گذاشته شده است. ماژول اصلی موظف است اطلاعات دریافتی از سایر ماژول‌ها را به مرکز کنترل منتقل نموده و فرمان‌های صادر شده از مرکز کنترل را روی شبکه CANopen برای ماژول موردنظر ارسال نماید.

هر ماژول DIO دارای ۳۲ کانال ورودی و ۱۶ کانال خروجی می‌باشد. بردهای آنالوگ که قابلیت پیکربندی به صورت DC و AC را دارند، هر کدام می‌توانند ۱۲ کانال ورودی را پوشش دهند.

همان‌طور که ذکر شد، برای MasterRTU امکان جمع‌آوری و کنترل چهار پست توزیع دیگر در نظر گرفته شده است. ماژول اصلی دارای پورت‌های RS 232 و RS 485 برای برقراری این ارتباط می‌باشد. در این ارتباط که در شکل (۲) نمایش داده شده است، یک MasterRTU به عنوان Master یکی از پروتکل‌های DNP3.0 یا IEC 60870-5-101 عمل نموده و از یک سو از طریق پورت Master خود به چهار MasterRTU دیگر متصل می‌گردد و از سوی دیگر با یک پورت Slave

Master شدن، امکان جمع‌آوری اطلاعات و کنترل چهار دستگاه پایانه راه دور نصب شده در چهار پست توزیع دیگر امکان‌پذیر می‌گردد و بدین ترتیب مشکل حجم بالای عملیات جمع‌آوری اطلاعات در مرکز کنترل با توجه به گسترش شبکه توزیع و به دنبال آن تعداد پست‌های توزیع تحت نظارت، رفع می‌گردد.

در پیاده‌سازی پروتکل‌های DNP3.0 و IEC 60870-5-101 از سورس کدهای ارائه شده توسط شرکت TMW استفاده شده است [3] و [4]. این سورس کدها توسط بسیاری از سازندگان دستگاه‌های پایانه راه دور به کار گرفته شده‌اند. پروتکل‌های مذکور توسط شرکت TMW به طور کامل پیاده‌سازی شده است و استفاده از سورس کدها این مزیت را خواهد داشت تا استفاده کننده بتواند به راحتی تغییرات موردنیاز در پروتکل را اعمال نماید. به عبارت دیگر کاربر می‌تواند پروتکل را به صورتی که نیاز دارد در سریع‌ترین زمان ممکن پیاده‌سازی نماید و چون سورس کد در برگیرنده پروتکل به طور کامل است امکان انجام اصلاحات و تغییرات آسان می‌گردد.

در تحقیق انجام شده در گروه پژوهشی دیسپاچینگ و تله‌متری پژوهشگاه نیرو، پس از پیاده‌سازی پروتکل‌های مذکور به صورت Master و Slave در MasterRTU، برای تعیین پاسخ زمانی عملکردهای مختلف آن و کارایی پروتکل‌های پیاده‌سازی شده، آزمون‌هایی انجام شد که نتایج حاصل از پیاده‌سازی پروتکل‌های مذکور به صورت Slave ضمن ارائه مشخصات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری MasterRTU برای استفاده طراحان و سازندگان ارائه می‌گردد [5] و [6]. چرا که طراحان برای تصمیم‌گیری میان استفاده از سورس کدهای TMW و پیاده‌سازی اختصاصی پروتکل‌ها و همچنین انتخاب سخت‌افزار مناسب با سوالات و ابهاماتی روبرو خواهند بود که شاید ارائه نتایج تحقیقات انجام شده بتواند به حل این گونه مسائل کمک نماید.

1- Main

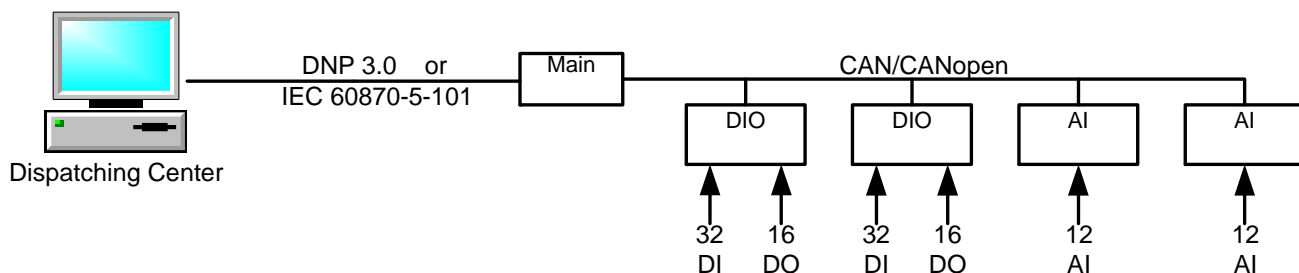
2- Digital Input Output

3- Analog Input

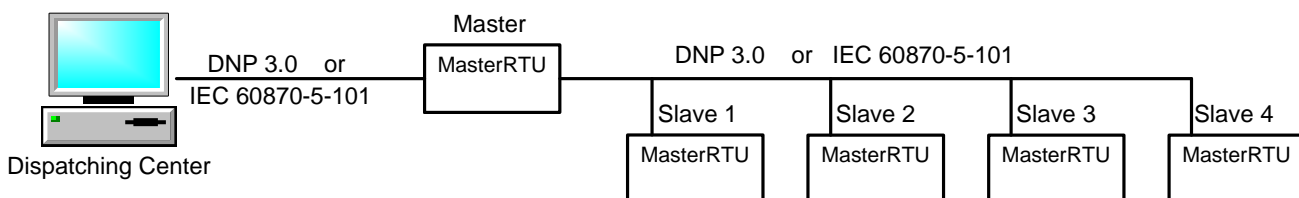
بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

بنابراین یک MasterRTU می‌تواند علاوه بر کنترل و مانیتور کردن یک پست توزیع وظیفه مانیتورینگ و کنترل چهار پست توزیع دیگر را به عهده گیرد.

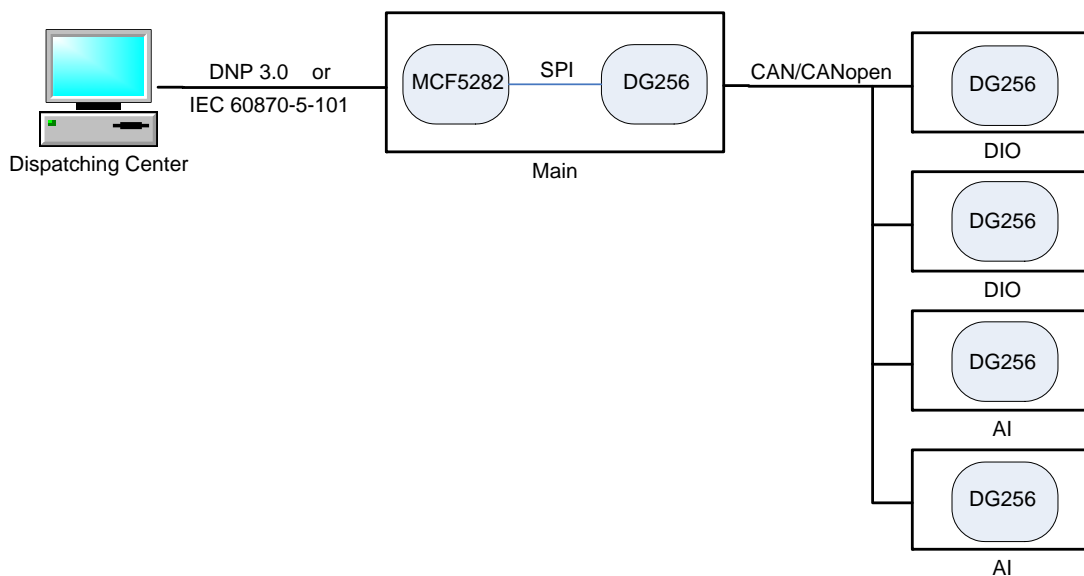
با مرکز کنترل ارتباط برقرار می‌نماید. پروتکل ارتباط با مرکز کنترل نیز می‌تواند یکی از پروتکل‌های DNP3.0 یا IEC 60870-5-101 باشد.



شکل (۱) ارتباط میان ماژول‌های MasterRTU



شکل (۲) ارتباط میان MasterRTU ها



شکل (۳) ارتباط ماژول Main با سایر ماژول‌ها در MasterRTU

ماژول‌های ورودی/خروجی و اصلی استفاده شده است. این میکروکنترلر با داشتن کنترل کننده CAN مجری پروتکل CANopen در ماژول‌های ورودی/خروجی و اصلی می‌باشد. فرکانس پالس ساعت این میکروکنترلر ۱۶ مگاهرتز انتخاب

۳- مشخصات سخت‌افزاری ماژول‌های MasterRTU
در این قسمت به معرفی مشخصات پردازنده‌های مورد استفاده در طرح MasterRTU پرداخته شده است. از میکروکنترلر ۱۶ بیتی MC9S12DG256 ساخت شرکت Freescale در ساخت

مشخص می‌گردد. بنابراین نرم‌افزار ماژول اصلی MasterRTU به زبان C استاندارد و بر پایه کرنل بلادرنگ COS-II μ طراحی و پیاده‌سازی شده است و صرف نظر از بخش‌های مربوط به پورت کرنل مستقل از سخت‌افزار است و به راحتی قابل انتقال به هر نوع سخت‌افزار دیگری می‌باشد.

این کرنل در شرکت Micrium توسط Jean. J. Labrosse طراحی شده است. این سیستم عامل به صورت یک هسته Open Source بوده و دارای قابلیت Multi Tasking می‌باشد.

۵- پیاده‌سازی پروتکل‌های DNP3.0 و IEC 60870-5-101 به صورت Slave

همان‌طور که قبلاً ذکر شد در طراحی این پایانه راه دور ۶۴ ورودی دیجیتال و ۳۲ خروجی دیجیتال و ۲۴ ورودی آنالوگ برای هر پایانه راه دور در نظر گرفته شده است و بنابراین در شبکه MasterRTU که متشکل از چهار پایانه راه دور Slave و یک Master می‌باشد، قابلیت پوشش دهی ۳۲۰ ورودی دیجیتال و ۱۶۰ خروجی دیجیتال و ۱۲۰ ورودی آنالوگ را دارد. در واقع Master، اطلاعات چهار Slave به همراه اطلاعات محلی خود را که جمعاً شامل اطلاعات پنج پایانه راه دور می‌باشد، برای مرکز کنترل SCADA ارسال می‌دارد.

ارتباط با مرکز از طریق پورت RS 232 میکرو Coldfire که متصل به یک مودم رادیویی می‌باشد صورت می‌گیرد. در این پروژه سرعت ارتباط با مرکز 9600bps در نظر گرفته شده است. دلیل انتخاب این سرعت توانایی ارسال مودم طراحی شده در پژوهشگاه نیرو توسط گروه مخابرات می‌باشد که حداکثر سرعت 9600 را پشتیبانی می‌کند.

با توجه به این که سرعت تبادل داده نسبتاً پایین است بنابراین پایانه راه دور در شرایط سخت‌تری قرار می‌گیرد و بهتر می‌توان عملکرد پایانه راه دور را در شرایط مشکل ارزیابی نمود.

در پیاده‌سازی پروتکل‌های صنعتی DNP3.0 و IEC 101 از سورس کدهای شرکت TMW بهره گرفته شده است. این سورس کدها قابل انعطاف بوده و به راحتی قابل پورت کردن

شده است و ماژول‌های MasterRTU روی شبکه CANopen با سرعت ۵۰۰ کیلو بیت بر ثانیه به تبادل داده می‌پردازند. ماژول اصلی علاوه بر یک میکروکنترلر MC9S12DG256 یا DG256 که شبکه CANopen را کنترل می‌کند از یک میکروکنترلر ۳۲ بیتی با شماره MCF5282 ساخت شرکت Freescale استفاده می‌نماید. این میکروکنترلر که از خانواده Coldfire می‌باشد وظیفه اجرای پروتکل‌های ارتباط با مرکز کنترل و همچنین ارتباط با میکروکنترلر DG256 را برعهده دارد (شکل ۳).

فرکانس کار میکروکنترلر ۳۲ بیتی MCF5282 که از طریق باس SPI با بخش CANopen و از طریق پروتکل‌های اسکادا با مرکز کنترل دیسپاچینگ در ارتباط است ۶۴ مگاهرتز و تعداد دستورات اسمبلی قابل اجرا توسط این میکروکنترلر به هنگام اجرای دستورات در حافظه Flash در حدود ۵۹ میلیون دستور در ثانیه^۱ می‌باشد. برای پیاده‌سازی نرم‌افزار از حافظه داخلی Flash میکروکنترلر که ۵۱۲ کیلو بایت است استفاده شده است. برای حافظه داده نیز یک حافظه خارجی ۱۶ مگابایتی به کار گرفته شده است.

ارتباط میان دو میکروکنترلر در ماژول اصلی از طریق باس SPI برقرار می‌شود. در این باس، MCF5282 نقش Master و DG256 نقش Slave را داراست. سرعت انتقال اطلاعات روی این باس ۴MHz می‌باشد.

بنابراین به عنوان مثال در صورت بروز یک تغییر وضعیت، پیام مربوطه به وسیله ماژول DIO روی شبکه CANopen مخابره می‌شود. ماژول اصلی پیام را دریافت کرده و از طریق باس SPI در اختیار میکروکنترلر MCF5282 قرار می‌دهد. این میکروکنترلر نیز اطلاعات دریافتی شامل تغییر وضعیت و برچسب زمانی را در اختیار مرکز کنترل قرار می‌دهد.

۴- مشخصات نرم‌افزاری MasterRTU

به دلیل داشتن فعالیت‌های Multi Tasking در عملیات پردازش نقاط مختلف پست لزوم استفاده از یک کرنل قوی

^۱ - MIPS: Mega Instruction Per Second

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

شامل فایل‌های اختصاصی هر پروتکل می‌باشند. اولین مرحله در پورت کردن سورس کد یک پروتکل مرحله کامپایل کردن فایل‌های موجود توسط نرم‌افزار کاربر و قبل از هرگونه تغییر می‌باشد.

در مرحله بعد بایستی فایل‌های پیکربندی سورس کد که توسط شرکت سازنده پیشنهاد شده‌اند جهت سازگاری با سخت‌افزار مورد استفاده تغییر داده شوند. این فایل‌ها شامل پیکربندی کلی پروتکل و تعیین نوع حافظه مورد استفاده و سایر آرایه‌های مختلف و یا نوع داده‌ها و غیره می‌باشند. روش‌های متعددی برای پیاده‌سازی پروتکل توسط این سورس کد وجود دارد. به عنوان مثال می‌توان کلیه عملیات را در یک Thread انجام داد و یا از چندین Thread استفاده کرد که به آن روش Multithread گویند. در پروژه MasterRTU روش Multithread مناسب‌تر تشخیص داده شد. برای بالا بردن عملکرد آن عملیات جمع‌آوری اطلاعات و به روز رسانی پایگاه داده مربوطه در یک Task مجزا و بررسی ورودی و خروجی‌های لایه فیزیکی در Task دیگر صورت می‌گیرد.

هم‌چنین در این سورس کد قابلیت استفاده از حافظه دینامیکی و یا استاتیکی در نظر گرفته شده است و کاربر متناسب با نیاز می‌تواند از هر یک استفاده نماید. روش‌های متفاوتی برای کنترل لایه فیزیکی از جمله روش Polling و یا Event Driven وجود دارد که با توجه به کاربرد پروتکل در سیستم مربوطه می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند.

طبق اظهارات شرکت TMW برای پیاده‌سازی کامل پروتکل توسط این سورس کد ۳ هفته زمان کافی است ولیکن با توجه به عدم امکان ارتباط مستقیم با شرکت آمریکایی TMW و عدم دسترسی به تیم پشتیبانی آن شرکت و مشکلاتی که در پیاده‌سازی وجود داشت عملاً زمان پیاده‌سازی بیشتری به خود اختصاص داد.

برای برقراری ارتباط با سورس کد بایستی ابتدا یک پایگاه داده در نرم‌افزار توسط کاربر ایجاد گردد. سپس توابع رابط که در فایل‌های مربوط به استفاده از پایگاه داده قرار دارند،

به رنج وسیعی از سخت‌افزار و نرم‌افزار می‌باشند. ساختار کلی این سورس کدها که با نام اختصاری TMW SCL¹ شناخته می‌شوند به چهار لایه تقسیم می‌شود:

۱. لایه فیزیکی^۲: این لایه مدیریت ورودی‌ها و خروجی‌ها را برعهده دارد و توسط توابعی که در فایل‌های مربوطه وجود دارند به بخش فیزیکی پروتکل به طور مستقیم دسترسی دارد و وظیفه باز و بسته کردن کانال ارتباطی، ارسال و دریافت داده در بخش فیزیکی کانال و پردازش خطاهای سطح پایین کانال را برعهده دارد.

۲. لایه لینک: این لایه عملیات سطح پایین بررسی فریم و تشخیص خطا را انجام می‌دهد و به داده‌های دریافتی از لایه انتقال، اطلاعات مشخصات فریم (هدر) و تشخیص خطا را اضافه کرده و تحویل لایه فیزیکی می‌دهد. هم‌چنین بر روی داده‌های دریافتی از لایه فیزیکی عملیات تشخیص خطا و حذف هدر انجام داده و تحویل لایه انتقال می‌دهد.

۳. لایه انتقال: این لایه پیغام‌های لایه کاربردی را به فریم‌های موردنیاز لایه لینک با طول کمتر می‌شکند و تحویل لایه لینک می‌دهد. هم‌چنین فریم‌های دریافتی از لایه لینک را سرهم کرده و پیغام‌های موردنیاز لایه کاربردی را تشکیل می‌دهد و تحویل لایه کاربردی می‌دهد.

۴. لایه کاربردی: در این لایه پیغام‌های موردنیاز تولید شده و جهت ارسال به لایه انتقال تحویل داده می‌شود. هم‌چنین پیغام‌های دریافتی از لایه انتقال را پردازش می‌کند. این لایه وظیفه تولید و پردازش درخواست‌های پروتکل را برعهده دارد.

هر یک از سورس کدهای پروتکل DNP3.0 و یا IEC 101 از دو دسته فایل تشکیل شده‌اند. یک دسته فایل‌های مشترک بین پروتکل‌ها بوده که شامل فایل‌های پیکربندی لایه فیزیکی و تنظیمات مربوط به پردازنده و ... می‌باشد. دسته دیگر فایل‌ها

¹ - Triangle Microworks Source Code Library

² - Physical Layer

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

سپس تنظیمات اولیه لایه کاربردی و فیزیکی صورت می‌گیرد و در انتها دو Task ایجاد شد که یکی وظیفه جمع‌آوری اطلاعات نقاط مختلف پست را برعهده دارد و با پریود ۳۰۰ میلی ثانیه اطلاعات دیجیتال و ۱۲۰۰ میلی ثانیه اطلاعات آنالوگ را جمع‌آوری می‌نماید و Task دیگر با پریود ۵۰ میلی ثانیه ورودی و خروجی‌های لایه فیزیکی را کنترل می‌نماید.

ارتباط با مرکز در این پایانه راه دور از طریق دو پروتکل رایج در صنعت DNP3.0 سطح ۲ و IEC 60870-5-101 امکان‌پذیر است. هم‌چنین ارتباط بین پایانه‌های راه دور نیز توسط این دو پروتکل می‌باشد. در شبکه کردن تجهیزات از آرایش‌های گوناگونی مطابق استاندارد IEC استفاده می‌شود. در شبکه MasterRTU طراحی شده در پژوهشگاه نیرو که در شکل (۲) مشاهده شد آرایش Multipoint-Party Line که یکی از انواع توپولوژی Multidrop مطابق استاندارد IEC می‌باشد استفاده شده است [8]. در توپولوژی Multidrop یک Master با چندین Slave ارتباط برقرار نموده است. معمولاً در هر لحظه گفتگو بین Master و تنها یک Slave برقرار است. Master ابتدا درخواست اطلاعات را برای اولین Slave ارسال می‌نماید پس از دریافت پاسخ، درخواست را برای دومین Slave ارسال می‌نماید و همین‌طور تا آخرین Slave و سپس مجدداً اطلاعات اولین Slave را جمع‌آوری می‌نماید. در این وضعیت هر Slave می‌تواند پیغام Master را شنود کند ولیکن تنها Slave ای قادر به پاسخ‌گویی است که آدرس پیغام، مربوط به خود آن باشد. شبکه MasterRTU از طریق یک پورت RS 232 به مودم رادیویی جهت ارتباط با مرکز کنترل متصل می‌باشد و از طریق یک پورت مشترک دیگر و ارتباط زوج سیم Hulfduplex RS 485 به چهار پایانه راه دور دیگر به عنوان Slave متصل است. باس سریال استاندارد RS 485 برای محیط‌های صنعتی در نظر گرفته شده است. به دلیل استفاده از یک زوج سیم و روش تفاضلی در ارسال و دریافت اطلاعات مصونیت بالایی نسبت به نویز دارد. هم‌چنین از جمله دیگر قابلیت‌های این باس صنعتی این است که نرخ تبادل اطلاعات نسبتاً خوبی را در مسافت‌های طولانی

متناسب با آن پیاده‌سازی شوند. این عملیات بسیار زمان‌بر بوده و بخش عمده پیاده‌سازی پروتکل را به خود اختصاص می‌دهد. در پروژه MasterRTU ساختار پایگاه داده مطابق با پیشنهاد شرکت سازنده پیاده‌سازی شده است. البته در پروتکل IEC 101 ساختار بسیار بزرگی از آرایه‌ها در نظر گرفته شده است که در صورت نیاز می‌توان با حذف آرایه‌های غیرضروری از حجم آن کاست.

کاربر به بخش‌های محدودی از سورس کد به طور مستقیم اجازه دسترسی دارد. بخش‌هایی که توسط برنامه کاربر قابل دسترسی هستند و می‌توان از آنها استفاده کرد عبارتند از:

۱. مقداردهی اولیه تایمر^۱
 ۲. تنظیمات اولیه لایه کاربردی^۲
 ۳. مدیریت لایه فیزیکی
- نحوه استفاده از هر بخش و چگونگی استفاده آنها در پروژه MasterRTU در ادامه شرح داده می‌شود.
- مقداردهی اولیه تایمر: با فرض اینکه سورس کد فقط از یک تایمر استفاده کند، مقداردهی اولیه تایمر توسط صدا زدن تابع مربوطه یک بار و قبل از اینکه هر تایمری راه‌اندازی شود در برنامه کاربر صورت می‌گیرد.
- تنظیمات اولیه لایه کاربردی: به منظور مقداردهی اولیه تنظیمات لایه کاربردی تابع مربوطه که در فایل‌های سورس کد موجود است یک بار در برنامه کاربر قبل از راه‌اندازی پروتکل صدا زده می‌شود.

مدیریت لایه فیزیکی: مدیریت لایه فیزیکی توسط توابعی از سورس کد صورت می‌گیرد که شامل روش‌هایی برای باز کردن، تغییر دادن و یا بستن کانال فیزیکی می‌باشند و در زمان مناسب در برنامه کاربر مورد استفاده قرار می‌گیرند. لازم به ذکر است که بایستی قبل از اینکه کانالی باز شود حتماً تنظیم اولیه آن انجام بگیرد.

در پروژه MasterRTU برای پیاده‌سازی پروتکل‌ها به صورت Slave در یک Task مجزا ابتدا مقداردهی تایمر انجام شد.

¹- Timer Initialization

²- Application Initialization

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

میزان ممکن کاهش یابد. در ضمن اینکه آخرین اطلاعات در کوتاه‌ترین زمان در اختیار مرکز قرار بگیرد. جهت آزمون عملکرد MasterRTU برای ارتباط با مرکز کنترل از شبیه‌ساز مرکز SCADA که توسط شرکت Triangle Microworks طراحی شده استفاده شد. ارتباط با مرکز در این پایانه راه دور از طریق دو پروتکل رایج ارتباطی DNP3.0 و IEC 60870-5-101 امکان‌پذیر است لذا عملکرد هر دو پروتکل در حالت Slave مورد ارزیابی قرار گرفت. لازم به ذکر است حجم برنامه با استفاده از Source Code استفاده شده هر پروتکل مطابق جدول (۱) است:

جدول (۱) حجم بخش‌های مختلف برنامه در هر پروتکل

	ROM Data	Source Code	User Program	Initialize Code & Library of Code Warrior	Total Code Memory	Total Data Memory
Slave 101	3k	66k	41k	48k	158k	175k
Slave DNP3.0	4k	84k	42k	48k	176k	66k

صورت می‌گیرد هم‌چنین پایش کانال ارتباطی نیز در Task مجزایی که هر ۵۰ میلی ثانیه یکبار پایش می‌شود قرار دارد. اطلاعات نقاط دیجیتال پست هر ۳۰۰ میلی ثانیه و نقاط آنالوگ هر ۱۲۰۰ میلی ثانیه یک بار جمع‌آوری و ذخیره می‌شوند.

الگوریتم در نظر گرفته شده توسط Master جهت جمع‌آوری اطلاعات Slave ها بدین صورت است که به صورت پریودیک و با فاصله زمانی مناسب اطلاعات را درخواست کرده و در بانک اطلاعاتی که به همین منظور ایجاد شده است ذخیره می‌نماید و در زمان مناسب و به محض درخواست مرکز کنترل در اختیار آن قرار می‌دهد. بنابراین به صورت پریودیک و با فاصله زمانی معینی (در این پروژه ۲۰ ثانیه در نظر گرفته شده است) اقدام به درخواست اطلاعات جاری نقاط پست از سایر Slave ها می‌نماید. مکانیزم کلی ارسال پیغام‌ها بدین صورت می‌باشد که ابتدا Master پیغام را برای اولین Slave ارسال می‌دارد و سپس برای مدت زمان معینی (حداکثر دو ثانیه) منتظر جواب می‌ماند. از آنجا که در این

پشتیبانی می‌کند. تمامی ماژول‌های متصل به آن (Master یا Slave) می‌توانند اطلاعات موجود در آن را دریافت کرده و در صورت نیاز با در اختیار گرفتن باس، پیغام خود را ارسال کنند.

موضوعی که در اینجا حائز اهمیت است این است که MasterRTU بایستی قادر باشد آخرین اطلاعات نقاط مختلف پست را در کمترین زمان ممکن به مرکز کنترل SCADA تحویل دهد. بنابراین بخش Master در MasterRTU باید با اتخاذ الگوریتم مناسبی، حداقل اطلاعات لازم و کافی را به موقع و در حداقل زمان ممکن جمع‌آوری کرده تا تاخیر کل سیستم در ارسال جواب به مرکز به حداقل

همان‌طور که مشاهده می‌شود پروتکل IEC 101 حجم حافظه داده بسیار زیادی مصرف می‌کند. علت این است که براساس سورس کد این پروتکل پایگاه داده‌ی پیاده‌سازی شده بایستی حتماً براساس آرایه‌ای از داده‌ها بوده و شامل تعدادی ساختار داده‌ی تکراری باشد. بنابراین پایگاه داده موردنظر حجم بسیاری زیادی از حافظه را اشغال می‌کند و این یکی از مشکلاتی است که در پیاده‌سازی پروتکل IEC 101 باید به آن توجه داشت. در حالی که این مشکل در پروتکل DNP 3.0 وجود ندارد و یک پایگاه داده‌ی ساده مطابق با نیاز MasterRTU برای آن در نظر گرفته شده است.

Slave بایستی بتواند اطلاعات لازم و کافی را به موقع از نقاط مختلف پست جمع‌آوری کرده و در هر لحظه آخرین اطلاعات را به روز شده در اختیار داشته باشد و به محض درخواست Master آن را در اختیار قرار دهد. با توجه به اینکه برنامه نرم‌افزار Slave ها نیز بر مبنای کرنل بلادرنگ COS-II μ طراحی شده‌اند بنابراین برای عدم تداخل زمانی، خواندن اطلاعات مختلف نقاط پست توسط Task های مجزا

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

DNP3.0 در لایه Application با اجرای فرمان خواندن اطلاعات رخ داد هر ۱ ثانیه و در پروتکل IEC 60870-5-101 با تنظیم پریود لایه لینک برای ۱ ثانیه عملیات خواندن رخ دادها هر ۱ ثانیه یک بار انجام می‌گیرد. مطابق با استاندارد IEEE Std C37.1. برای بررسی عملکرد MasterRTU بهتر است که ۵ تغییر همزمان در ورودی‌های دیجیتال و یک تغییر در ورودی آنالوگ در هر Scan انجام شود و تمامی تغییرات بدون از دست رفتن اطلاعات به موقع گزارش شوند [9].

بنابراین زمان پایش را یک ثانیه تنظیم کرده و پنج تغییر همزمان در ورودی‌های دیجیتال و یک تغییر در ورودی آنالوگ در هر ثانیه اعمال کردیم همان طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود در زمانی کمتر از ۱/۷ ثانیه تمامی تغییرات به مرکز گزارش می‌شود. البته برچسب زمانی گزارش شده برای هر تغییر کاملاً دقیق می‌باشد.

شبکه همه Slave ها قادر به دریافت فریم‌های پروتکل از طرف Master می‌باشند توسط آدرس گیرنده تعیین می‌شود که چه کسی باید در حال حاضر پاسخگو باشد بنابراین تنها Slave ای که آدرس گیرنده مربوط به آن است فریم را پردازش کرده و پاسخ را به Master ارسال می‌نماید. در صورتی که قبل از سپری شدن زمان انتظار پاسخ توسط Master دریافت شود بلافاصله درخواست برای Slave بعدی ارسال می‌گردد.

همین روند برای دریافت اطلاعات آخرین رخ دادها به صورت پریودیک و با فاصله زمانی کوتاه‌تری انجام می‌شود. زیرا اطلاعات رخ دادها بایستی در کوتاه‌ترین زمان در اختیار مرکز قرار بگیرد. این درخواست برای هر یک از Slave ها به ترتیب ارسال شده و حداکثر تا ۲ ثانیه منتظر دریافت پاسخ از هر یک می‌ماند.

برای ارزیابی عملکرد هر پروتکل در ارسال اطلاعات رخ داد در MasterRTU زمان پایش را ۱ ثانیه تنظیم کردیم. در

جدول (۲) زمان بندی اجرای پروتکل‌ها

مدت زمان	Start Up (ms)	پریود جمع‌آوری اطلاعات نقاط دیجیتال (ms)	پریود جمع‌آوری اطلاعات نقاط آنالوگ (ms)	پایش ** اطلاعات رخ داد (s)	گزارش رخ دادها به مرکز (s)	اعمال فرمان (ms)	CPU Usage*
Slave IEC 101	۱۲۰۰	۳۰۰	۱۲۰۰	۱	۱/۳	۵۵۰	٪۳
Slave DNP3.0	۹۵۰	۳۰۰	۱۲۰۰	۱	۱/۷	۶۰۰	٪۳

* مقادیر اندازه‌گیری شده تحت شرایط تغییر ۲۰٪ نقاط ورودی دیجیتال و ۲۰٪ نقاط آنالوگ به طور همزمان و با فاصله زمانی ۲ ثانیه بوده است.

** به صورت پریودیک پنج تغییر همزمان در ورودی‌های دیجیتال و یک تغییر در ورودی آنالوگ در هر ۱ ثانیه انجام می‌شود.

فعالیت سنگین را برای سیستم فراهم نمودیم به طوری که عملیات خواندن پریودیک اطلاعات جاری و خواندن اطلاعات رخ داد وقایع و همزمان‌سازی و خواندن اطلاعات شمارنده با فاصله زمانی به ترتیب ۱۰ دقیقه و ۲ ثانیه و ۵ دقیقه و ۱۵ دقیقه اجرا شدند.

لازم به ذکر است مقادیر اندازه‌گیری شده برای CPU Usage با شرایط تغییر همزمان ۲۰٪ ورودی‌های دیجیتال و ۲۰٪ ورودی‌های آنالوگ به طور همزمان با فاصله زمانی ۲ ثانیه بوده است. بنابراین تعداد ۱۳ ورودی دیجیتال که معادل ۲۰٪

اجرای صحیح فرمان نیز در هر پروتکل تست شد. فرمت Select Before Operate (Sbo) برای فرمان در نظر گرفته شد. مدت زمان اجرای فرمان از زمان ارسال دستور Select توسط مرکز تا دریافت Back Indication در پروتکل DNP3.0 کمتر از ۶۰۰ میلی ثانیه می‌باشد و در پروتکل IEC 101 از زمان ارسال فرمان توسط مرکز تا دریافت پاسخ Activation Termination از طرف MasterRTU حدود ۵۲۰ تا ۵۵۰ میلی ثانیه زمان می‌برد که زمان کاملاً مناسبی برای اعمال فرمان می‌باشد.

جهت برآورد میزان فعالیت CPU در خلال ارتباط پروتکل و انجام سایر وظایف و به عبارتی محاسبه CPU Usage شرایط

راه دور با مرکز کنترل معمولاً از طریق پروتکل‌های صنعتی و استاندارد رایج صورت می‌گیرد. همان‌طور که ذکر شده در طراحی و ساخت MasterRTU برای پیاده‌سازی پروتکل‌های DNP 3.0 و IEC 60870-5-101 از سورس کدهای شرکت TMW استفاده شده است. در استفاده از این سورس کدها، نخستین سوالی که طراحان و سازندگان با آن روبرو خواهند بود این است که از چه سخت‌افزار و نرم‌افزاری می‌توانند در پیاده‌سازی پروتکل‌ها بر مبنای سورس کدهای TMW استفاده نمایند تا به مشخصات عملکردی موردنظر دست پیدا کنند. مشخصاتی از قبیل سرعت پردازنده، حجم حافظه‌های موردنیاز، سیستم عامل و نحوه پیکربندی سورس کد که در این مقاله به آنها پرداخته شده است نیازهای اولیه یک طراح می‌باشد.

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که عملکرد پایانه طراحی شده مطابق با استاندارد بوده و از عملکرد مناسبی برخوردار است و طرح سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در نظر گرفته شده سازگار با سورس کد پروتکل می‌باشد و استفاده از سورس کد و کرنل موردنظر علاوه بر تسریع در طراحی سیستم، قابلیت اطمینان بالایی برای عملکرد مطلوب سیستم فراهم نموده است.

مراجع

- [1] IEC 60870-5-101: Second edition, 2003-02, "Telecontrol Equipment & System Part 5. Transmission Protocol, Section 101. Companion Standard for Basic Telecontrol Tasks".
- [2] "DNP 3.0 Implementation Documents", DNP Users Group.
- [3] "IEC 60870-5-101 Slave Source Code Library User Manual", Version 3.0 November 1, 2006, Triangle Microworks Inc.
- [4] "DNP Peer-to-Peer Source Code Library ", Version 3.0, Triangle Microworks Inc.
- [5] مهدی کاوسیان، "روش پیاده‌سازی پروتکل IEC 870-5-101 برای ارتباط پایانه راه دور و مرکز دیسپاچینگ"، گروه دیسپاچینگ و تله‌متری پژوهشگاه نیرو اردیبهشت ۷۹.
- [6] خسرو فراهانی، سمیرا بختیاری‌نژاد، "گزارش نهایی پروژه MasterRTU"، گروه پژوهشی دیسپاچینگ و تله‌متری پژوهشگاه نیرو، بهمن ماه ۸۷.

ورودی‌های دیجیتال یک پایانه راه دور می‌باشد را به هم متصل کرده و همچنین تعداد ۵ عدد ورودی آنالوگ (ورودی DC) که معادل ۲۰٪ آنالوگ‌ها می‌باشند را به یکدیگر متصل کردیم. سپس پایه مشترک ورودی‌های دیجیتال را به همراه یک سر تغذیه ورودی‌های آنالوگ به طور مشترک به کنتاکت یک رله متصل کردیم. آنگاه رله را توسط سیگنال ژنراتور با فرکانس ۰/۵Hz تغذیه کردیم. به این ترتیب هر ۲ ثانیه به طور همزمان ۲۰٪ آنالوگ‌ها و ۲۰٪ دیجیتال‌ها تغییر می‌کردند و CPU Usage را در این شرایط برای هر دو پروتکل به طور مستقل اندازه‌گیری کردیم. محاسبات CPU Usage بدین صورت بود که بدترین وضع تقریباً در ابتدای شروع به کار سیستم بود زیرا تمامی فعالیت‌ها علی‌رغم فاصله زمانی‌های متفاوت در ابتدا به صورت همزمان اجرا می‌شوند و بار پردازنده به یکباره افزایش می‌یابد. شرایط مذکور در مدت زمان ۱/۵ ساعت و در چند نوبت انجام شد. در نتایج به دست آمده بیشترین مقدار CPU Usage برابر ۶۵٪ و کمترین آن ۲٪ بود و به طور متوسط نیز ۳٪ محاسبه شد. لازم به ذکر است زمان شروع به کار هر پروتکل از ابتدای ریست شدن میکرو تا ابتدای شروع به کار پروتکل و ارتباط با مرکز در پروتکل DNP3.0 حدود ۹۵۰ میلی ثانیه و در پروتکل IEC 101 حدود ۱۲۰۰ میلی ثانیه زمان می‌برد.

بنابراین دیده می‌شود در سنگین‌ترین شرایط فعالیت سیستم عملاً در ۹۷٪ مواقع پردازنده در وضعیت بیکاری^۱ قرار دارد. با انجام آزمون‌های عملکردی مشخص شد که سخت‌افزار و نرم‌افزار MasterRTU پاسخگوی نیازهای یک پایانه راه دور مطابق استاندارد می‌باشد و با توجه به مشخصات به دست آمده از آزمون‌ها، پیاده‌سازی قابلیت‌های احتمالی موردنیاز در آینده نیز قابل انجام خواهد بود.

نتیجه‌گیری

مهم‌ترین نکته در عملکرد یک پایانه راه دور تحویل به موقع و صحیح اطلاعات پست به مرکز کنترل می‌باشد. ارتباط پایانه

^۱ - Idle

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

[۷] خسرو فراهانی، لیلا عبدی، سمیرا بختیاری‌نژاد، "نرم‌افزار MasterRTU و گزارش آزمون‌ها"، گروه پژوهشی

دیسپاچینگ و تله‌متری پژوهشگاه نیرو، آذر ۸۶.

[8] IEC 60870-5-101, Second edition, 2003-02, "Telecontrol Equipment & Systems, Part 5-101: transmission protocol – companion standard for basic telecontrol task".

[9] IEEE Std C37.1, "IEEE Standard Definition, Specification, and Analysis of System Used for Supervisory Control, Data Acquisition, and Automatic Control", 1994.