بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه یزد

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گروه مهندسی مخابرات

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی برق- مخابرات

بهبود عملکرد سامانه‌های کنترل از طریق شبکه با استفاده از پردازش هوشمند سیگنال

استاد راهنما:

دکتر سید محمدتقی المدرسی

استاد مشاور:

دکتر ولی درهمی

پژوهش و نگارش:

بنیامین حق‌نیاز جهرمی

اسفند ماه ۱۳۹۲

تقدیم به پدرم

کوهی استوار و حامی من در تمام طول زندگی

تقدیم به مادرم

سنگ صبوری که الفبای زندگی به من آموخت

تقدیم به همسرم

که در سایه همیاری و همدلی او به این منظور نائل شدم.

تشکر و قدردانی

با تشکر فراوان از جناب آقای دکتر سید محمدتقی المدرسی که در انجام این پایان‌نامه مرا رهنمون بوده و از هیچ کمکی دریغ ننمودند. همچنین لازم می‌دانم که از راهنمایی‌های جناب آقای دکتر ولی درهمی نهایت تشکر و قدردانی را داشته باشم.

از جناب آقای مهندس پویا حاجبی نیز به خاطر پیشنهادهای سازنده‌شان بسیار سپاسگزاری می-نمایم.

همچنین مراتب قدردانی را از اساتید محترم، جناب آقای دکتر تابان و آقای دکتر قانعی که داوری این پایان‌نامه را پذیرفتند و اینجانب را از نظرات سودمند خود بهره‌مند ساختند، به عمل می‌آورم.

چکیده

سامانه کنترل از طریق شبکه، یک سامانه کنترلی شامل گره‌های حسگر، فعال‌گر، کنترل‌گر و دستگاه است که در آن ارتباط بین گره‌های سامانه، از طریق شبکه‌های مخابراتی دیجیتال باندمحدودصورت می‌گیرد. به علت وجود شبکه مخابراتی برای ارتباط بین گره‌های سامانه کنترل از طریق شبکه، تحلیل و طراحی این سامانه‌ها دارای مشکلات و پیچیدگی خاصی هست. سامانه‌های کنترل از طریق شبکه به دلیل گستردگی شبکه‌های مخابراتی نظیر اینترنت در سراسر جهان، مزایایی از قبیل کاهش هزینه نصب و نگهداری و سهولت در گسترش پذیری سامانه را به همراه داشته است. وجود شبکه مخابراتی و ویژگی‌های تصادفی آن، باعث به وجود آمدن چالش-هایی مانندتأخیر زمانی تصادفی، ازدست‌رفتن بسته‌های داده و مشکلات امنیت داده‌ها می‌شود. این چالش‌ها بر عملکرد کنترلی سامانه تأثیرگذار است و حتی می‌تواند باعث ناپایداری سامانه شود. در این پایان‌نامه برای بهبود عملکرد سامانه کنترل از طریق شبکه به مهم‌ترین چالش این سامانه‌ها، یعنی تأخیر تصادفی بسته‌های داده پرداخته شده است. در پژوهش‌های انجام‌شده تا کنون، به شناسایی مدل دستگاه و تأثیر آن بر عملکرد سامانه توجه نشده است. مدل‌سازی دقیق دستگاه به ویژه در حالت غیرخطی می‌تواند عملکرد کنترلی سامانهرا به مقدار قابل‌توجهی بهبود بخشد. در این پایان‌نامه با استفاده شبکه‌های عصبی پرسپترون (پردازش هوشمند سیگنال) به مدل‌سازی دستگاه و بهبود عملکرد سامانه پرداخته شده است و کنترل‌گری با عنوان کنترل‌گر عصبی-اسمیت تطبیقی برخط، برای بهبود عملکرد سامانه‌های کنترل از طریق شبکه طراحی شده است. همچنین برای کنترل دستگاه‌های صنعتی که دارای تأخیر زمانی هستند، به علت کاربرد فراوان کنترل‌گرهای تناسبی – انتگرالی در صنعت، کنترل‌گری با عنوان کنترل‌گر تناسبی – انتگرالی تطبیقی برخط به منظور بهبود عملکرد کنترلی سامانه کنترل از طریق شبکه ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی:تأخیر تصادفی، تخمین برخط تأخیر، سامانه‌های کنترل از طریق شبکه، شبکه‌های مخابراتی، شبکه‌های عصبی، کنترل‌گر تناسبی – انتگرالی تطبیقی برخط، کنترل-گرعصبی – اسمیت تطبیقی برخط.

فهرست مطالب

فصلاول: مقدمه ۱

۱-۱مقدمه ۱

۱-۲مرورفصل‌هایآتی ۳

فصلدوم: سامانه‌هایکنترلازطریقشبکه ۳

۲-۱ مقدمه ۴

۲-۲ معرفیسامانه‌هایکنترلازطریقشبکه ۵

۲-۳ چالش‌هایموجوددرسامانه‌هایکنترلازطریقشبکه ۸

۲-۳-۱ پهنایباندشبکه ۹

۲-۳-۲ تأخیرزمانی ۱۰

۲-۳-۳ ازدسترفتنبستهداده ۱۲

۲-۳-۴ رقابتگره‌هایشبکهبرایدستیابیبهشبکه ۱۳

۲-۳-۵ خطایکوانتیزاسیون ۱۳

۲-۳-۶ امنیتداده ۱۴

۲-۳-۷ نمونه‌برداری ۱۴

۲-۴ مدل‌سازیسامانهکنترلازطریقشبکهوبررسیپایداریآن ۱۵

۲-۴-۱ مدل‌سازیسامانهکنترلازطریقشبکهبادرنظرگرفتنتأخیرونمونه‌برداری ۱۶

۲-۴-۲ مدل‌سازیسامانهکنترلازطریقشبکهبادرنظرگرفتنازدسترفتنبستهداده ۱۹

۲-۵ تخمینحالتدستگاهوتأخیرزمانیدرشبکه‌هایمخابراتی ۲۱
۲-۵-۱ تخمینبهینهبرایتوزیعبرنولیبسته‌هایگمشده ۲۳
۲-۵-۲ تخمینبامحاسباتاولیهموضعی ۲۵
۲-۵-۳ تخمینبرخطتأخیرشبکهمخابراتی ۲۶
۲-۶ نظریه‌هایمخابراتیوکنترلیبرایبهبودعملکردسامانهکنترلازطریقشبکه. ۲۷
۲-۶-۱ معیارهایکنترلیبرایسنجشعملکردسامانهکنترلازطریقشبکه ۲۸
۲-۶-۲ روش‌هایکلاسیک ۲۹
۲-۶-۲-الفروشابتکاری ۲۹
۲-۶-۲-بروش‌هایمشاهده‌گر-محور ۳۰
۲-۶-۲-جروش‌هایمخابراتی ۳۲
۲-۶-۳ روش‌هایهوشمنددربهبودعملکردسامانهکنترلازطریقشبکه ۳۴
۲-۶-۳-الفاستفادهازمنطقفازیدربهبودعملکردسامانهکنترلازطریقشبکه ۳۸
۲-۶-۳-باستفادهازشبکه‌هایعصبیدربهبودعملکردسامانهکنترلازطریقشبکه ۴۱
۲-۶-۳-جاستفادهازالگوریتمژنتیکدربهبودعملکردسامانهکنترلازطریقشبکه ۴۲
فصلسوم: روش‌هاپیشنهادیبرایبهبودعملکردسامانه‌هایکنترلازطریقشبکه ۴۴
۳-۱ مقدمه ۴۴
۳-۲ کنترل‌گرتناسبی–انتگرالیتطبیقیبرخط ۴۴
۳-۲-۱ فرآیندهایباتأخیرزمانی ۴۶
۳-۲-۲ تخمینبرخطتأخیرشبکه ۴۷

۳-۲-۳ شبیه‌سازی عملکرد سامانه کنترل از طریق شبکه‌ها استفاده از کنترل‌گر تناسبی-انتگرالی تطبیقی بر خط ۴۷
۳-۳ کنترل‌گر عصبی–اسمیت تطبیقی بر خط ۵۴
۳-۳-۱ شناسایی مدل دستگاه ۵۸
۳-۳-۲ کنترل‌گر عصبی ۶۱
۳-۳-۳ بررسی عملکرد کنترل‌گر OANS ۶۱
فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۶۷
۴-۱ مقدمه ۶۸
۴-۲ نتیجه‌گیری ۶۹
۴-۳ پیشنهادها ۷۰
اختصارها ۷۱
مراجع ۷۲

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل (۲-۱): شمای کلی سامانه‌های کنترل از طریق شبکه.....۶

شکل (۲-۲): معماری ساده سامانه کنترل از طریق شبکه.....۷

شکل(۲-۳): کاربردسامانه کنترل از طریق شبکه در کنترل وضعیت فاضلاب.....۸

شکل (۲-۴): کاربرد سامانه TeleOperation در سامانه کنترل از طریق شبکه.....۹

شکل (۲-۵): نحوه دنبال کردن مسیر مرجع توسط ربات مسیریاب در دو حالت کنترل‌گر مستقیم و محلی.....۱۲

شکل (۲-۶): نمونه‌ای از مدل تأخیر تصادفی شبکه مخابراتی.....۱۳

شکل (۲-۷): مقایسه عملکرد سامانه‌های کنترلی پیوسته، دیجیتال و از طریق شبکه.....۱۶

شکل(۲-۸): ساختار سامانه کنترل از طریق شبکه تک-کانال.....۱۸

شکل (۲-۹): سیگنال $\hat{y}(t)$ که در معادله (۲-۳) تعریف شد.....۱۹

شکل (۲-۱۰): مدل بسته‌های گم شده با توزیع برنولی.....۲۲

شکل (۲-۱۱-الف): تخمین زن حالت بدون محاسبات اولیه.....۲۴

شکل (۲-۱۱-ب): تخمین زن حالت با محاسبات اولیه.....۲۴

شکل (۲-۱۱-ج) : تخمین برخط تأخیر زمانی شبکه.....۲۹

شکل (۲-۱۲): ساختار اساسی سامانه کنترل از طریق شبکه در این پایان‌نامه.....۳۰

شکل(۲-۱۳): ساختار سامانه کنترل از طریق شبکه با دو کانال پس‌خور و کنترل‌گر مشاهده‌گر-محور.....۳۳

شکل (۲-۱۴) :ساختار W-MBPNCS مبتنی بر مخابرات مشارکتی.....۳۴

شکل (۲-۱۵): خروجی موتور DC در دو حالت W-NCS وW-MBPNCS ۳۵

شکل (۲-۱۶): ساختار کلی سامانه کنترل منطق فازی.....۳۷

شکل (۲-۱۷): کنترل‌گر فازی- اسمیت تطبیقی برخط برای بهبود سامانه کنترل از طریق شبکه.....۳۹
شکل (۲-۱۸) : توابع عضویت ورودی و خروجی سامانه منطق فازی.....۴۰
شکل (۲-۱۹): نتایج شبیه‌سازی به ازای تأخیر ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌ثانیه. الف) تأخیر شبکه.ب) سیگنال مرجع. ج) کنترل‌گر فازی - اسمیت تطبیقی برخط. د) کنترل‌گر فازی – اسمیت تطبیقی با$t_m=0.2$. ه)کنترل‌گر فازی خالص.....۴۱
شکل (۲-۲۰): ساختار کنترل‌گر عصبی - فازی تطبیقی برخط برای بهبود عملکرد سامانه کنترل از طریق شبکه.....۴۲
شکل (۲-۲۱) : توابع عضویت بهینه متغیرهای زبانی ورودی – خروجی سامانه منطق فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک.....۴۴
شکل(۳-۱): کنترل‌گر تناسبی – انتگرالی تطبیقی برخط.....۴۶
شکل (۳-۲) : شمای تأخیر تصادفی شبکه(۲۰-۴۰میلی‌ثانیه).....۵۰
شکل (۳-۳) : سیگنال مرجع سرعت موتور DC.....۵۰
شکل (۳-۴): نتایج شبیه‌سازی به ازای تأخیر ۲۰ و ۴۰ میلی‌ثانیه. الف) کنترل‌گر تناسبی – انتگرالی تطبیقی برخط. ب) کنترل‌گر تناسبی – انتگرالی کلاسیک.....۵۱
شکل (۳-۵) : شمای مجموع تأخیر تصادفی شبکه(۲۰۰-۳۰۰میلی‌ثانیه).....۵۲
شکل (۳-۶) : نتایج شبیه‌سازی به ازای تأخیر ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌ثانیه.الف) کنترل‌گرOAPI. ب) کنترل‌گرCPI.....۵۳
شکل (۳-۷) : ساختار سامانه کنترل از طریق شبکه با در نظر گرفتن کنترل‌گر کلی.....۵۶
شکل (۳-۸) : ساختار سامانه کنترل از طریق شبکه با در نظر گرفتن کنترل‌گر اسمیت پیشگو.....۵۶
شکل (۳-۹) : ساختار پیشنهادی سامانه کنترل از طریق شبکه با استفاده از کنترل‌گر عصبی- اسمیت تطبیقی برخط.....۵۸

شکل (۳-۱۰) : سیگنال PRBS به منظور شناسایی مدل دستگاه..... ۶۰
شکل (۳-۱۱) : ساختار شبکه عصبی NN_P..... ۶۱
شکل (۳-۱۲) : توابع انتقال شبکه عصبی NN_P..... ۶۱
شکل (۳-۱۳):شمای مجموع تأخیر تصادفی شبکه(۴۰۰-۶۰۰میلی‌ثانیه)..... ۶۳
شکل (۳-۱۴) : شبیه‌سازی سامانه کنترل از طریق شبکه با تأخیر ۴۰۰-۶۰۰ میلی‌ثانیه. الف)سیگنال مرجع. ب)سیگنال خروجی دستگاه..... ۶۴
شکل (۳-۱۵): شمای مجموع تأخیر تصادفی شبکه (۱۰۰-۲۰۰ میلی‌ثانیه)..... ۶۵
شکل (۳-۱۶) : مقایسه معیار ITAE به ازای تغییر تابع تبدیل دستگاه . الف) با استفاده از کنترل‌گر OANS. ب) بدون استفاده از کنترل‌گر OANS..... ۶۶

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول (۲-۱): جدول قوانین منطق فازی..... ۴۰

جدول (۳-۱): مقایسه عملکرد سامانه کنترل از طریق شبکه با تأخیر ۲۰-۴۰ میلی‌ثانیه به ازای کنترل‌گر CPI و OAPI..... ۵۲

جدول (۳-۲): مقایسه خروجی سامانه کنترل از طریق شبکه در تأخیرهای مختلف شبکه به ازای کنترل‌گر CPI و OAPI..... ۵۴

جدول (۳-۳) : مقایسه معیارITAEبرای کنترل‌گر OANS..... ۶۷

فصل اول: مقدمه

۱-۱مقدمه

همگرا شدن زمینه‌های پژوهشی و کاربردی در مهندسی رایانه، مخابرات و کنترل در دهه اخیر باعث شده است که محققین و صنعتگران به سمت مبحثی با عنوان"سامانه‌های کنترل از طریق شبکه[1]" گرایش پیدا کنند. سامانه‌های کنترل از طریق شبکه را می‌توان فصل مشترک نظریه‌های مهندسی مخابرات و کنترل دانست[۱]. در واقع نظریه‌های کنترل، بیشتر به سامانه‌های پویایی توجه دارد که اتصال بین اجزای آن از طریق کانال‌های ایده‌آل صورت می‌گیرد و نظریه‌های مخابرات، بیشتر به ارسال اطلاعات در کانال‌های غیر ایده‌آل توجه دارد. ترکیبی از این دو دسته نظریه برای مدل‌سازی، تحلیل و طراحی سامانه‌های کنترل از طریق شبکه به‌کاربرده می‌شود.

به طور کلی"سامانه کنترل از طریق شبکه"، یک سامانه کنترلی شامل گره‌های حسگر، فعال‌گر[2]، کنترل‌گر و دستگاه[3]است که در آن ارتباط بین گره‌های سامانه، از طریق شبکه‌های مخابراتی دیجیتال باندمحدودصورت می‌گیرد[۲]. گره‌های این نوع سامانه کنترلی می‌تواند از لحاظ جغرافیایی در مکان‌هایی مختلف و دور از هم قرار داشته باشد. به علت وجود شبکه مخابراتی برای ارتباط بین گره‌های سامانه کنترل از طریق شبکه، تحلیل و طراحی این سامانه‌ها دارای مشکلات و پیچیدگی خاصی هست.

سامانه‌های کنترل از طریق شبکه به دلیل گستردگی شبکه‌های مخابراتی نظیر اینترنت در سراسر جهان، مزایایی از قبیل کاهش هزینه نصب و نگهداری، کنترل همزمان چند دستگاه از یک مکان و سهولت در گسترش پذیری سامانه را به همراه داشته است. سامانه‌های کنترل از طریق شبکه، کاربردهای فراوانی در حوزه‌های پزشکی، صنعتی و علوم فضایی پیداکرده است. ازجمله

---

[1] Networked Control Systems(NCSs)
[2] Actuator
[3] Plant

کاربردهایاین‌گونه سامانه‌های کنترلی، شبکه‌های حسگر متحرک، سامانه کنترل خودکار بزرگراه‌ها، کنترل وسایل نقلیه بدون سرنشین و انجام عمل جراحی از راه دور را می‌توان نام برد.

وجود شبکه مخابراتی و ویژگی‌های تصادفی آن، باعث به وجود آمدن چالش‌هایی مانندتأخیر زمانی تصادفی[1]، ازدست‌رفتن بسته‌های داده[2]و امنیت[3] داده‌ها می‌شود. این چالش‌ها بر عملکرد کنترلی سامانه تأثیرگذار است و حتی می‌تواند باعث ناپایداری سامانه شود. پژوهش‌های زیادی برای مدل-سازی، طراحی و بهبود عملکرد این سامانه‌ها انجام شده است. از نظریه فرآیندهای تصادفی به منظور مدل‌سازی دقیق سامانه‌های کنترل از طریق شبکه استفاده شده است. به عنوان مثال، از زنجیره مارکف برای مدل‌سازی اثر ازدست‌رفتن بسته‌های داده در سامانه کنترل از طریق شبکه استفاده شده است. از نظریه‌های موجود در شبکه‌های کامپیوتری مانند نظریه صف، برای طراحی پروتکل‌های مناسب ارسال داده در این سامانه‌ها استفاده شده است. از نظریه آمار و احتمال برای مدل‌سازی و بررسی اثر تأخیر تصادفی شبکه مخابراتی استفاده شده است. از نظریه‌های مخابرات مانند "مخابرات مشارکتی[4]"به منظور طراحی کانال ارتباطی مناسب و بهبود عملکرد سامانه استفاده شده است. از نظریه تخمین برای پیش‌بینی تأخیر و متغیر حالت دستگاه استفاده می‌شود. از نظریه منطق فازی برای بهبود عملکرد کنترل‌گر در این سامانه‌ها استفاده شده است. از نظریه-های کنترلی مانند کنترل‌گر اسمیت پیشگو[5]برای از بین بردن اثر تأخیر شبکه استفاده می‌شود.

در تمامی پژوهش‌های انجام‌شده تا کنون، به شناسایی مدل دستگاه و تأثیر آن بر عملکرد سامانه توجه نشده است. مدل‌سازی دقیق دستگاه به ویژه در حالت غیرخطی می‌تواند عملکرد کنترلی سامانهرا به مقدار قابل‌توجهی بهبود بخشد. در این پایان‌نامه با استفاده شبکه‌های عصبی پرسپترون (پردازش هوشمند سیگنال[6]) به مدل‌سازی دستگاه و بهبود عملکرد سامانه پرداخته شده است و کنترل‌گر بهینه‌ای با عنوان " کنترل‌گر عصبی- اسمیت تطبیقی برخط "[7]برای بهبود عملکرد

[1]Stochastic Time Delay
[2]Packet Dropout
[3]Security
[4]Cooperative Communication
[5]Smith Predictor
[6]Intelligent signal processing
[7]Online Adaptive Neuro- Smith controller(OANS)

سامانه‌های کنترل از طریق شبکه طراحی شده است. همچنین برای کنترل دستگاه‌های صنعتی که دارای تأخیر زمانی هستند، به علت کاربرد فراوان کنترل‌گرهای تناسبی – انتگرالی در صنعت، کنترل‌گر ساده‌ای و بهینه‌ای با عنوان " کنترل‌گر تناسبی – انتگرالی تطبیقی برخط [1]" به منظور بهبود عملکرد کنترلی سامانه کنترل از طریق شبکه ارائه شده است. ویژگی مهم این کنترل‌گر سادگی طراحی و پیاده‌سازی آن است.

۱-۲مرور فصل‌های آتی

در فصل دوم به بررسی سامانه‌های کنترل از طریق شبکه و چالش‌های موجود در آن پرداخته می-شود. در این فصل مفهوم سامانه‌های کنترل از طریق شبکه، نحوه مدل‌سازی و مهم‌ترین چالش-های موجود در آن و راه‌حل‌های ارائه‌شده توسط پژوهشگران مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در فصل سوم راه‌حل‌های پیشنهادی برای بهبود عملکرد کنترلی سامانه کنترل از طریق شبکه ارائه می‌شود. نتایج شبیه‌سازی و بررسی معیارهای کنترلی بر اساس راه‌حل‌های پیشنهادی نیز، در این فصل بیان خواهد شد.

فصل چهارم نیز شامل نتیجه‌گیری، پیشنهادها و زمینه‌های پژوهشی آینده است.

[1] Online Adaptive PI Controller(OAPI)

فصل دوم: سامانه‌های کنترل از طریق شبکه

۲-۱ مقدمه

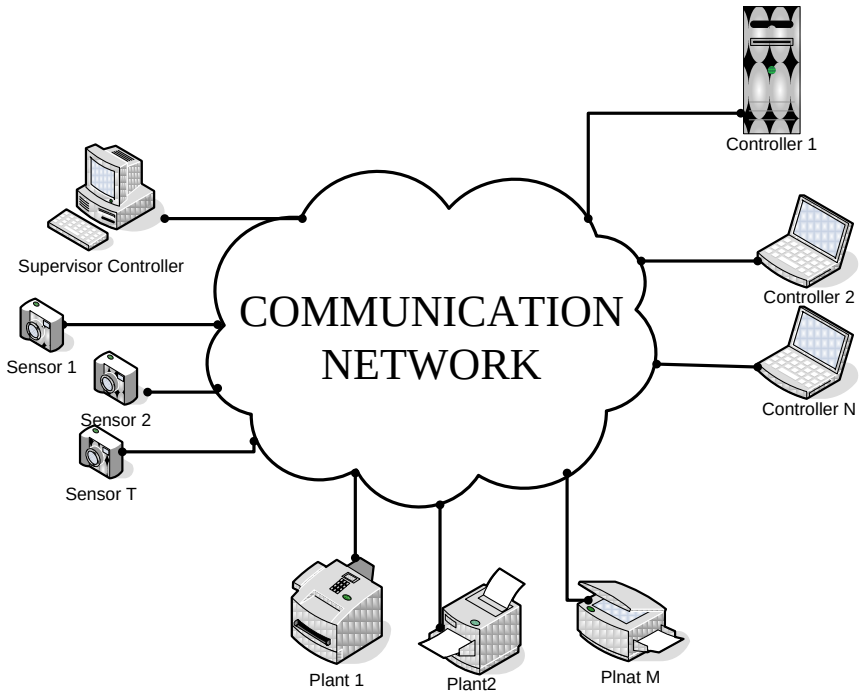
معماری سنتی سامانه‌های کنترلی بر اساس اتصالات مستقیم (نقطه به نقطه[1]) بین اجزای سامانه بنانهاده شده است. بدین معنا که حسگر، کنترل‌گر، فعال‌گر و دستگاه به طور مستقیم توسط اتصالات سیمی به هم وصل می‌شوند. در سال‌های اخیر به علت گسترش کاربرد دستگاه‌ها و زیرساخت‌های مخابراتی، دیگر ساختار سنتی سامانه‌های کنترلی جوابگوی نیازهای چندگانه دنیای امروز نیست. برخی از این نیازها شامل نگهداری سریع و آسان، کاهش هزینه نصب و عیب‌یابی سریع است. استفاده از شبکه‌های مخابراتی برای ارتباط بین گره‌های سامانه، راه‌حلی پیشنهادی برای جوابگویی به چنین نیازهایی است. استفاده از شبکه‌های مخابراتی باعث افزایش انعطاف‌پذیری و قابلیت اطمینان کارکرد سامانه‌ها شده و همچنین باعث کاهش زمان و هزینه نگهداری و نصب آسان سامانه‌ها شده است. این دلایل باعث مطرح‌شدن مبحث"سامانه‌های کنترل از طریق شبکه"شده است.در بخش اول این فصل به معرفی سامانه‌های کنترل از طریق شبکه پرداخته شده است. در ادامه چالش‌ها و معایب این‌گونه سامانه‌های کنترلی معرفی می‌شود. همچنین نمونه‌هایی از کاربردهای سامانه‌های کنترل از طریق شبکه بیانشده است. در بخش دوم فصل، نحوه مدل‌سازی سامانه‌های کنترل از طریق شبکه با در نظر گرفتن تأخیر تصادفی شبکه و از دست‌رفتن بسته‌های داده در چندین حالت مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه قضایایی برای بررسی پایداری سامانه کنترل از طریق شبکه و طراحی کنترل‌گرها بیان شده است. در بخش سوم، کنترل هوشمند سامانه‌های کنترل از طریق شبکه مورد بررسی قرار گرفته است. کنترل منطق فازی به عنوان روش کنترلی هوشمند برای چنین سامانه‌هایی معرفی شده است. در ادامه به ویژگی‌های کنترل‌گرهای

[1] Point to Point

منطق فازی نسبت به کنترل‌گرهای کلاسیک پرداخته شده است. در پایان فصل نیز به روش‌های ابتکاری برای طراحی کنترل‌گر مناسب در چنین سامانه‌هایی اشاره شده است.

۲-۲ معرفی سامانه‌های کنترل از طریق شبکه

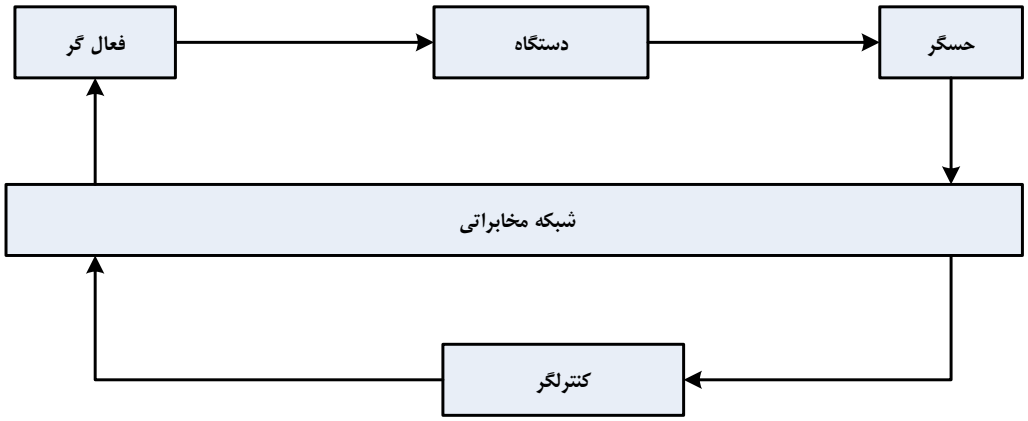
فرض کنید در یک سامانه کنترلی، حلقه پس‌خور[1] توسط یک کانال مخابراتی (مانند یک شبکه مخابراتی) بسته شود به طوری که، این کانال توسط گره‌هایی بهغیر از گره‌های سامانه کنترلی نیز مورد استفاده مشترک قرار گیرد. چنین سامانه‌ای، ''سامانه کنترل از طریق شبکه''نامیده می‌شود که در شکل ۲-۱ نشان داده شده است[۳].



شکل (۲-۱): شمای کلی سامانه‌های کنترل از طریق شبکه[۳].

مطابق شکل ۲-۱ گره‌هایسامانه کنترل از طریق شبکه که شامل حسگر، کنترل‌گر و دستگاه می-شود، از طریق شبکه مخابراتی باهم در ارتباط هستند. در اغلب پژوهش‌هایانجام‌شدهبرای سامانه کنترل از طریق شبکه ساختار ساده‌ای به صورت شکل ۲-۲ در نظر گرفته می‌شود.

[1] Feedback



شکل (۲-۲): معماری ساده سامانه کنترل از طریق شبکه.

نحوه عملکرد کلی سامانه بدین صورت است که ابتدا سیگنال کنترلی بدست‌آمده از کنترل‌گر، پس از انتقال از طریق شبکه، به فعال‌گر می‌رسد و از طریق یک مبدل، داده‌های دیجیتال به آنالوگ تبدیل می‌شود و به دستگاه اعمال می‌گردد. پس از آن خروجی آنالوگ دستگاه توسط حسگر اندازه‌گیری و به سیگنال دیجیتال تبدیل شده و از طریق شبکه مخابراتی برای کنترل‌گر ارسال می‌شود. سپس سیگنال دریافتی توسط کنترل‌گر با سیگنال مرجع مقایسه شده و سیگنال خطا را می‌سازد. آنگاه سیگنال کنترلی مناسب بر اساس سیگنال خطا ساخته شده و از طریق شبکه به فعال‌گر ارسال می‌شود. اطلاعات بین گره‌های سامانه کنترل از طریق شبکه در قالب بسته داده[۱] ارسال می‌شود.

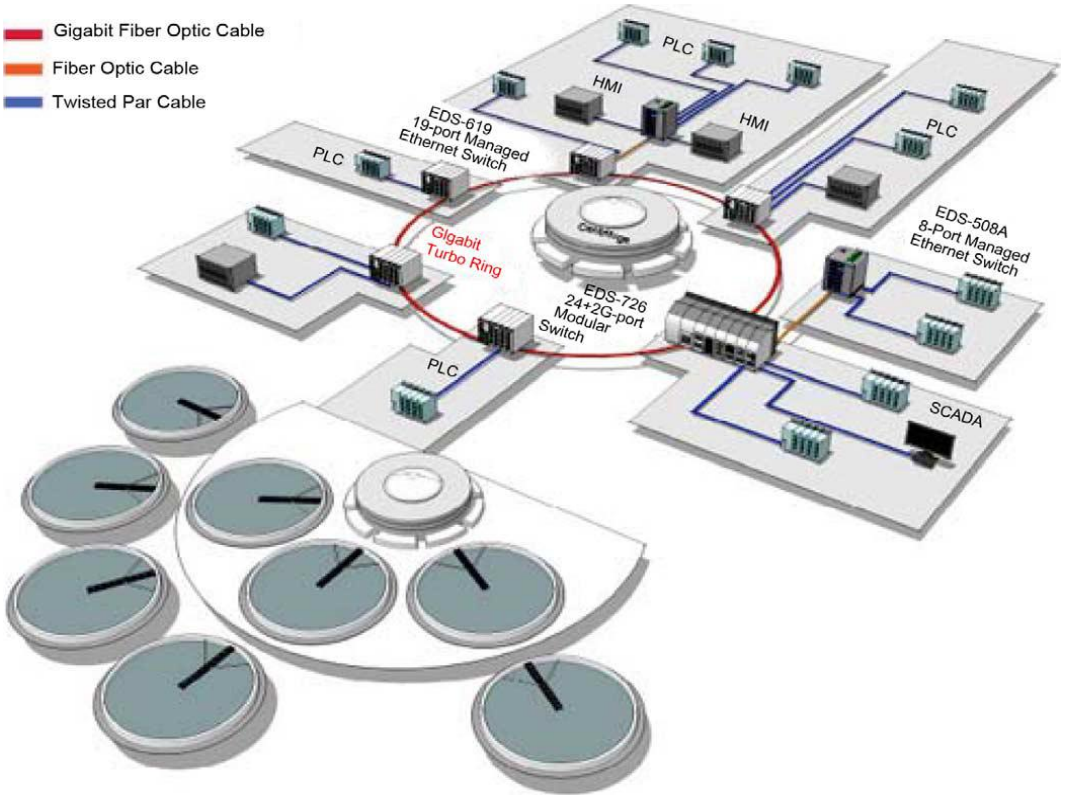
سامانه‌های کنترل از طریق شبکه کاربردهای فراوانی در صنعت و علوم نظامی پیدا کرده است که در ادامه به برخی از این کاربردها پرداخته می‌شود.

۱- صنعت خودروسازی: امروزه در اکثر خودروهای نوین برای ارتباط اجزای الکترومکانیکی خودرو، از شبکه ارتباطی با پروتکل CAN[۲]استفاده می‌شود. این روش باعث کاهش چشمگیری در هزینه سیم‌کشی در فضای محدود خودرو می‌شود[۴].

۲- کنترل فرآیندهای صنعتی از طریق شبکه داده: امروزه از شبکه‌های اترنت صنعتی[۳] برای ارتباط بین اجزای مختلف فرآیندهای صنعتی استفاده فراوانی می‌شود. به عنوان مثال

[1] Data Packet
[2] Control Area Network
[3] Industrial Ethernet

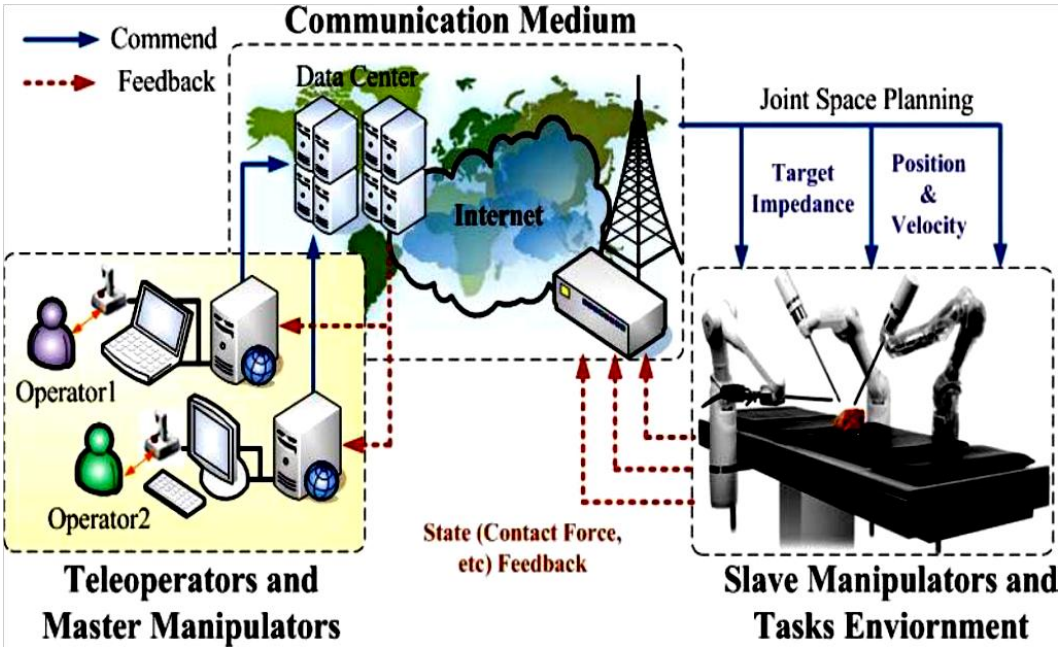
شکل ۲-۳ یک سامانه کنترل وضعیت فاضلاب را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود این سامانه شامل بخش‌های جداگانه‌ای است که داده‌های هر بخش مانند سطح آب، دمای آب و مقدار PH آب توسط PLCهای[1] محلی جمع‌آوری شده و سپس از طریق شبکه اترنت صنعتی به اتاق کنترل مرکزی برای پردازش مناسب ارسال می‌شود. آنگاه داده‌های کنترلی مناسب از طریق شبکه اترنت برای هر PLC ارسال می‌شود.



شکل(۲-۳): کاربرد سامانه کنترل از طریق شبکه در کنترل وضعیت فاضلاب[۴].

۳- TeleOperation: سامانه TeleOperationبه سامانه‌ای گفته می‌شود که در آن دستگاه پیرو[2] توسط دستگاه دیگری با نام دستگاه پایه[3] کنترل و هدایت شود. در این سامانه ممکن است دستگاه‌های پایه و پیرو در فاصله زیادی از هم قرار داشته باشد و یا حتی یکی در زمین و دیگری در فضا قرار داشته باشد. شکل ۲-۴ نمونه‌ای از این سامانه را نشان می-دهد.

[1] Programmable Logic Controller
[2] Slave
[3] Master



شکل (۲-۴): کاربرد سامانه TeleOperation در سامانهکنترل از طریق شبکه[۴].

۲-۳ چالش‌های موجود در سامانه‌های کنترل از طریق شبکه

در مقایسه با معماری سنتی نقطه به نقطه در سامانه‌های کنترلی، سامانه‌های کنترل از طریق شبکه به علت وجود شبکه مخابراتی برای ارسال داده، دچار چالش‌هایی می‌شود که می‌تواند باعث کاهش عملکرد کنترلی و حتی ناپایداری سامانه شود. این چالش‌ها عبارتند از : پهنای باند شبکه، تأخیر زمانی، از دست رفتن داده، رقابت گره‌های شبکه برای دستیابی به شبکه، امنیت[۱] شبکه، کوانتیزاسیون داده، ناهم‌زمانی[۲] پالس ساعت گره‌های سامانه کنترل از طریق شبکه و بازه نمونه-برداری متغیر[۱]. توجه شود که در عمل در یک سامانه کنترل از طریق شبکه، ممکن است همه چالش‌ها با هم رخ ندهد. به عنوان مثال در یک شبکه اترنت با پهنای باند زیاد چالش خطای کوانتیزاسیون قابل چشم‌پوشی است[۱]. در ادامه به اختصار مهم‌ترین چالش‌های ذکرشده توضیح داده می‌شود.

[1] Security
[2] Asynchronization