

بکارگیری پروتکل Ethernet در شبکه های بلادرنگ و سیستمهای کنترل توزیعی

ابوالقاسم قاسمپور^۱ ، مرتضی آنانلویی^۲

چکیده

همانطور که می دانید مشکل اساسی در طراحی و پیاده سازی شبکه های DCS، غیر قطعی^۱ بودن این شبکه می باشد. به همین خاطر استفاده از این پروتکل در محیط های صنعتی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از طرفی ارزان بودن، در دسترس بودن، فراوانی تجهیزات سخت افزاری و نرم افزاری مرتبط به این پروتکل و خصوصاً برخورداری از سرعت بالا ما را بر این داشت که با کمک تجهیزات سخت افزاری جدید و دادن تغییراتی در لایه شبکه و لایه کاربرد بتوانیم راه حلی جهت استفاده از این پروتکل در لایه های پایین شبکه DCS بیابیم.

توضیح داده می شود، سپس تپولوژی پیشنهادی خود را با عنایت به رفع نقاط ضعف عرضه می کنیم. توزیع شده بر مبنای Ethernet از طرف دیگر دارد. در این پژوهش ابتدا نقاط قوت و ضعف ایده بکارگیری از فن آوری Ethernet توضیح داده می شود، سپس تپولوژی پیشنهادی خود را با عنایت به رفع نقاط ضعف عرضه می کنیم.

کلمات کلیدی

DCS، Ethernet، سوییچ، سیستمهای بلادرنگ.

Use Ethernet in Real time Network and Distributed Control System (DCS)

Ghasempour Abolghasem, Analoui Morteza

Abstract

Ethernet Network has not been suitable for industrial environments and DCS systems due to the nature of the nondeterministic handling of communication traffic. But therefore of the prices of Ethernet hardware, high speed and new features in IEEE 802.3 cause that we work on use Ethernet in DCS systems. This paper is research in DCS architecture base on Ethernet. At the first we explain the advantage and disadvantage of this systems and prevalent methods then present our solution.

This topology has a new look to use switch in computer networks with some specific hardware and software. This topology that is base on Ethernet supporting hard real time traffic with bit rate and latency guarantee, i.e. a predefined amount of data delivered before a deadline.

Keywords

Ethernet, DCS, Switch, Real Time System.

^۱ عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر، Qasempur@Hotmail.com

^۲ عضو هیئت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده کامپیوتر

۱- مقدمه

۴- هیچ راهی برای فرق گذاشتن بین ترافیک تقدم بالا با ترافیک تقدم پائین وجود ندارد. در واقع تمام ندها شانس پکسانی جهت دسترسی به شبکه دارند.

۵- نمی توانیم پیش بینی صحیحی در رابطه با زمان رسیدن یک پیام به مقصد داشته باشیم.

در نتیجه می توانیم بگوییم سیستمهای Ethernet به اشتراک گذاشته شده هرگز نمی توانند به عنوان سیستمهای قطعی پیشنهاد گردند. برای اطلاعات بیشتر به شکل (۱) توجه نمایید.

البته اگر بتوان به نوعی تعداد ندھای موجود در سیستم را محدود نمود و یا میزان تبادل اطلاعات در اختیار ما باشد و یا سایز بسته های داده بزرگ نباشد می توان از Ethernet در شبکه های صنعتی بلادرنگ با اطمینان استفاده نمود.[6]

ولی با توجه به ماهیت سیستمهای DCS در عمل نمی توان کنترل کاملی بر روی موارد بالا و خصوصاً تبادل اطلاعات داشته باشیم لذا لازم است راهکارهای دیگری را بررسی نماییم. در این مقاله ابتدا راهکارهای مختلف استفاده از Ethernet در شبکه های بلادرنگ را بررسی و سپس توپولوژی پیشنهادی که یک راهکار مبتنی بر سوییچ می باشد را در بخش سوم مقاله ارایه می کنیم.

فناوری اترنت در طی ۲۵ سالی که از پیدایش آن می گذرد، به یاری سادگی فوق العاده خود، هزینه بسیار پایین و سرعت بالا تبدیل به محبوبترین فناوری شبکه در دنیا شده است به طوری که بیش از ۸۵ درصد کل شبکه های دنیا از فناوری اترنت برخوردارند و در حوزه شبکه های محلی این نسبت به میزان ۹۸ درصد رسیده است.[1]

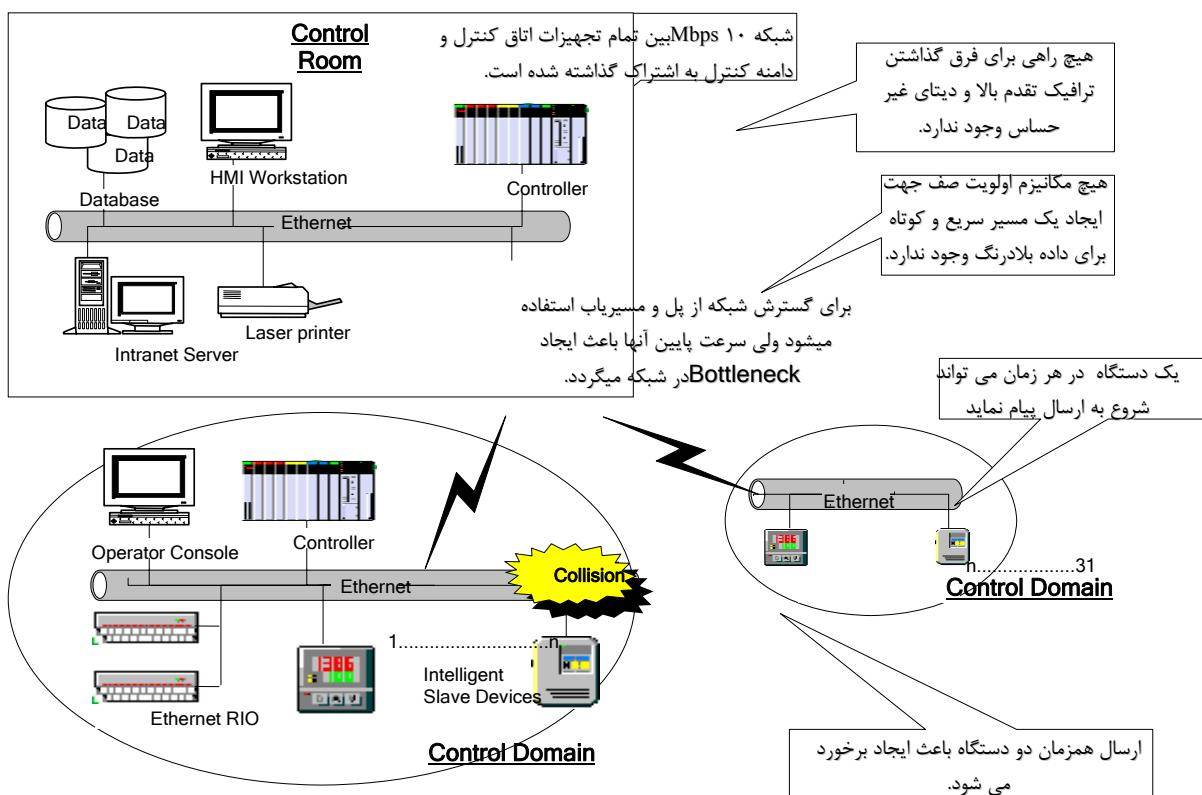
منتھی Ethernet رایج مورد استفاده در شبکه های محلی بدليل استفاده از پروتکل CSMA/CD در زیر لایه کنترل دسترسی (MAC) و استفاده از مکانیسم تصادفی یک پروتکل غیرقطعی می باشد و نمی تواند در ارتباطات صنعتی بلادرنگ مورد استفاده قرار گیرد.[2]

به طور خلاصه مواردی که باعث شده است نتوانیم از Ethernet رایج در سیستم های بلادرنگ استفاده نماییم به شرح زیر می باشد :

۱- به دلیل ماهیت این پروتکل با افزایش ترافیک برخورد زیاد شده و کارایی به صورت نمایی کاهش می یابد.

۲- پهنهای باند به اشتراک گذاشته می شود و اختصاص داده نمی شود.

۳- دامنه های پخشی بزرگ، پهنهای باند بزرگی را از سیستم می گیرند.



شکل(۱): یک شبکه Ethernet 10Mbps اشتراکی

دامنه زمانی frame time به های مساوی تقسیم می شود که اختصاراً به آن F می گوییم و هر F شامل یک $1 \leq i \leq n$ slot message slot بنام TC همچنین یک slot بنام Hi می باشد. اندازه Hi بوسیله روش تخصیص زمانی متغیر بدست می آید. درواقع TC برای مدیریت تمام ارتباطات سیستم رزرو شده است. مرحله اول : یک ند ، تغییرات ترافیک را از طریق slot کنترل گزارش می دهد.

مرحله دوم : هماهنگ کننده یک زمانبندی جدید را محاسبه می کند. مرحله سوم : هماهنگ کننده برنامه زمانی جدید را به تمام ندهای شبکه ارسال می کند.

۴-۲ بکارگیری سوییج

سوییج بسته های شبکه را در زمانهای بسیار کوتاه در حد میکرو ثانیه پردازش و بین پورتهای مختلف جابجا می نماید. به این تکنولوژی Switch hub یا سوییج لایه ۲ نیز گفته می شود. روش کار سوییج به این طریق است که دارای یک backplane با پهنهای باند بسیار بالا است و سرعت backplane از مجموع پورتهای Ethernet موجود بر روی سوییج بالاتر است بنابراین اجازه میدهد که سیستمهای متصل به سوییج با آخرین سرعت با سوییج ارتباط برقرار نمایند بدون آنکه برخوردی رخ دهد. سوییج این قابلیت را نیز دارد که بسته ها را در زمان کوتاهی (قبل از اینکه به پورت خروجی ارسال گردد) بافر نماید و سپس آن را به پورت مورد نظر با سرعت بسیار بالا و تاخیر بسیار کوتاه منتقل نماید.

سوییج یک پل چند پورت است که هر پورت دامنه برخورد مجزایی دارد به همین خاطر بین سیستمهایی که به سوییج متصل شده اند هرگز برخورد رخ نمی دهد. از طرفی هر کدام از پورتها قابلیت کار در Full duplex و Half duplex را دارند. در مد Full duplex مبدأ و مقصد با دو برابر سرعت معمول خود می توانند کار کنند و از طرفی برخورد در آن مسیر به کلی حذف می شود.

ایجاد امکان Full-duplex بیشترین نیاز شبکه های بلادرنگ می باشد. به غیر از این پارامتر سوییچها دارای پارامترهای دیگری همچون تاخیر (latency)، jitter (بی ثباتی)، میزان خطأ و گم شدن فریمها می باشند که در زمان تهیه یک سوییج بایستی در نظر گرفته شوند.

لذا با استفاده از سوییج Ethernet تبدیل به یک شبکه کاملاً قطعی می گردد که از طرفی دارای قیمت پایین است و از طرفی می تواند هم در سیستمهای OA و هم در سیستمهای IA استفاده گردد. - [8] [10]

۳- توپولوژی پیشنهادی

قبل از ارایه توپولوژی به شکل (۲) مراجعه نمایید. در اینجا LCU ها واحدهای کنترل محلی هستند که وظیفه کنترل سنسورها و عملگرها کanal نماید).

۲- توپولوژیهای مطرح مورد استفاده در Ethernet مبتنی بر DCS

راهکارهای مختلفی برای استفاده از Ethernet در شبکه های DCS وجود دارد که از این جمله می توان موارد زیر را نام برد:

۱-۱- ایده استفاده شده در استاندارد IEEE 802/4

یکی از راهکارها ایده استفاده شده در استاندارد گذرگاه نشانه^۳ می باشد. در واقع راه حلی که پیشنهاد می گردد، بکارگیری این روش در لایه Application و شبیه سازی آن به صورت نرم افزاری می باشد. سیستم ساده ای که بدترین حالت آن مشخص شده است، حلقه ای است که در آن ایستگاه ها برای ارسال قابها، نوبت می گیرند. اگر n ایستگاه وجود داشته باشد و ارسال هر قاب T ثانیه طول بکشد، هیچ قابی برای ارسال نباید بیش از nT ثانیه منتظر بماند.[3]

۲-۱- پیاده سازی یک پروتکل دوگانه^۴

این پروتکل که آن را RETHER می نامیم همواره بین دو حالت بلادرنگ و غیر بلادرنگ تغییر وضعیت می دهد. بدینوسیله اثر بسته های غیربلادرنگ را کاهش می دهد. در این روش یک شیوه passing که از گم شدن Token در شبکه جلوگیری می کند، پیاده سازی می شود.

شبکه در یکی از این دو حالت کار میکند: حالت CSMA و حالت RETHER کار می کند و وقتی بسته های بلادرنگ وجود داشته باشد در مدت CSMA باز میگردد.

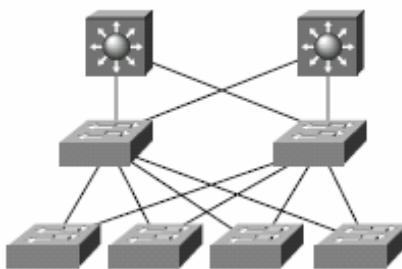
یکی از مسائل ممکن، از بین رفتن Token به خاطر Fail کردن یک ند می باشد. برای رفع این مشکل هر ند را مسؤول مونیتورینگ حالت همسایه محلی اش می کنیم. [4] و [5]

۲-۳- طرح تخصیص پهنهای باند در ارتباطات بلادرنگ

طرح ارائه شده[7] بدون اینکه تاثیری بر روی ترافیک داشته باشد، پهنهای باند را در زمان اجرا تغییر می دهد بنابراین می تواند بر روی تخصیص ایستا غلبه نماید.

در این روش که اصطلاحاً آنرا TDMA Ethernet می گوییم، هر ند پیامش را در فواصل زمانی معین از قبل تعریف شده، ارسال می نماید. این روش سربار کمتری نسبت به Token bus دارد. در این شبکه تقسیم زمانی پیامها یا با تخصیص دوره ای slot به پیامهای صادره با استفاده از یک task schedule بدست می آید و یا با تخصیص پهنهای باند(یعنی مدت زمانی که یک ند می تواند اقدام به ارسال پیام بر روی کanal نماید).

دسترسی را برقرار می‌نمایند و در نهایت لایه سوم که لایه مرکزی نامیده می‌شود ارتباط این شبکه با شبکه‌های دیگر از جمله شبکه اینترنت را از طریق مسیریابی موجود برقرار می‌نماید. شکل (۳)

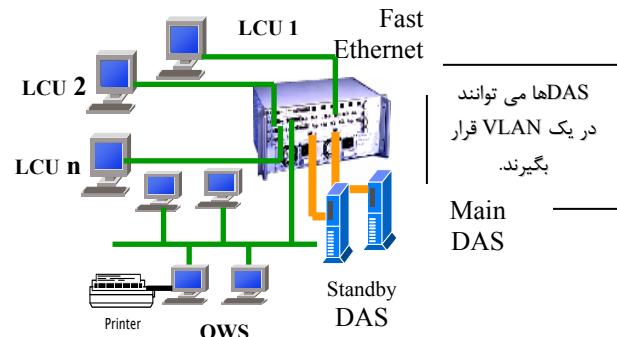


شکل (۳): توپولوژی Hub and spoke به کارگرفته شده در DCS

همانطور که در شکل مشخص است هر کدام از سوییچ‌های لایه اول به حداقل دو سوییچ در لایه توزیع متصل شده و در صورت قطعی ارتباط در یک مسیر، مسیری دیگر جایگزین مسیر اول می‌گردد و به همین شکل لایه دوم با لایه سوم ارتباط برقرار می‌نماید. واحد DAS به لایه توزیع متصل شده و واحد OWS نیز به لایه مرکزی متصل می‌گردد. با توجه به اینکه در کارخانجات معمولاً از معماری سه لایه استفاده می‌شود این توپولوژی به نوع ساختار محیط‌های صنعتی بسیار نزدیک می‌باشد و از طرفی توانسته این به یکپارچگی کامل در شبکه بندی یک مجموعه دست بیاییم. که خود این مساله در راه اندازی و نگهداری شبکه و همچنین دریافت گزارشات مدیریتی کمک شایانی می‌نماید. در روش حلقه تمام سوییچ‌ها به صورت حلقوی به یکدیگر متصل می‌شوند در این روش هر کدام از تجهیزات متصل شده به سوییچها از همسایه چپ و راست خود با خبر بوده و در صورت ایجاد قطعی شبکه در یک طرف هر کدام از تجهیزات، ارتباط از طریق طرف مخالف کماکان برقرار خواهد بود.

در سیستمهایی که نیاز به دسترسی $100\% / ۱۰۰\%$ دارند، یعنی حتی اگر بیش از یک قطعی در شبکه ایجاد شده باشد، می‌توانیم از یک توپولوژی کاملاً Redundant، چه در سطح کابل کشی شبکه و چه در سطح کنترل‌ها و ابزارهای حساس شبکه استفاده نماییم. (شکل (۴))
البته طی بررسی‌های به عمل آمده در رابطه با کاربرد Ethernet Switch در محیط‌های صنعتی توسط روپینگ [11] توپولوژی لایه ای نسبت به روش خطی و حلقوی کارایی بهتری دارد. همانطور که میدانید در محیط‌های صنعتی یک عمل مرتب تکرار می‌شود (نمونه برداری از سنسورها) لذا روش Hub and spoke که زمانی کوتاه‌تری نسبت به توپولوژی‌های دیگر دارد و تعداد سوییچ‌های به کار رفته در این روش کمتر نیز می‌باشد.

به عهده آها می‌باشد. ما هر LCU را مستقیماً به سوییچ وصل می‌نماییم. ایجاد هماهنگی بین LCU‌های مختلف، پردازش اطلاعات ورودی، ارسال پیام به قسمتهای مختلف سیستم، هماهنگ کردن سیستمهای تشخیص سیستمهای Fail کرده از سیستمهای سالم بر عهده واحد DAS می‌باشد که همراه با سیستمهای OWS ^۱ که خود شامل زیر سیستم‌های آلام، Event Logging، Trending، Group Display، PID و Reporting می‌باشد نیز به سوییچ وصل می‌شوند. به دلیل اهمیت خاص و مرکزیت DAS و به جهت ^۲ Redundancy معمولاً از دو DAS استفاده شده که به صورت Main و Standby عمل می‌کنند. از طرفی به دلیل ماهیت محیط‌های صنعتی، ترافیک شبکه در پورت ارتباطی با DAS از بقیه پورتها بیشتر می‌باشد که همین موضوع باعث ایجاد Bottleneck در آن پورت می‌گردد یک مسئله مشابه به این موضوع را می‌توان سیستم‌های Client Server در نظر گرفت. یعنی زمانیکه چند LCU با چند OWS در نظر گرفت. بخواهند به یک DAS متصل گردند. برای رفع این مشکل از سوییچهایی که دارای حداقل دو پورت گیگابیتی باشد استفاده می‌نماییم و سپس DAS‌ها را به این دو پورت متصل می‌نماییم.



شکل (۲): توپولوژی بکارگرفته شده در طراحی سیستم

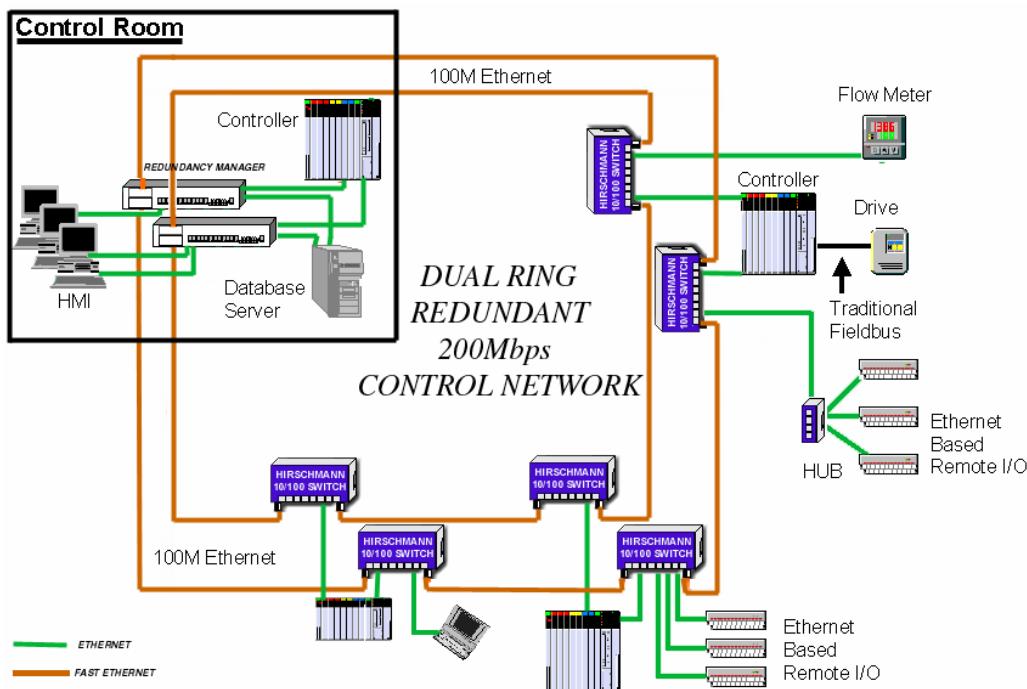
لذا در این سرعت مشکل Bottleneck کاملاً برطرف خواهد شد. از طرفی چون پهنای باند داخلی سوییچ نیز فوق العاده بالا می‌باشد پس در عمل در داخل سوییچ نیز مشکل Bottleneck را نخواهیم داشت. از طرفی برای کاهش ترافیک بین دو DAS می‌توانیم DAS‌ها را در یک VLAN قرار دهیم که خود این امر به میزان بسیار بالایی از ترافیک بین Main DAS و Standby DAS می‌کاهد.

در شبکه‌های DCS که نیاز شبکه با ارایه یک سوییچ برآورده نمی‌شود دو توپولوژی جهت ارتباط بین سوییچ‌ها پیشنهاد می‌گردد:

۱- روش حلقه ^{۱۱}

۲- روش Hub and spoke ^{۱۲}

در طراحی Hub and spoke سه لایه سوییچ نصب می‌شود. پایینترین لایه، لایه دسترسی نامیده شده که PLC و LCU‌ها به آن متصل می‌شوند. لایه دوم بنام لایه توزیع ارتباط بین سوییچ‌های لایه



[12] DCS بکارگرفته شده در [12] : توپولوژی حلقه و کاملاً Redundant بکارگرفته شده در

۱-۳-۱ مزیتهای سیستمهای DCS مبتنی بر Industrial Ethernet Switch

از مشخصات شبکه های Industrial Ethernet Switch می توان به موارد زیر اشاره گردد :

- ۱- در این حالت هم امکان تخصیص پهنهای باند وجود دارد و هم می توان پهنهای باند را به اشتراک گذاشت.
- ۲- برای هر ند می توانیم سرعت کامل 10Gbps تا 10Mbps را داشته باشیم.
- ۳- برخورداری از استاندارد IEEE 802.1 P/Q و داشتن فیلد های اولویت و QoS که به ساختار فریم Ethernet اضافه شده است. [13].
- ۴- ایجاد ارتباطات Full Duplex بین هر دو ند شبکه که باعث حذف کامل برخورد در شبکه شده است.
- ۵- با استفاده از VLAN می توانیم دامنه های Broadcast را به دامنه های کوچکتری تبدیل نماییم.

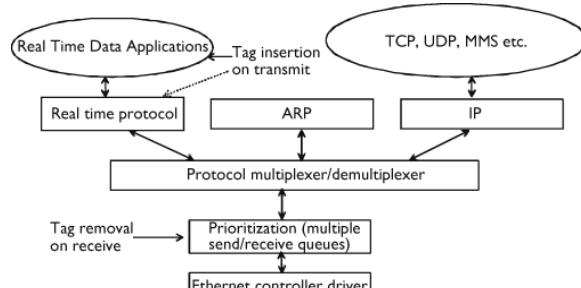
۴- نتیجه گیری

مسلمان Ethernet بهترین انتخاب برای نسل آتی شبکه های صنعتی می باشد. در گذشته Ethernet به دلیل نداشتن یکسری تواناییها قادر به استفاده در پروسه ها و شبکه های صنعتی نبود. ولی بعد از گذشت ۲۵ سال به درجه ای پیشرفت کرده که این نگرانیها به طور کامل از بین رفته است.

امروزه Ethernet معروفترین نوع شبکه می باشد و هر کنترلر، PLC و سیستم DCS یک رابط Ethernet را در قسمتی از شبکه خود

۶- اولویت دهی دیتا و قرار دادن چندین صف دیتا ، این اطمینان را به ما می دهد که بسته های بلادرنگ سریعترین مسیر جهت رسیدن به مقصد را در طول شبکه بیایند. شکل(۵)[14]

۷- تاخیر ایجاد شده بواسطه استفاده از سوییچ بسیار کم می باشد و همچنین با توجه به افزایش ترافیک شبکه نوسانات زمانی سوییچ بسیار ناچیز بوده به طوری که هیچ مشکلی در ارتباطات صنعتی بلادرنگ ایجاد نمی شود.



شکل (۵) : مکانیزم اولویت صفحه جهت ایجاد یک مسیر سریع و کوتاه برای داده های بلادرنگ

Communication", IEEE Proceeding Real Time System, Oct. 1995, pp. 25-33.

[8] Vitturi S., "On the use of Ethernet at low level of factory communication systems", *Computer Standards & Interfaces*, 2001, pp. 267-277.

[9] Qizhi Zhang; Weidong Zhang, "Network partition for switched industrial Ethernet using genetic algorithm", *Engineering Applications of artificial Intelligence*, 2006.

[10]Min-Hsiung Hung; Johnny Tsai; Fan-Tien Cheng,
“Development of an Ethernet-based equipment

integration framework for factory automation", Robotics and computer-Integrated Manufacturing, 2004, pp. 369-383. [11] Ruping, S.; Vonnahme, E.; Jasperneite, J., "Analysis of switched Ethernet networks with different topologies used in automation systems." Proceeding of the Fieldbus technology conference, Magdeburgs, pp. 351-358, Springer 1999.

[12] Hirschman Network Systems. "Real Time Services(QoS) in Ethernet Based Industrial Automation Networks". October 2000.

[13] Niclas EK , “IEEE 802.1 P,Q - QoS on the Mac level”, department of electrical engineering , Helsinki University of Technology, 24/4/1999.

[14] Skeie, T.; Johannessen, S.; Holmeide, O., "Timeliness of real-time IP communication in switched industrial Ethernet networks", *IEEE Trans. on Industrial Informatics*, 2006, vol. 2, no. 1, pp. 25-39.

[15] Thilo Sauter; Max Felser, "Standardization of Industrial Ethernet- the next battlefield", IEEE International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS) , Wien, 22-24 Sep. 2004, pp. 413-421.

[16]L. Lo Bello; O. Mirabella, "Design Issues for Ethernet in Automation", ETFA 2001, vol. 1, pp. 213-221.

[17] LoBello, L.; Kaczynski, G.A.; Mirabella, O., "Improving the Real-Time Behavior of Ethernet Networks Using Traffic Smoothing", IEEE Trans. on Industrial Informatics, 2005, vol. 1, no. 3, pp. 151-161.



پشتیبانی می نماید و از طرفی Ethernet توسط اکثر تولید کنندگان سخت افزار و نرم افزار پشتیبانی می شود.

اگر چه شبکه های انواماسیون صنعتی (IA) یک سطح گستردگی پروses ها و سیستم ها را شامل است ولی به جرات می توان گفت Ethernet می تواند نیازهای بیش از ۹۸٪ این شبکه ها را برطرف سازد این تغییرات به دلیل پیشرفت تکنولوژی در سه فیلد زیر به دست آمده است :

- Ethernet switching
 - افزایش سرعت تا ۱۰ ، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ Mbps
 - کیفیت سرویس (QoS)

از طرفی اگر بتوانیم به طریقی QoS صریح مانند اولویت، صف بندی، جلوگیری از ترافیک و ... را به امکانات شبکه اضافه نماییم و آنها را نیز به صورت ضمنی در دل سیستم داشته باشیم می توانیم به یک QoS به تمام معنی برسیم.

در واقع ترکیب این عوامل بوده که طراحان شبکه را قادر به طراحی شبکه های کاملاً قطعی نموده است، که هم دارای کارایی بالا باشند و هم قابلیت گسترش و توسعه داشته باشند.

یکی دیگر از مزایای بالای استفاده از شبکه های مبتنی بر Ethernet قابلیت اتصال به شبکه جهانی اینترنت است. در واقع از این مزیت میتوان جهت اداره کردن سیستم ، ارسال و دریافت اطلاعات به سیستم MIS و MES^{۱۴} ، اعمال کنترل های مدیریتی ، ایجاد محیط کاربری ، ثبت رخدادها و آلامها از هر کجای دنیا داشته باشیم. در واقع تأمیل سیستم ها پیش روی به سوی سیستم باز و پایه گذاری شده بود، اینتیتیت م اینتیت انت م باشد.

مراجع - ٥

[1] Cisco systems Inc, "Industrial Ethernet: A control engineer's guide", www.cisco.com, 2004.

[2] Pedreiras, P.; Leite, R.; Almeida,L., "Characterizing the real-time behavior of prioritized switch Ethernet", Proceedings of second International workshop on Real-time LANs in the internet age., Oporto, Portugal 2004.

[3] Tanenbaum, A.S, *Computer Networks*, Prentice Hall, 1995.

[4] Chitra Venkatramani; Tzi-cher Chiueh., "Supporting Real-Time Traffic on Ethernet", IEEE Proceeding Real Time System Symposium, pp. 282-286, December 1994.

[5] Court, R. "Real Time Ethernet.", Computer Communications, pp. 198-201, April 1992.

[6] Kyung Lee; Suk Lee, "Performance Evaluation of switched Ethernet for Real-time industrial communications", Computer standards & Interfaces 2002 pp. 411-423

[7] Junghoon Lee; Heonshik Shin, "A Bandwidth Reallocation Scheme for Ethernet Based Real-Time