

Ethernet in tempo reale

Strutturata in tempo reale, Ethernet può offrire significativi vantaggi di costo e prestazioni rispetto a molti bus di campo proprietari

Stephan Tietmeyer
Field Application Engineer
Future Electronics Europe

Nonostante l'opinione comune ritenga che Ethernet non possa sussistere in tempo reale, ve ne sono alcune versioni indubbiamente interessanti. Invero, anche se si sono diffuse dappertutto negli uffici e nelle case, le reti Ethernet hanno ancora una debole risonanza negli ambienti industriali perché molti ingegneri continuano a preferire tecnologie di rete proprietarie quali Profibus, CAN e Interbus. Eppure, sebbene tutte offrano ottime prestazioni, rispetto a Ethernet queste soluzioni sono più costose e più lente. Per contro, Ethernet è più a buon mercato perché utilizza componenti facilmente reperibili e può tipicamente offrire 100 Mbps di velocità, mentre Profibus non offre di meglio che 12 Mbps. Allora, perché Ethernet non si è ancora affermata negli ambienti industriali? La ragione di ciò è unicamente il fatto che la versione standard di Ethernet non è nata per funzionare in tempo reale. In altri termini, va bene fintanto che i ritardi sono nell'ordine dei millisecondi e interessano solo due computer che comunicano all'interno di un ufficio, mentre nei processi industriali le temporizzazioni sono molto più critiche perché è indispensabile che i ritardi nelle transizioni restino nell'ordine dei microsecondi. D'altra parte, qualora fosse possibile adattare le reti Ethernet in modo da limitare severamente ritardi e jitter, ecco che per una gran parte delle implementazioni tipicamente industriali ciò sarebbe sufficiente a considerare

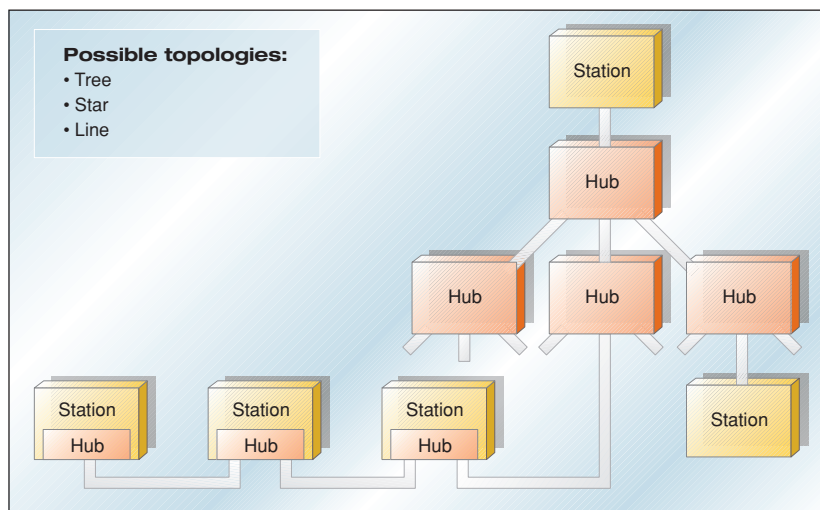


Fig. 1 - La topologia delle reti Ethernet si basa su hub strutturati ad albero, a stella o in linea

Ethernet come una soluzione di rete in tempo reale vantaggiosa rispetto ai bus di campo tanto nei costi, quanto nelle prestazioni. E siccome questi vantaggi ci sono davvero, ecco il motivo per cui sono state annunciate e proposte sul mercato alcune versioni di Ethernet in tempo reale, che non hanno mancato di suscitare un certo interesse. Qualche versione è più specializzata e ottimizzata solo per talune applicazioni industriali, mentre qualche altra ha la pretesa di essere un po' più "universale", ma nessuna si può ancora ritenere sufficientemente forte da imporsi come standard unico. In ogni caso alcuni costruttori come Freescale, Micrel e Siemens, hanno già cominciato a proporre soluzioni su semiconduttore adatte a questo scopo.

L'arbitraggio

Ethernet è basata su una struttura TCP/IP non deterministica che organizza il flusso dei pacchetti dati incolonnandoli in usci-

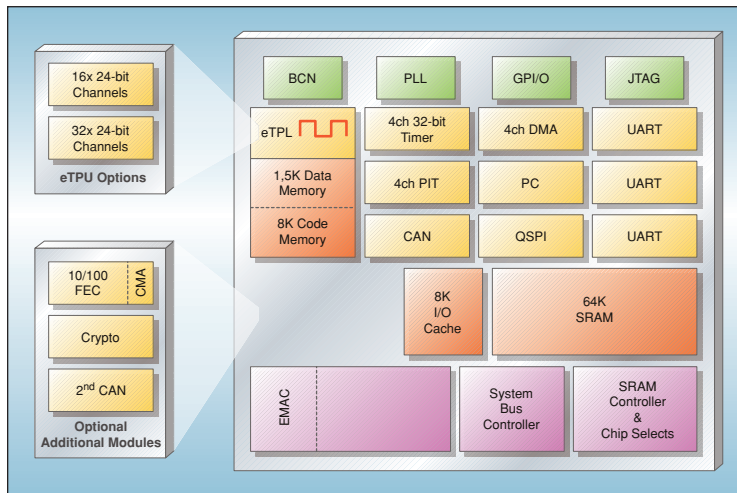


Fig. 2 - I microprocessori Freescale Coldfire offrono prestazioni fino a 410 MIPS e un'ampia dotazione di periferiche adatte alle applicazioni industriali

per un'altra: ad esempio, il controllo in tempo reale di una temperatura richiede tempi più lunghi di quelli necessari per il controllo in tempo reale di un motore.

Le topologie

In qualsiasi rete Ethernet è indispensabile un hub (Fig. 1), mentre nei bus di campo non serve perché, come dice il nome, a questi è sufficiente la propria architettura a bus. Può apparire un po' obsoleto il

ta e bufferizzandoli in entrata, con un meccanismo di routing tipico delle architetture a bus. Per gestire il bus Ethernet sfrutta un meccanismo di arbitraggio del tipo CSMA/CD tale per cui ogni nodo della rete può chiedere di occupare il bus (con un messaggio "Carrier Sense", o CS) e, non appena il bus si libera, può liberamente iniziare a trasmettere i dati. Giacché ogni nodo ha la stessa possibilità, allora il bus si dice ad accesso multiplo ("Multiple Access", MA). Con quest'impostazione, tuttavia, può succedere che due o più dispositivi chiedano di comunicare sul bus contemporaneamente e in tal caso occasionalmente si ha una "collisione" che implica che le due trasmissioni siano comunque eseguite entrambe, ma rallentate con ritardi casuali fintanto che perdura la rilevazione della collisione ("Collision Detection", CD). La sequenza CSMA/CD è, in pratica, la motivazione di base dell'aspetto non deterministico di Ethernet.

Ci sono alcune tecniche che permettono di superare questo schema di arbitraggio poco prevedibile e consistono nell'implementare un protocollo che costringe i nodi a occupare il bus solo quando gli viene comandato di farlo. Non si tratta di inibire la sequenza CSMA/CD, ma solo di aggiungere una restrizione nel software applicativo ad alto livello che gestisce gli accessi a Ethernet. Così facendo, un nodo può accedere al bus solo quando il gestore gli invia un comando apposito, il quale implica, inoltre, che quel nodo ha anche l'obbligo di iniziare la comunicazione entro un ben preciso intervallo di tempo.

L'arbitraggio senza collisioni non è l'unica prerogativa di Ethernet in tempo reale, perché di pari importanza sono i bassi ritardi, il basso jitter (ovvero l'intervallo di tempo che passa fra l'arrivo dei pacchetti, la loro identificazione e il corretto instradamento) e l'elevata affidabilità. Questi parametri non possono essere gestiti con un arbitraggio fisso perché, evidentemente, ciò che è "in tempo reale" per un'applicazione può non esserlo

nome di "hub", oggi che tutto è basato su "switch" capaci di ottimizzare qualsiasi traffico in rete a livello dei nodi. Sfortunatamente gli switch lavorano con una metodologia "store and forward" e, di conseguenza, ciascuno switch aggiunge inevitabilmente un certo ritardo in ogni pacchetto.

Per esempio, un messaggio Ethernet costituito da 64 Byte accumulerà forzatamente un ritardo minimo tipico di 5,12 microsecondi in ogni switch e tale ritardo si somma nei diversi nodi attraverso i quali deve transitare il messaggio, il che significa che le sospirate prestazioni in tempo reale finiscono per scomparire.

Per contro, gli hub lavorano in modalità "straight-through", più abile a minimizzare i ritardi e massimizzare la densità di traffico a ogni porta. A questo proposito, un costruttore del calibro di Micrel ha recentemente sviluppato una nuova famiglia di switch in grado di lavorare come hub e supportare le reti Ethernet in tempo reale richieste in ambito industriale. Questi prodotti garantiscono un ritardo "port-to-port" massimo di 310 ns (nanosecondi). La famiglia KS88xx include la gestione di switch a una, due o tre porte, nonché il controllo dei bus generici a 8, 16 o 32 bit e/o di un'interfaccia PCI. Fra le altre caratteristiche funzionali ci sono i bassi consumi, le funzioni diagnostiche LinkMD Cable Diagnostics e il crossover Hewlett-Packard HP auto-MDIX. I dispositivi di questa famiglia garantiscono la tolleranza alle temperature tipiche degli ambienti industriali e sono conformi alle normative "antipiombo" RoHS.

Reti proprietarie

Non sorprende, ma i vantaggi della maggior velocità e dell'assenza di collisioni sono già stati considerati e promessi anche nei bus di campo industriali come Profibus e Interbus-S. Diverso è il caso dei bus CAN che hanno una struttura non deterministica che lavora direttamente a livello fisico utilizzan-

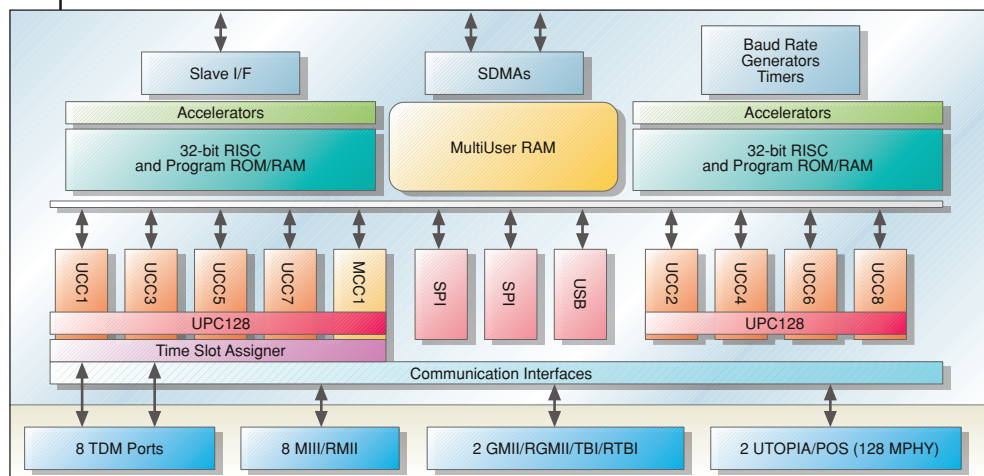


Fig. 3 - Il motore di calcolo QuiccEngine, recentemente introdotto da Freescale, consente di programmare le funzioni del coprocessore per le comunicazioni

tempo. Infine, la sincronizzazione delle temporizzazioni viene eseguita in accordo al Precision Time Protocol definito nelle norme IEEE1588.

Le comunicazioni Profinet sfruttano gli stessi frame standard Ethernet.

do dei segnali che permettono l'arbitraggio parziale del bus. Tuttavia, queste opzioni non sono adatte per Ethernet.

I candidati più seri per concretizzare Ethernet in tempo reale sono Profinet, Ethernet Powerlink ed EtherCAT (per i riferimenti dei relativi consorzi si veda la Tab. 1). Sebbene abbiano in Ethernet le stesse fondamenta, le rispettive implementazioni in tempo reale sono però sostanzialmente differenti. Innanzi tutto Profinet somiglia a Profibus solo nel nome, ma non nelle caratteristiche, anche se entrambi sono nati in casa Siemens e, per di più, ci sono molte aziende tedesche che ne hanno promosso il soprannome di "Ethernet-based-fieldbus", ossia "bus di campo su Ethernet", per sottolinearne la concezione ibrida.

Profinet è stata sviluppata in due differenti versioni in tempo reale. Profinet CBA (Component Based Automation) è più adatta per le reti che hanno temporizzazioni fra i 10 e i 100 ms e la sua impostazione nel dominio del tempo è studiata per permettere l'uso di software ad alto livello. Per le comunicazioni più lente viene usato il protocollo TCP/IP, mentre per le comunicazioni che hanno tempi di ciclo inferiori ai 10 ms è stato ideato un nuovo protocollo denominato RT (Real Time). In generale, il primo è usato per le comunicazioni acicliche (asincrone) tipiche della fase di configurazione. Inoltre, la struttura hardware del Profinet CBA è basata esclusivamente su componenti Ethernet standard.

Qualora nella rete siano installati sensori e attuatori, ecco che è necessario prevedere tempi di ciclo inferiori e soprattutto quando vi sono esigenze di sicurezza e controllo con velocità più critiche. La versione Profinet IO (Input/Output) è stata studiata per le reti con tempi di ciclo dell'ordine di 1 ms e jitter inferiori a 1 µs. Come per la versione CBA, anche Profinet IO sfrutta il protocollo RT, ma con in più una modalità di funzionamento specifica denominata Isochronous Real Time (IRT). In pratica, le funzioni in tempo reale sono organizzate in modo tale che ogni nodo può trasmettere i dati solo in determinati intervalli di

Tuttavia, la versione RT aggiunge un campo nell'intestazione VLAN dei frame dati che serve a descriverne il livello di priorità tipico di ognuno. La lunghezza minima dei frame Ethernet è di 64 Byte più 8 Byte di intestazione e ciò significa che per rispettare i ristretti vincoli di temporizzazione occorrono chip hardware capaci di prestazioni relativamente elevate (Siemens ha alcuni chip specifici per questo compito).

Un'altra soluzione Ethernet in tempo reale è Ethernet Powerlink (EPL) introdotta nel 2001 da Bernecker e Rainer, i quali insieme a Hirschmann, Lenze, Kuka e l'azienda ZHW hanno dato vita all'Ethernet Powerlink Standardization Group (EPSG). EPL è nata come una tecnologia aperta e liberamente accessibile, interamente basata su componenti Ethernet standard. Le prestazioni dell'EPL sono studiate per tempi di ciclo inferiori a 200 µs e jitter minori di 1 µs, mentre le comunicazioni si basano sulle regole dello standard CANopen e usano il protocollo TCP/IP durante le fasi asincrone all'interno di ogni slot temporale. EPL implementa le comunicazioni in tempo reale allocando degli intervalli di tempo prefissati per ogni nodo. L'arbitraggio del bus è di tipo centralizzato ed è impostato in modo tale che ogni nodo controllore e il suo relativo nodo controllato possano scambiarsi i dati solo negli intervalli di tempo che gli sono allocati e riservati. L'instradamento del traffico ricalca quanto avviene nei Media Access Controller (MAC) standard di Ethernet, eccetto che per il campo identificativo ID lungo un solo Byte per ogni nodo EPL e per il frame standard Ethernet che ha un campo che può contenere da 0 a 1498 Byte di informazioni.

Ethernet a singolo frame

Beckhoff ha introdotto un ulteriore approccio a Ethernet in tempo reale denominato EtherCAT. Questa soluzione utilizza i componenti Ethernet standard al livello fisico e conserva anche la medesima struttura dei frame, tuttavia richiede dispositivi

Tabella 1 - Riferimenti dei singoli consorzi

EtherCAT	www.ethercat.org
Ethernet Powerlink	www.ethercat-powerlink.org
Profinet	www.profinet.com

hardware differenti per gestire i trasferimenti dati. La trasmissione delle informazioni da un nodo a un altro non avviene attraverso l'invio di una serie di pacchetti, ma con l'invio di un singolo frame che trasporta nel suo campo l'indicazione delle locazioni di memoria dei nodi. In pratica, i pacchetti Ethernet non vengono più ricevuti, interpretati e processati come prima, ma ora ad ogni nodo sono ricopiati, di volta in volta, tutti i dati. In altre parole, ogni dispositivo "slave" EtherCAT legge gli indirizzi dati che gli interessano mentre il frame gli transita attraverso, per poi viaggiare verso il nodo successivo. Nel caso che il processo necessiti di dati di lunghezza superiore a 1486 Byte, allora viene impostata un'opportuna scomposizione dei frame che consente di arrivare a una lunghezza teorica massima per i dati fino a 4 GByte.

Dunque, ogni volta che il frame Ethernet arriva in un nodo, il dispositivo hardware presente ne estrae le informazioni che gli servono per aggiornare i suoi dati. Quest'operazione dev'essere eseguita rapidamente per ridurre i ritardi e un buon dispositivo hardware deve garantire di compierla in pochi nanosecondi per assicurare sufficiente velocità di comunicazione fra i nodi. Per esempio, una buona velocità di aggiornamento per 1000 I/O è di circa 30 microsecondi. Infine, anche EtherCAT sfrutta i meccanismi di sincronizzazione con jitter inferiore a 1 µs prescritti nelle norme IEEE1588.

Le tre tecniche descritte sono delle valide alternative per implementare le funzionalità in tempo reale nelle reti Ethernet. In effetti, sono state proposte altre tecniche, come ad esempio RTnet, ma non hanno riscontrato un significativo interesse, anche se è ancora presto per prevedere quale fra tutte sarà la tecnica che ha più probabilità di affermarsi.

La scelta dell'hardware

Giacché i parametri più critici delle prestazioni in tempo reale sono e devono essere controllati da dispositivi hardware appositi, ne segue che la gestione del protocollo può essere delegata a un controllore a basso costo, per esempio un processore Freescale della famiglia Coldfire. Questi dispositivi sono particolarmente adatti alle reti EPL, perché comprendono nella dotazione di base tutti gli algoritmi software necessari e sufficienti per queste applicazioni. Oltre ad avere tutto ciò che serve a supportare le connessioni Ethernet standard, i chip Coldfire garantiscono una velocità fino a 410 MIPS e un ampio supporto di periferiche, sufficiente a soddisfare una gran varietà delle applicazioni industriali (Fig. 2). Le famiglie MCF52xx o MCF54xx, per

esempio, sono particolarmente indicate a questo scopo. Se una soluzione Ethernet in tempo reale non pretende un supporto hardware specifico come EtherCAT o come i chip che Siemens ha sviluppato appositamente per Profinet, allora l'implementazione può essere più complessa. Per ridurre i ritardi è necessario usare un minimo di due MAC Ethernet e connetterli al livello fisico di Ethernet con una Media Independent Interface (MII). Inoltre, il controllore deve saper offrire buone prestazioni per essere in grado di analizzare i pacchetti in ingresso e trasferirli rapidamente in uscita. Idealmente, questa fase potrebbe essere svolta da un coprocessore e non dal controllore principale. Una famiglia di dispositivi molti adatti a questo scopo sono i Freescale PowerQuicc (come l'MPC8360) basati sulle architetture PowerPC e300 a 677 MHz. I dispositivi di questa famiglia offrono nella dotazione un modulo di comunicazione CPM (Communication Processor Module), il quale racchiude numerose funzioni di comunicazione in un codice compatto. Freescale ha recentemente aggiunto nei prodotti basati su queste architetture il Quicc Engine, che è un processore per le comunicazioni programmabile dall'utente che consente, in pratica, al progettista di inserire i suoi codici proprietari nelle implementazioni Ethernet in tempo reale.

Questione di esperienza

Le reti Ethernet in tempo reale sono una valida alternativa rispetto ai bus di campo proprietari e sono basate su componenti standard economici.

Ciò rappresenta un indubbio vantaggio se le si confronta con le prestazioni che tipicamente offrono la maggior parte delle tecnologie industriali tradizionali. Sfortunatamente, ci sono molte varianti di Ethernet in tempo reale e non c'è alcun indicatore che possa distinguerle l'una dall'altra nella corsa all'affermazione di una di esse sul mercato. In altri termini, non ci sono né vantaggi, né svantaggi particolarmente evidenti, giacché se per alcune applicazioni la priorità potrebbe essere il basso costo, in altre potrebbero essere le temporizzazioni in tempo reale.

Probabilmente la scelta migliore è quella di affidarsi agli esperti di Future Electronics, attualmente fra i distributori più entusiasti di Ethernet in tempo reale. Essi possono consigliare in modo imparziale le soluzioni più adatte a ogni applicazione e guidare gli ingegneri meno esperti a utilizzare da subito gli strumenti più ottimali per le necessità specifiche delle reti con le quali hanno a che fare.

Future Electronics Europe
readerservice.it n. 38