

A tempo di bus

La conoscenza dei tempi di trasmissione delle informazioni su un bus di campo è fondamentale sia per valutare analiticamente le prestazioni dei sistemi realizzati, sia per stabilire se un certo tipo di rete può soddisfare o meno le scadenze temporali di aggiornamento richieste in certe applicazioni. Ad esempio, è importante sapere in quanto tempo sia possibile inviare un nuovo riferimento di velocità a un azionamento, o ricevere dati da un sensore.

Obiettivo di questo lavoro è arrivare a conoscere, mediante opportune procedure di misura, i tempi di trasmissione di un segnale su bus. I risultati dell'analisi intendono costituire un valido punto di riferimento per la progettazione di sistemi in cui la comunicazione viene gestita su bus di campo, consentendo così l'adozione delle soluzioni bus economicamente più vantaggiose.

I risultati sono stati ottenuti generando, con apposite procedure, delle uscite misurabili con un semplice oscilloscopio, in modo da discriminare l'istante di arrivo di un messaggio a un nodo senza dover utilizzare un analizzatore di stato specifico del protocollo.

Per giungere a valori validi, con un'approssimazione accettabile, si sono sfruttate le caratteristiche dei dispositivi collegati in rete, aventi la possibilità di rispondere a un comando in tempi minimi o co-

munque non confrontabili con quelli di trasmissione. I requisiti richiesti sono generalmente rispettati, ad esempio, dalle schede di output digitali, il cui tempo di risposta è solitamente contenuto e caratterizzato con precisione dal costruttore. Inoltre, si è focalizzata l'attenzione sulla rete DeviceNet perché essa supporta varie modalità di scambio delle informazioni; può quindi essere impiegata in modo versatile.

DeviceNet è un sistema bus che collega, su una rete aperta, dispositivi di campo di basso livello direttamente ai controllori. Basato su tecnologia CAN (livelli 1 e 2 del modello ISO/OSI), è riconosciuto nella norma europea EN 50325 'Industrial communication subsystem based on ISO-11898 CAN for controller-device' e nello standard internazionale IEC 62026. Le specifiche del bus sono gestite da Odva, consorzio indipendente che promuove lo sviluppo e la diffusione di DeviceNet, al quale aderiscono più di 300 aziende al mondo.

L'architettura del sistema oggetto delle misure è costituita da prodotti distribuiti da Rockwell Automation.

Per questo sistema sono stati studiati i tempi di aggiornamento in rete, scambiando dati rispettivamente in modalità 'polling', 'change of state' (COS) e 'cyclic'.

Tali modalità di comunicazione sono di tipo master/slave e vengono supportate da DeviceNet insieme a funzioni di explicit messaging, peer-to-peer e multi-master&multicast.

Come primo approccio al problema sono state condotte delle prove su reti aventi una configurazione particolare, in modo da avere a disposizione una serie sufficiente di dati che permettessero successivamente di estendere il discorso ad architetture di bus generiche e più complesse, nelle quali la modalità di comunicazione potesse anche variare da nodo a nodo.

Caratteristiche del polling

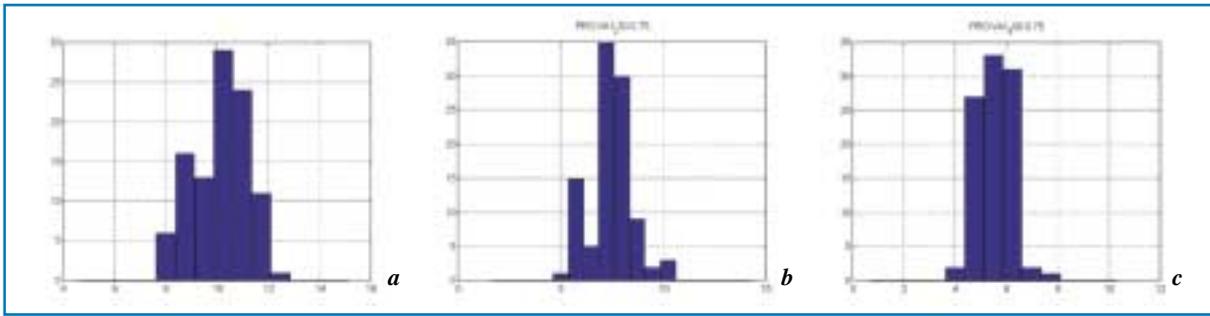
In modalità polling lo scanner DeviceNet scambia informazioni con gli oggetti collegati sul bus singolarmente e in sequenza; così si instaura sul nodo una periodicità di aggiornamento dipendente dalla quantità di dati indirizzati e dal numero delle stazioni, oltre che ovviamente dalla velocità di trasmissione. Il polling è tipicamente utilizzato per comunicare con azionamenti interfacciati alla rete, ai quali sono inviati i comandi logici (on, off, inversione di marcia, jog) e i riferimenti di velocità e dai quali si ricevono indicazioni sullo stato (on, off, fault) e sulla frequenza attuale della tensione in uscita.

L'analisi dei tempi con i quali viene portata a termine una comunicazione su bus fa da riferimento alla progettazione di sistemi fieldbus

Conoscere la periodicità di aggiornamento significa sapere ogni quanto tempo possono circolare questi dati; si è così in grado di valutare le condizioni di funzionamento più critiche. Considerando il sistema proposto da Rockwell Automation e indicati con Rx e Tx rispettivamente le informazioni ricevute e trasmesse dallo scanner di rete, con ISD (inter scan delay) un tempo, impostabile dall'utente, lasciato intercorrere fra due cicli di aggiornamento successivi, si sono effettuate delle prove nelle condizioni riassunte nella tabella a lato. I risultati delle misure effettuate alle tre possibili velocità di trasmissione supportate da DeviceNet, cioè 125, 250 e

Numero di nodo	Dispositivo	Rx	Tx
01	Inverter 1305	4 byte	4 byte
02	1794-ADN con 1794-IB16	4 byte	2 byte
03	1794-ADN con 1794-IB16 e 1794-OB16	6 byte	4 byte
04	Inverter 1305	4 byte	4 byte
05	Inverter 1305	4 byte	4 byte
06	Inverter 1305	4 byte	4 byte

Osservazione: il valore scelto per ISD è pari a 2 ms



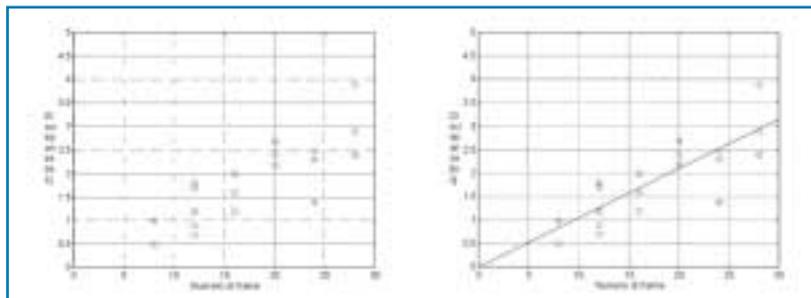
Risultati a 125 (a), 250 (b) e 500 (c) kbps

500 kbps, sono rappresentate rispettivamente negli istogrammi riportati sopra (per ogni caso si sono rilevati 100 tempi). Considerata con buona approssimazione la distribuzione dei risultati di tipo gaussiano, la migliore stima del tempo di aggiornamento, posto un fattore di copertura $k=2$ riferito a un livello di confidenza del 95%, è risultata nei tre casi:

$$\begin{aligned}
 t_{125} &= 10,1 \text{ ms} \pm 2,0 \text{ ms} & t_{250} &= 7,4 \text{ ms} \pm 2,0 \text{ ms} & t_{500} &= 5,5 \text{ ms} \pm 1,0 \text{ ms} \\
 t_{125} &= 10,1 \text{ ms} \pm 19,8\% & t_{250} &= 7,4 \text{ ms} \pm 27,0\% & t_{500} &= 5,5 \text{ ms} \pm 18,2\%
 \end{aligned}$$

Si può osservare che il comportamento reale del sistema di rete si scosta dall'idealità di un perfetto determinismo. Questo fatto è accettabile nelle applicazioni più tipiche di DeviceNet, per le quali il bus è stato progettato; in effetti, grazie anche ai software di configurazione, è possibile accedere a tutti i parametri degli oggetti collegati per modificarne i valori e definire le caratteristiche del sistema realizzato. Più critico appare invece l'impiego di DeviceNet in applicazioni di motion control dove il sincronismo costituisce un requisito fondamentale. Raddoppiando o quadruplicando la velocità di trasmissione rispetto

a 125 kbps non si riscontra lo stesso fattore di proporzionalità inversa per la durata dei cicli di scansione. A pari architettura di rete, quantità di byte inviati e ISD i tempi medi a 250 e 500 kbps risultano rispettivamente pari al 73,3% e 54,5% del tempo medio rilevato a 125 kbps. Sulla durata del ciclo influiscono i tempi impiegati per elaborazioni e operazioni legate al funzionamento del bus, i quali sono indipendenti dal baud rate della rete. Aumentando la velocità di trasmissione il tempo necessario per l'invio di tutti i bit costituenti i frame diminuisce e, conseguentemente, i tempi suddetti vengono a incidere percentualmente in modo più considerevole sulla durata dell'aggiornamento.



I grafici riuniscono i risultati ottenuti con le prove a 125 kbps (rosso), 250 kbps (nero) e 500 kbps (blu)

Una rete con architettura 'qualunque'

Dopo aver effettuato più misure al variare dell'architettura di rete, della quantità di dati inviata e del baud rate, obiettivo del lavoro è stato definire una procedura di valutazione della durata del ciclo di scansione per una rete sulla quale fossero collegati 'n' dispositivi qualunque in polling. Una stima analitica (T) dei tempi di trasmissione può essere effettuata dividendo il numero totale di bit (N_{tot}) inviati, noto una volta conosciuta la struttura del frame e la quantità di dati scambiati, per la velocità di trasmissione (V), sommando infine il valore di ISD.

$$T = \frac{N_{tot}}{V} + ISD$$

In base ai risultati delle prove si può osservare che le stime analitiche sono sempre prossime ai valori medi dei tempi misurati; in particolare questi ultimi sono più elevati. Tutto ciò è giustificato dal fatto che vi sono dei tempi richiesti da elaborazioni e procedure tipiche del funzionamento del bus che non possono essere presi in considerazione a priori. Per tale motivo si è proposto un modello di rete che, in funzione dell'architettura del bus e della quantità di dati scambiata, permetta di migliorare opportunamente il tempo stimato analiticamente. Ciò si ottiene introducendo la nozione di discrepanza ($\Delta = T_{ciclo} - T$), definita come la differenza tra il valore medio della durata del ciclo di aggiornamento (T_{ciclo}) e il tempo stimato analiticamente (T).

E' possibile rilevare l'andamento delle discrepanze in funzione del numero di frame inviati, noto in DeviceNet una volta conosciuta la quantità di dati Rx e Tx scambiati con ogni nodo e confrontata con la dimensione massima del corpo del messaggio di 8 byte prevista dal protocollo. I software per la configurazione e la gestione della comunicazione su DeviceNet, in particolare RSNetworkx, minimizzano automaticamente il numero di frame inviati, riempiendo il più possibile il corpo del messaggio, ma rispettando i limiti esistenti.

Dalla rilevazione si può notare un andamento crescente delle discrepanze all'aumentare del numero di frame. Un numero maggiore di elaborazioni per la costituzione dei pacchetti di dati incide più sensibilmente sul tempo medio di aggiornamento, il quale si discosta in modo più tangibile dalla stima effettuata. Ciò permette di definire come modello una retta passante per l'origine; in effetti, nel momento in cui non si inviano frame sul bus ci si aspetta che la durata del ciclo di aggiornamento sia nulla. Con una regressione lineare il coefficiente angolare ' θ ' della retta viene calcolato come:

$$\theta = \frac{\sum_i (x_i \cdot y_i)}{\sum_i (x_i^2)}$$

dove ' x_i ' e ' y_i ' sono rispettivamente il numero di frame e

la discrepanza corrispondenti. Il valore di ' θ ' così definito minimizza l'espressione:

$$\tau = \sum_i (y_i - \theta \cdot x_i^2) \Rightarrow \theta = 0,1 \frac{ms}{frame}$$

Il modello della discrepanza in funzione del numero di frame (x) è data dall'espressione:

$$\Delta = \theta \cdot x$$

Una valutazione della durata media del ciclo di scansione polling (T_M) su una rete generica si può quindi ottenere sommando alla stima analitica la discrepanza, calcolabile utilizzando il modello lineare una volta noto il numero di frame. Si ottiene così: $T_M = T + \Delta$. Questa procedura offre un buon riferimento per valutare il tempo medio; per fare delle considerazioni sui singoli cicli di scansione, poi, occorre mettere in conto una certa dispersione dei risultati.

COS, ovvero change of state

Il modello di scansione COS, tipicamente usato per scambiare informazioni con sensori come i fine corsa e con i moduli di I/O digitali, richiede che vengano generati I/O solo in seguito a cambi di stato o eventi, anziché in base a una lista di scansione. Tale modalità, che prevede una scansione periodica dello stato del dispositivo, consente di ridurre il traffico in rete, poiché vengono trasferite solo le informazioni essenziali, e migliora l'efficienza del sistema.

Nelle applicazioni è fondamentale conoscere il tempo che intercorre fra un cambio di stato su un nodo e l'aggiornamento della corrispondente variabile nella memoria del PLC: esso dipende, oltre che dalla trasmissione sulla rete, anche dalla periodicità di scambio delle informazioni fra scanner e PLC (RPI, requested packet interval), nel caso specifico impostata a 5 ms.

Nell'architettura di rete considerata viene scandito in COS un solo modulo di I/O, mentre con gli altri nodi la comunicazione è in polling. Dall'analisi dei valori ottenuti si possono fare alcune osservazioni. Prima di tutto, i valori risultano indipendenti dall'architettura di rete (se vi è un solo nodo in COS) e dalla quantità di dati scambiati con ogni dispositivo. Tutto ciò è determinato dal fatto che in seguito a un evento il messaggio ha priorità sul bus rispetto agli altri. I risultati sono poco influenzati dal baud rate; in effetti, per l'operazione di aggiornamento della variabile nella memoria del PLC si sono riscontrati alle tre velocità tempi medi quali:

$$t_{125} = 6,4 \text{ ms} \quad t_{250} = 5,9 \text{ ms} \quad t_{500} = 5,3 \text{ ms}$$

Aumentando l'RPI si ottengono dei tempi medi più elevati e una maggiore dispersione dei risultati. Infatti, seb-

bene il messaggio abbia priorità sul bus e venga trasferito in tempi brevi nella memoria dello scanner, si deve attendere che si attivi la comunicazione tra quest'ultimo e il PLC perché avvenga l'aggiornamento. Nelle applicazioni occorre tenere presente che quelli indicati sono i tempi di aggiornamento, ma che può intercorrere al più una scansione del PLC prima che la variabile venga elaborata. Sempre considerando un solo nodo in COS si è poi valutato il tempo di risposta del bus, inteso come tempo che intercorre fra un input su un modulo in rete e un output sul bus comandato dal primo input. Generando l'ingresso e l'uscita su un dispositivo in COS si è potuto definire un ordine di grandezza del tempo di risposta minimo della rete, proprio perché i messaggi generati sono ad alta priorità. Le prove sono state svolte caricando nel PLC un programma avente un tempo di scansione minimo dell'ordine di qualche decina di μ s, tale da non influire in modo sostanziale sui risultati ottenuti. Nelle applicazioni il tempo di risposta del bus risulta maggiore perché influiscono su di esso anche i tempi di elaborazione del controllore. Per ogni architettura di rete considerata, al variare della quantità di dati inviati e del baud rate con RPI pari a 5 ms, il tempo di risposta è variato all'incirca fra i 9 ms e i 19 ms. In ogni prova si è considerato un solo nodo in COS. Ci si deve attendere che aumentando il numero di stazioni che possono generare frame a elevata priorità, le prestazioni risultino inferiori.

La comunicazione ciclica

La modalità di comunicazione cyclic prevede che lo scanner di rete scambi informazioni con un nodo sia in input che in output a intervalli di tempo regolari, secondo una periodicità impostata dall'utente. Questa è rispettata con buona precisione indipendentemente dalla velocità di trasmissione e dalla quantità di dati indirizzati. Aumentando il numero di nodi scanditi in polling le prestazioni sono le medesime, visto che il messaggio inviato a una stazione in cyclic ha priorità assoluta sugli altri. Problemi legati al rispetto della periodicità di aggiornamento sul nodo potrebbero presentarsi nel momento in cui in rete fossero presenti più nodi scanditi in COS o cyclic, poiché lo scanner dovrebbe gestire più messaggi a priorità elevata e, se la richiesta di accesso al canale di trasmissione fosse contemporanea, l'invio di alcuni frame potrebbe essere ritardato.

Teoria applicata

Fino ad ora le prestazioni delle varie modalità di comunicazione sono state analizzate singolarmente. Occorre però estendere le considerazioni a situazioni più complesse. Le prestazioni di una rete come DeviceNet, che permette di scegliere fra più tecniche d'indirizzamento e tipologie di servizi di comunicazione, dipendono anche da come il progettista decide di utilizzarla.



Foto: Oracle

Le prestazioni ottenibili scambiando informazioni in polling possono risultare inferiori dal punto di vista della durata del ciclo di aggiornamento e del determinismo nel momento in cui in rete siano presenti altri nodi, ad esempio in cyclic o COS. Tali modelli di scansione danno priorità sul bus al messaggio proveniente da determinate stazioni e il fatto che una comunicazione di questo genere avvenga o no all'interno di un ciclo di aggiornamento influisce sulla durata dello stesso.

Se si misurasse il tempo di una scansione in una situazione di questo tipo ci si dovrebbero attendere dei tempi medi più elevati e una maggior dispersione dei risultati.

Nel caso in cui in rete vi siano più nodi scanditi in modalità cyclic o COS si potrebbero verificare problemi di conflitto per l'accesso al canale di comunicazione, con il conseguente degrado delle prestazioni.

Sarà compito del progettista configurare la rete in modo da ottimizzare il traffico delle informazioni sul bus a seconda delle esigenze del sistema.

La conoscenza dei tempi di comunicazione permette di valutare analiticamente il comportamento del sistema in varie situazioni di funzionamento, una volta noti le caratteristiche e i tempi di risposta dei dispositivi interfacciati alla rete, il tempo di scansione del PLC, i valori impostati dei parametri, ecc... Ad esempio, è possibile stimare con sufficiente approssimazione il tempo necessario a inviare il segnale di 'run' a un certo numero di azionamenti, i quali devono avviarsi magari uno dopo l'altro, secondo una data sequenza. ■