

di Holger Zeltwanger (\*)

# CAN-FD: IL CAN VELOCE



**B**osch ha introdotto un nuovo protocollo per lo strato di collegamento dati che rimedia a due delle limitazioni storiche del protocollo CAN: la velocità di trasmissione a 1 Mbps e gli 8 byte di lunghezza del campo dati. Il nuovo protocollo, denominato CAN-FD, rimane retro-compatibile con lo standard CAN, questo significa che è possibile utilizzare entrambi i protocolli sulla medesima rete, a patto che tutti i nodi siano in grado di comprendere i frame CAN-FD.

Utilizzando lo strato applicativo Canopen su CAN-FD diventa possibile trasmettere dati a velocità più elevate e utilizzare PDO (Process Data Object) e messaggi di emergenza 'Emcy' più lunghi. Il ricorso a più ampi campi dati permette anche di incrementare la banda, per esempio durante il download del software, anche se per fare ciò è necessario introdurre nuovi protocolli SDO.

## Più veloce

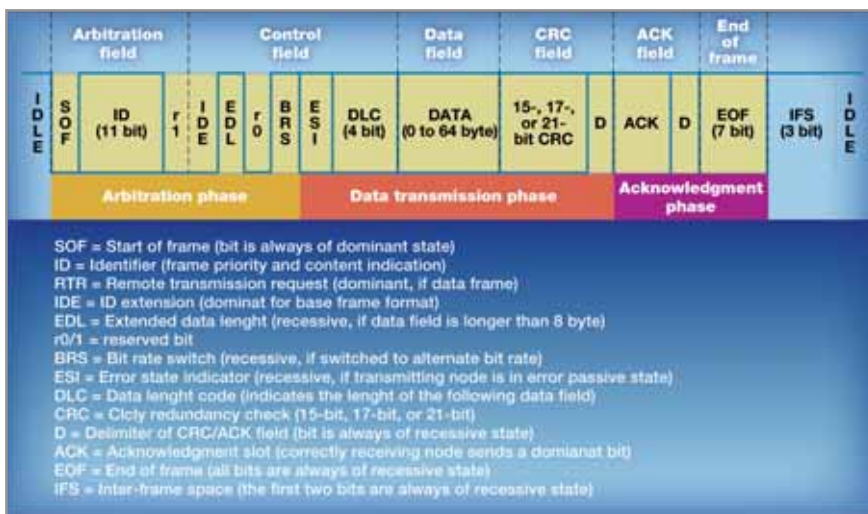
Il protocollo CAN-FD permette di aumentare la velocità di trasmissione quando a un solo nodo è permesso di inviare bit dominanti di stato. Questo ha luogo dopo la fase di arbitraggio e prima della fase di acknowledgement. Il campo dati può superare la lunghezza di 8 byte e arrivare a un massimo di 64 byte.

Il frame dati di CAN-FD assomiglia a quello di CAN ma introduce alcuni nuovi bit.

Se il bit EDL (Extended Data Length) che segue il bit IDE (ID Extension)

## IL NUOVO PROTOCOLLO CAN-FD INTRODOTTO DA BOSCH INNALZA I LIMITI DELLA VELOCITÀ DI TRASMISSIONE E DELLA LUNGHEZZA DEL CAMPO DATI DEL BUS CAN

In occasione della 13a conferenza internazionale dedicata al protocollo CAN (iCC-International CAN Conference) Bosch e Vector hanno mostrato un prototipo di rete CAN-FD funzionante a 15 Mbps: poiché non tutte le topologie di rete, per esempio quelle a stella, sono in grado di raggiungere queste velocità, un gruppo di lavoro di CiA - CAN in Automation sta facendo ricerca in questo campo al fine di pubblicare delle raccomandazioni relative allo strato fisico per le diverse topologie di rete. Affinché i dispositivi possano funzionare insieme sulla stessa rete è inoltre necessario rendere standard i bit-rate nella fase di trasmissione dati. Il bit ESI (Error State Indicator) informa i ricevitori dello stato di errore in cui si trova il trasmettitore (errore attivo o errore passivo). Si tratta di una nuova funzione che si rivela utile in fase di progettazione del sistema e che non è presente nei tradizionali frame dati CAN. Lo stato passivo di errore rappresenta una criticità dal punto di vista del sistema, dato che quando uno dei nodi è in uno stato di errore passivo non è più garantita la consistenza dei dati su tutta la rete. È stato esteso anche il campo DLC (Data Length Code): le combinazioni di bit precedentemente non utilizzate hanno ora la funzione di denotare i campi dati estesi.



Reference	DLC 3	DLC 2	DLC 1	DLC 0	No of bytes
ISO 11898-1	0	0	0	0	0
	0	0	0	1	1
	0	0	1	0	2
	0	0	1	1	3
	0	1	0	0	4
	0	1	0	1	5
	0	1	1	0	6
	0	1	1	1	7
CAN-FD	1	0	0	0	8
	1	0	0	1	12
	1	0	1	0	16
	1	0	1	1	20
	1	1	0	0	24
	1	1	0	1	32
	1	1	1	0	48
	1	1	1	1	64

Il frame dati di base del protocollo CAN-FD supporta campi dati di lunghezza massima pari a 64 byte

La codifica DLC (Data Length Code)

ion) è recessivo, il frame dati viene interpretato come un messaggio CAN-FD. Alla velocità di trasmissione è consentito di aumentare dopo il bit BRS (Bit-Rate Switch).

I polinomi di controllo ciclico della ridondanza (CRC) utilizzati dal protocollo CAN-FD variano in base alla lunghezza del campo dati. Per campi dati fino a 8 byte viene utilizzata la normale sequenza CRC a

15 bit; per campi di lunghezza compresa tra 9 e 16 byte è richiesta una sequenza CRC da 17 bit; per campi dati superiori a 17 byte, infine, deve essere usata una sequenza da 21 bit. Tutti i polinomi CRC specificati garantiscono una distanza di Hamming pari a sei, ossia sono in grado di rilevare fino a 5 bit errati disposti in modo casuale. Il resto del frame è identico al tradizionale frame CAN. Il bit di acknowledgement viene trasmesso con lo stesso (basso) bit-rate utilizzato nella fase di arbitraggio. Va infine osservato che il protocollo CAN-FD non supporta in alcun modo i frame remoti. Le reti CAN-FD possono appoggiarsi alla stessa rete fisica utilizzata nelle normali reti CAN, ossia sugli stessi transceiver, connettori e cavi. Ovviamente, l'estensione spaziale della rete continua a limitare il bit-rate nelle fasi di arbitraggio e acknowledgement, ma questo non è più un problema per l'alta velocità consentita durante la fase di trasmissione dati. L'incremento di velocità dei frame è determinato dal fattore tra la durata di un bit nella fase di trasmissione dati e la velocità durante le fasi di arbitraggio/ACK. Questo fattore presenta due limiti: il primo è rappresentato dalla velocità dei transceiver, per cui bit troppo corti non possono essere decodificati; il secondo risiede nella risoluzione temporale del meccanismo di sincronizzazione del bus CAN. Quando si passa alla velocità di trasmissione più alta è necessario compensare un errore di fase pari a un quanto temporale in termini di durata dei bit standard.

## Due velocità

Nel protocollo CAN-FD bisogna specificare due diversi bit-rate: il primo è quello utilizzato dal protocollo CAN tradizionale per le fasi di arbitraggio e acknowledgement; il secondo è quello riferito alla fase di trasmissione dati. Tanto la durata  $t_q$ , quanto il numero di  $t_q$  nell'intervallo di un bit possono essere differenti nelle due configurazioni. È possibile avere gli stessi parametri in entrambe le configurazioni, mentre non è ammesso che la durata dei bit nella fase di trasmissione dati sia superiore a quella nelle fasi di arbitraggio/ACK.

I due bit corrispondenti alla transizione di velocità hanno una durata intermedia, visto che le configurazioni cambiano in corrispondenza del punto di campionamento. In base alle norme ISO 11898-2/5 gli attuali transceiver CAN possono avere un ritardo di anello, dal terminale CAN\_Tx a quello CAN\_Rx, di 255 ns massimo. Dato che i trasmettitori devono verificare eventuali errori nei bit che hanno trasmesso, questo valore permette di porre un limite inferiore alla durata di un bit nella fase di trasmissione dati, se il controllo deve essere fatto in corrispondenza del punto di campionamento del bit.

Dalle misure fatte da Bosch emerge che gli attuali transceiver CAN sono in grado di trasmettere e ricevere bit di durata inferiore al proprio ritardo di anello. In questo caso la verifica di bit errati subisce un ritardo dovuto al tempo necessario affinché il valore del bit trasmesso dall'uscita CAN\_Tx venga ricevuto dall'ingresso CAN\_Rx. A questo serve il meccanismo di compensazione del ritardo nei transceiver CAN-FD. Si tratta di un meccanismo che non viene utilizzato dai ricevitori, ma solo dai trasmettitori che lo applicano nella fase di trasmissione dati. Il punto nel tempo in cui il valore del bit ritorna al transceiver e viene controllato viene denominato punto di campionamento secondario (SSP - Secondary Sample Point).

In pratica, l'esatto ritardo di anello non è un valore statico ma varia, oltre che con le caratteristiche del chip del transceiver, al variare della temperatura. Il controller del protocollo CAN-FD può effettuare una misura del ritardo per determinare la posizione ottimale del punto SSP. Per ogni frame CAN-FD il trasmettitore misura il ritardo tra i dati trasmessi dall'uscita CAN\_Tx e quelli ricevuti dall'ingresso CAN\_Rx. La misura viene effettuata durante la fase di arbitraggio e prima della commutazione di bit-rate, nel passaggio dal bit EDL al bit r0. Un contatore provvede a misurare il ritardo in periodi del clock di sistema.

Questa misura ha inizio all'inizio del bit r0 su CAN\_Tx e ha termine quando un fronte viene rilevato su CAN\_Rx. Il risultato è un valore specifico per ciascun nodo, che non dipende dai ritardi di propagazione sulla linea del bus CAN. Al valore misurato del ritardo viene sommato un offset configurabile, che permette di posizionare il punto SSP al centro dei bit rilevati dal ricevitore CAN\_Rx. Utilizzando la propria implementazione su Fpga del protocollo CAN-FD e transceiver realizzati con normali chip CAN ad alta velocità, come NXP TJA1040, Bosch ha realizzato una rete in topologia bus da 42 m dotata di sette nodi funzionanti alla massima velocità di 500 kbps nella fase di arbitraggio/ACK e di ben 15 Mbps in quella di trasmissione dati. Questo prototipo di rete ad alta velocità è stato messo a punto in laboratorio a temperatura ambiente.

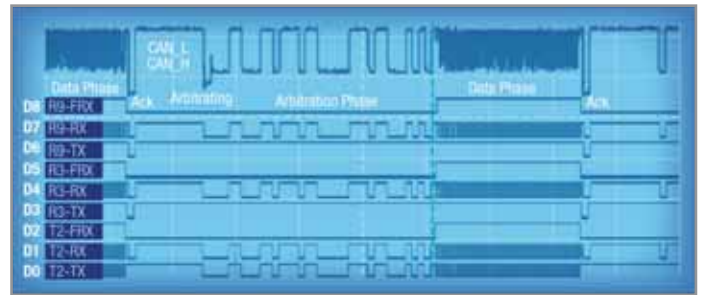
## PDO estesi

Uno dei limiti delle attuali reti Canopen è rappresentato dalla lunghezza degli oggetti che riportano i dati di processo (PDO - Process Data Objects), che devono essere mappati in un singolo frame dati e non possono essere segmentati. In alcune applicazioni, però, è necessario inviare più di 8 byte di dati tutti insieme. Questo avviene in particolare in casi complessi come quelli di controllo assi, in cui è necessario inviare simultaneamente tutti i valori di posizione che devono essere raggiunti; un altro esempio è rappresentato dall'interpretazione dei PDO in determinate modalità specificate dal profilo di motion control CiA 452 per PLCopen Motion.

Nel protocollo CAN tradizionale per aggirare la limitazione di 8 byte si provvede a trasmettere diversi PDO in maniera sincronizzata, per poi riassettarli nello strato di applicazione utilizzando, per esempio, numeri di trasmissione univoci. Il ricorso al protocollo CAN-FD, con i suoi frame dati estesi, permette di utilizzare campi dati più ampi, in grado di ospitare in un singolo PDO la parola di comando, la modalità di comando e tutti i valori desiderati di posizione e velocità. Tutto questo si traduce in una semplificazione dei dispositivi e del sistema nel suo complesso.

Se viene consentita solo una mappatura bit per bit, non è nemmeno necessario estendere il parametro di mapping dei PDO. Gli attuali parametri di mappatura dei PDO permettono già di mappare fino a 64 dati di processo. Ovviamente la mappatura bit per bit è limitata a un blocco dati di 8 byte.

Gli I/O conformi alle specifiche CiA 401 possono trarre vantaggio dalla disponibilità di payload di maggiori dimensioni. Se per l'I/O completamente digitale 8 byte sono sufficienti a rappresentare 64 segnali di I/O, questo non è più vero nel caso di moduli dotati di I/O analogico. Stando a CiA 401 la mappatura dal secondo al quarto PDO riporta quattro valori analogici da 2 byte. Tuttavia nelle applicazioni industriali il numero di segnali analogici su un singolo dispositivo modulare Canopen è generalmente più alto. Sono questi dispositivi modulari che traggono vantaggio dalla disponibilità di un payload esteso. Per esempio, nel caso di un PDO con un carico utile di soli 32 byte, diventa possibile trasmettere fino a 16 canali analogici in un singolo PDO, contro i 12 canali attualmente disponibili aggregando tre PDO. Se il dispositivo supporta la mappatura dinamica diventa addirittura possibile avere fino a 64 I/O digitali e 12 canali analogici liberamente configurabili in un singolo PDO. E se si utilizzano valori in virgola mobile da 4 byte i benefici sono ancora maggiori.



Frame CAN-FD con campo dati di 64 byte alla velocità di 12 Mbps

## Nuovi protocolli SDO

Esistono due modi per migliorare le comunicazioni SDO (Service Data Object) durante la configurazione del sistema: il primo consiste nel ricorrere al più alto bit-rate per incrementare la velocità di trasferimento dei dati, in particolare quando viene scaricato il software o sono caricati i dati diagnostici. Con l'introduzione di nuovi servizi SDO con segmenti da 64 byte non solo aumenta il throughput, ma diventa anche possibile indirizzare array e record con un unico veloce accesso SDO, limitato a un carico utile di 63 byte. D'altro canto, l'implementazione dei protocolli SDO dovrebbe essere mantenuta semplice; è per questo che attualmente tutti i messaggi PDO hanno una lunghezza dati di 8 byte. Per conservare la semplicità d'implementazione è preferibile definire nuovi protocolli opzionali, che verranno utilizzati solo da quelle applicazioni che potranno realmente trarre vantaggio dalle nuove opportunità introdotte. Per il trasferimento di interi blocchi SDO, impiegato principalmente durante il download del software, un maggiore carico utile si può rivelare vantaggioso e capace di accelerare il trasferimento di grandi quantità di dati. Nella definizione dei protocolli SDO per payload estesi è importante prestare attenzione ai byte inutilizzati, per evitare che i vantaggi di una più alta velocità di trasmissione vengano vanificati sprecando byte nel campo dati. In generale, gli altri protocolli di comunicazione Canopen non traggono beneficio dalla disponibilità di payload estesi; fa eccezione il messaggio di emergenza (Emcy), che può includere informazioni diagnostiche dettagliate. Anche il protocollo Srdc (Safety-Related Data Objects) può trarre vantaggio da campi dati più estesi, in maniera analoga a quanto accade con i PDO. L'incremento di throughput rappresenta un miglioramento anche per le comunicazioni legate alla sicurezza. Le attuali limitazioni di 64 Srdc possono essere superate e, grazie al carico utile esteso, diventa possibile trasmettere in un singolo segmento di rete una maggiore quantità di informazioni di processo relative alla sicurezza.

## Microcontrollori di prossima generazione

L'adeguamento di un profilo di comunicazioni Canopen allo strato di collegamento dati CAN-FD è sorprendentemente semplice. Non è difficile adottare gli stack di protocollo attualmente disponibili; oltre alla configurazione dei parametri del secondo bit-rate è necessario gestire con attenzione tutti i frame buffer per tenere conto dell'accresciuta dimensione dei frame (fino a 32 o 64 byte), un aspetto particolarmente delicato in tutte quelle applicazioni dedicate, o embedded, in cui le risorse di memoria sono limitate. CiA pubblicherà le specifiche avanzate CiA 301 quando saranno stati implementati nei microcontrollori dei controllori CAN-FD di più di un produttore di chip. ST Microelectronics, Infineon, Freescale e Fujitsu si sono dimostrati interessati a implementare il nuovo protocollo nella prossima generazione di microcontrollori.

(\*) Traduzione a cura di Massimo Giussani