

Le memorie a semiconduttore

Nei sistemi industriali si ricorre sempre più spesso alle memorie allo stato solido di tipo flash in sostituzione delle memorie di massa a disco. Le memorie flash, però, si usurano, per cui bisogna saper scegliere il modello più adatto alla propria applicazione per rispettare i parametri di durata

MARCO CARATTI

Le tecnologie oggi più diffuse per sostituire le memorie di massa magnetiche con componenti allo stato solido a semiconduttore sono le memorie flash di tipo SD (Secure Digital) e Compact Flash (CF). Le memorie SD sono decisamente orientate al mercato consumer, in particolare telefonini e fotocamere, e raramente possono trovare applicazione in ambito industriale. Le memorie Compact

Flash, invece, sono disponibili sia per applicazioni 'consumer', sia per applicazioni industriali. La differenza tra i prodotti è notevole per quanto riguarda la durata e l'affidabilità. Infatti, proprio per la loro costituzione fisica, i componenti di memoria utilizzati nei moduli Compact Flash sopportano un numero finito di riscritture, dell'or-

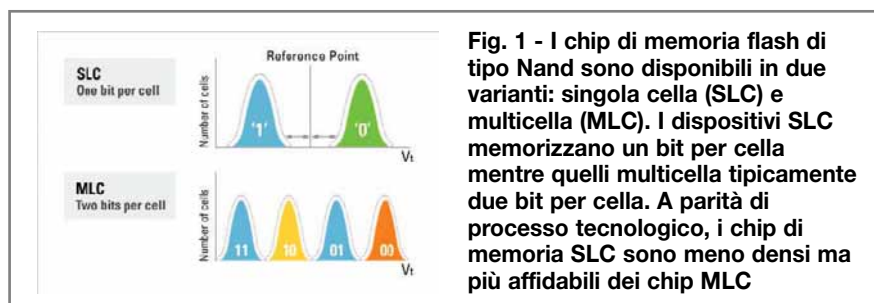
dine delle decine di migliaia di cicli per i chip a più alta densità e dell'ordine delle centinaia di migliaia di cicli per quelli a densità inferiore. Di conseguenza, all'interno dei moduli Compact Flash vengono inseriti componenti intelligenti (di solito un microcontrollore Risc dedicato) che, sfruttando algoritmi di correzione dell'errore e aree di memoria supplementare per garantire la ridondanza dei dati, aumentano artificialmente la vita operativa dei moduli Compact Flash anche quando sono soggetti a un numero elevato di operazioni di riscrittura.

Il processo è del tutto trasparente all'utente finale e le memorie Compact Flash sono oggi in grado di garantire vite operative anche dell'ordine delle decine e centinaia di anni, ma solo quando si scel-

gono dei modelli adatti alle applicazioni industriali.

Durata e ritenzione dei dati

I parametri più importanti per definire il comportamento di una memoria di massa, oltre alle velocità di accesso e scrittura, sono la durata (o vita utile) e la capacità di riten-



Flash, invece, sono disponibili sia per applicazioni 'consumer', sia per applicazioni industriali. La differenza tra i prodotti è notevole per quanto riguarda la durata e l'affidabilità. Infatti, proprio per la loro costituzione fisica, i componenti di memoria utilizzati nei moduli Compact Flash sopportano un numero finito di riscritture, dell'or-

zione dei dati. Con durata si intende la capacità della memoria di funzionare nel tempo, espressa in termini di anni, oppure in numero di cicli di lettura e scrittura. Per capacità di ritenzione dei dati, invece, si intende il tempo che può intercorrere tra il momento in cui un dato è stato scritto sul supporto di memorizzazione, e il momento in cui può essere ancora letto in modo affidabile. La maggior parte delle memorie a semiconduttore non volatili oggi disponibili commercialmente ha una garanzia di ritenzione dei dati di almeno 10 anni, che è sufficiente nella maggior parte delle applicazioni. Più critico è invece il valore della durata (endurance), in quanto in termini di tempo è influenzato notevolmente da come la memoria viene utilizzata. Infatti, le memorie flash 'si consumano' ad ogni operazione di riscrittura dei dati.

Di conseguenza, è importante tenere presente che la durata non definita dal solo dispositivo di memorizzazione è influenzata dalla combinazione delle caratteristiche del supporto di memorizzazione e della tecnologia del controllore che determina la durata di un sistema di memoria di massa. Un supporto magnetico, ad esempio, è di un ordine di grandezza meno affidabile di una memoria flash Nand, tuttavia la tecnologia del controllore utilizzata nei dischi rigidi a rotazione è in grado di compensare questa mancanza per ottenere risultati di affidabilità equivalenti a quelli dei sistemi di memorizzazione allo stato solido. La durata in termini di cicli di lettura e scrittura per la memorizzazione allo stato solido è definita in vari modi dai diversi produttori. Alcuni definiscono la durata a livello di blocco fisico, mentre altri la definiscono a livello di blocco logico. Altri ancora la definiscono a livello di scheda o di drive.

Poiché la durata è correlata anche alla ritenzione dei dati, essa può avere un valore superiore se il valore garantito per la ritenzione dei dati è inferiore. Per questi motivi è spesso difficile realizzare un confronto diretto della durata (cicli di lettura/scrittura) basandosi solamente su questi valori nella specifica tecnica.

Un metodo migliore per valutare la durata è suddividere la sua specifica nei componenti principali da cui dipende il calcolo della durata stessa: dispositivo di memorizzazione, capacità di correzione degli errori e algoritmo della distribuzione uniforme del livello di usura.

Tra gli altri fattori da cui dipende la durata vi sono la quantità di settori liberi disponibili e se la scrittura viene realizzata utilizzando il File system o l'indirizzamento diretto dei blocchi logici.

Mentre questi elementi possono contribuire al calcolo della durata totale, i loro effetti sul numero risultante sono molto meno importanti rispetto a quelli dei tre parametri

sopracitati. Ogni fattore sarà analizzato singolarmente, presupponendo una ritenzione dei dati di 10 anni.

Dispositivo di memorizzazione

La tecnologia più utilizzata per la memorizzazione non volatile allo stato solido in ambito industriale è quella dei chip di memoria flash Nand. Anche se la tecnologia flash NOR rappresenta una soluzione alternativa possibile, l'utilizzo della tecnologia NOR è limitato tipicamente ad applicazioni che non prevedono operazioni di scrittura



Fig. 2 - Alcuni esempi di memorie di massa per uso industriale basate su memorie flash e algoritmi di controllo ottimizzati che garantiscono una durata sostanzialmente infinita dei moduli di memoria

molto frequenti, in quanto esse sono molto più lente rispetto a quelle ottenibili con la tecnologia Nand. Le economie di scala e la densità di componenti della tecnologia Nand rispetto alla NOR la rendono la soluzione ideale per i sottosistemi di memorizzazione non volatile allo stato solido.

Le due tecnologie Nand più importanti attualmente disponibili sono la SLC (Single-Level Cell, denominata anche binaria) e la MLC (Multi-Level Cell). La tecnologia SLC memorizza un bit per ogni cella di memoria elementare, mentre la tecnologia MLC ne memorizza due o più. In figura 1 è mostrato un confronto fra SLC e MLC. In linea di massima, i singoli circuiti integrati in tecnologia Nand SLC prevedono a specifica 100.000 cicli di lettura/scrittura per blocco.

Un equivalente circuito integrato in tecnologia Nand MLC, invece, prevede a specifica 10.000 cicli di lettura/scrittura per blocco.

Quindi, i due tipi di chip di base con cui si costruiscono le memorie di massa a semiconduttore possono avere durate intrinseche di un ordine di grandezza diversa. Però, utilizzando i codici di rilevamento e correzione errori (ECC), si possono ottenere risultati di durata analoga. In sostanza, i codici ECC aggiungono ridondanza (e complessità del controllore) alle informazioni memorizzate in modo da renderle più affidabili. Aumentando il numero di bit destinati ai codici ECC si ottiene un aumento dell'affidabilità percepita dall'applicazione e, quindi, della durata utile del dispositivo.

Correzione degli errori

Una parte della specifica dei componenti di memoria allo stato solido si riferisce alla correzione degli errori. Ad esempio, i componenti Nand SLC prevedono a specifica 100.000 cicli di lettura/scrittura con 1 bit di ECC.

Quindi, le specifiche migliorano con un algoritmo migliore di correzione degli errori.

La maggior parte delle flash card utilizza algoritmi di correzione degli errori con una correzione da due a quattro bit. Alcuni costruttori specializzati in memorie di massa per applicazioni industriali utilizzano la correzione di errore a 6 b. In sostanza, la correzione a 6 b è la capacità di correggere fino a 6 B in un settore da 512 B.

Dato che un byte è costituito da 8 b, significa in pratica che un controllore di questo tipo è in grado di correggere 48 b se questi bit sono limitati a 6 B nel settore.

La stessa definizione vale per la correzione a due e quattro bit.

La relazione fra il numero di byte per settore che il controllore è in grado di correggere non è direttamente proporzionale alla durata complessiva, poiché il tasso di guasto del bit in una flash Nand non è lineare. In altri termini, la correzione degli errori a sei bit non è necessaria-

mente tre volte migliore di quella a due bit di ECC. Nella maggior parte dei casi è migliore.

Distribuzione uniforme del livello di usura

L'altra tecnica utilizzata dai controllori di memorie di massa flash per 'allungarne la vita' è la distribuzione del livello di usura. Il principio fondamentale di questa tecnica in tutte le sue varianti è quello di evitare che si vadano a riscrivere sempre le stesse celle di memoria le quali, se usate troppo spesso, si deteriorerebbero e determinerebbero la fine dell'operatività dell'intero dispositivo, anche in presenza di molte altre celle probabilmente ancora vergini o poco usurate.

La distribuzione uniforme del livello di usura ripartisce uniformemente le scritture dei dati in tutto il dispositivo di memorizzazione.

Più in dettaglio, la distribuzione uniforme del livello di usura è un algoritmo per cui il controllore nel dispositivo di memorizzazione rimappa gli indirizzi dei blocchi logici in diversi indirizzi dei blocchi fisici nella matrice della memorizzazione allo stato solido. La frequenza di questa rimappatura, l'algoritmo per la ricerca dell'area 'meno

usurata' in cui scrivere i dati e le capacità di swapping (scambio) dei dati sono tipicamente considerati proprietà intellettuale del fornitore del controllore.

E' importante notare che la distribuzione uniforme del livello di usura è realizzata dal controllore della memoria allo stato solido ed è indipendente dal sistema di host. Il sistema di host esegue le proprie letture e scritture solamente negli indirizzi dei blocchi logici e, fino a quando l'host lo consente, i dati rimangono nella stessa locazione.

Le prime schede di memoria flash utilizzate come memorie di massa non utilizzavano la distribuzione uniforme del livello di usura e quindi non erano adatte ad applicazioni con molte operazioni di scrittura.

Per questo motivo, le flash card senza la distribuzione uniforme del livello di usura sono utilizzabili solo in applicazioni di elettronica consumer.

Differenza tra memorie flash NAnd e NOR

Sebbene siano da considerare entrambe importanti tecnologie per la memorizzazione di massa allo stato solido, le memorie flash di tipo NAnd e di tipo NOR rispondono a obiettivi di progetto completamente differenti che si rifanno alle differenti caratteristiche delle due soluzioni. I dispositivi NOR offrono le migliori caratteristiche di lettura e accesso casuale, il che le rende molto adatte per memorizzare codici di programma in tutti i dispositivi portatili. Però, le celle di memoria NOR devono essere gestite dal controllore una per una, il che rende le operazioni di scrittura e cancellazione molto più lente rispetto a quelle delle NAnd. Inoltre, la cella elementare NOR è più grande rispetto a quella NAnd, per cui i chip di memoria NAnd sono in

generare più densi e meno costosi rispetto a quelli NOR a parità di processo produttivo. Al contrario, le memorie flash di tipo NAnd offrono caratteristiche migliori in scrittura e cancellazione ma sono molto più lente in lettura rispetto alle NOR. Quindi, quando la memoria a semiconduttore è pensata come alternativa al disco fisso, in genere la tecnologia di riferimento è quella NAnd, in quanto supporta molto meglio le frequenti operazioni di riscrittura che ci si aspetta avvengano in un sistema di elaborazione dati.

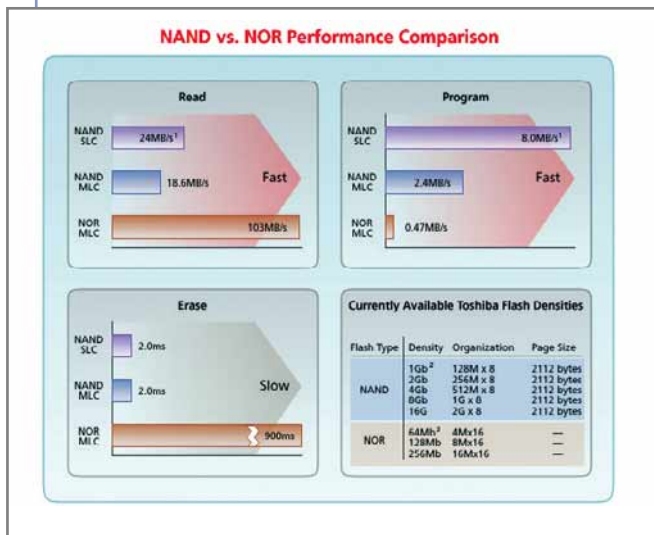


Fig. 3 - Le principali differenze tra caratteristiche delle memorie flash di tipo NAnd e di tipo NOR