

Istituto Professionale di Stato per l'Industria e l'Artigianato
MORETTO
Via Luigi Apollonio, 21 BRESCIA

Introduzione al DSP (Digital Signal Processing) Elaborazione Digitale dei segnali

**DSP Teaching Kit Student's Guide
Texas Instruments 1996**

Curato dagli alunni :

CORINI ROBERTO

TERILLI FABRIZIO

classe 5BI TIEE

corso per Tecnici delle Industrie Elettriche ed Elettroniche

anno scolastico 1996-97

**DSP Teaching Kit Student's Guide
Texas Instruments 1996**

Premessa del Docente

Texas Instruments azienda leader nel campo del DSP ha messo a disposizione dei propri clienti un kit didattico per apprendere i primi rudimenti dell'uso del DSP. Oltre al dispositivo hardware, agli strumenti di sviluppo software ha corredato il kit con un breve corso in lingua inglese che è stato preparato dai docenti dell'Università di Hertfordshire (Gran Bretagna). Il corso è strutturato in 5 unità didattiche :

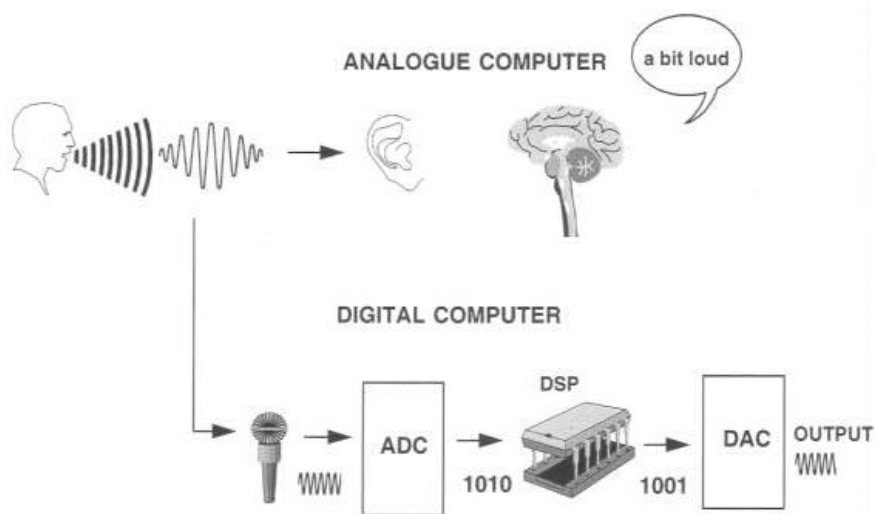
- *Introduzione al DSP,*
- *Dalle tecniche analogiche a quelle digitali,*
- *Il filtraggio*
- *Il dominio della frequenza,*
- *Le applicazioni del DSP.*

Nel corso del presente anno scolastico ci siamo proposti di tradurre il materiale relativo alle unità 1, 2. Il lavoro è stato affidato ad alcuni degli studenti più motivati della classe.

Cleto Azzani

Giugno 1997

Che cos'è un DSP (1-1)



Il mondo in cui viviamo è pieno di segnali che noi avvertiamo attraverso i nostri sensi; esempi di segnali sono il suono, la temperatura e la luce. Nel caso del suono noi possiamo utilizzare le nostre orecchie per convertirlo in impulsi elettrici diretti al cervello. Noi possiamo analizzare le proprietà quali l'ampiezza, la frequenza e la fase per suddividere tra loro in categorie i suoni e per determinare la loro direzione di provenienza. Possiamo perciò distinguere un brano musicale, da un testo parlato o il rumore dei pneumatici durante una frenata.

Il nostro corpo è equipaggiato con cinque categorie di sensori (cinque sensi): udito, vista, gusto, tatto, olfatto e un computer estremamente potente: il nostro cervello.

Il nostro cervello lavora con segnali elettrici che possono essere rappresentati da variabili continue nel tempo come l'intensità del suono, la pressione e così via. Questi segnali variabili in modo continuo sono noti come segnali analogici. Il nostro cervello può essere considerato come un computer analogico estremamente potente. Sebbene noi possiamo costruire computer analogici, noi siamo maggiormente familiari con computer di tipo digitale come un PC. Questi computer sono eccellenti nella elaborazione numerica in applicazioni quali data-bases o fogli elettronici, ma non sono particolarmente adatti alla elaborazione di segnali variabili con continuità che si trovano nel mondo reale.

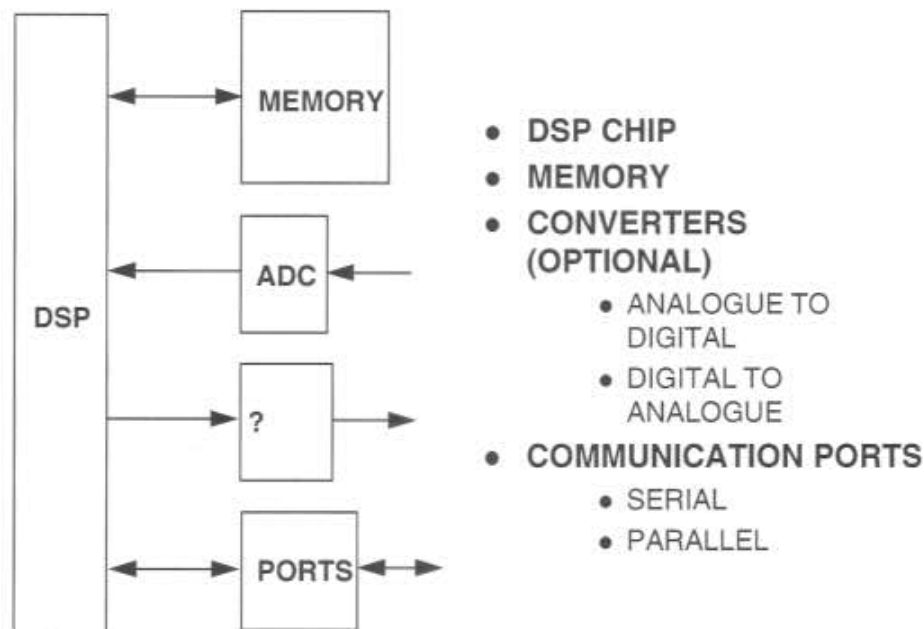
Le nostre orecchie, gli occhi e la pelle convertono i segnali che essi ricevono in energia elettrica che viene passata dal nostro sistema nervoso al cervello. Si possono usare sensori per convertire la pressione, la temperatura, il suono, in segnali elettrici nel stesso modo, ma dobbiamo convertire queste grandezze in numeri per poterli passare a un computer digitale per la successiva elaborazione. Questo processo di conversione viene chiamato conversione analogica digitale, o conversione ADC.

La elaborazione sui segnali viene effettuata da un computer digitale ed è perciò chiamata elaborazione digitale dei segnali, DSP in breve. Nei moderni sistemi DSP viene utilizzato generalmente un micro computer single-chip progettato appositamente per elaborazione digitale dei segnali. Questi circuiti integrati sono noti come digital signal processor o più brevemente DSPs.

Una volta che il segnale è stato elaborato dal DSP esso è rappresentato ancora da una sequenza di numeri e necessita di conversione in formato analogico prima di essere inviato ad un attuatore (ad esempio un altoparlante). Questo processo viene chiamato conversione digitale analogica, o conversione DAC. Il processo completo di connessione è mostrato nel foglio numero uno.

Può sembrare piuttosto macchinoso e complicato convertire prima un segnale analogico in forma digitale elaborarlo e successivamente riconvertirlo da formato digitale ad analogico per fornirlo in forma adatta all'attuatore ma in realtà questo processo è di facile realizzazione. La elaborazione di un segnale é semplice. Sebbene sia possibile fare qualche tipo di elaborazione con circuiti elettronici analogici e quindi non inserire nella catena gli stadi di conversione, le possibilità di elaborazione dei segnali fatte in modo analogico sono piuttosto limitate. Nelle lezioni successive vedremo concretamente perché é opportuno effettuare una conversione digitale del segnale prima di poterlo elaborare.

Un tipico sistema DSP (1-3)



Un sistema tipico DSP è mostrato in figura. Non tutti i sistemi richiedono queste sezioni. Per esempio i sistemi DSP vengono usati oggi sempre più come acceleratori matematici in applicazioni grafiche, nel qual caso non necessitano di convertitori. Qualora il dispositivo da solo disponga di sufficiente memoria all'interno del chip la memoria esterna non è necessaria.

Chip DSP

Un chip DSP può contenere molti elementi hardware differenti. Alcuni dei più comuni elementi presenti all'interno di un DSP sono elencati sotto:

Unità aritmetica centrale

Questa è la parte del DSP che effettua le maggiori o più comuni funzioni aritmetiche che come la moltiplicazione e l'addizione. Questa è la parte del dispositivo DSP che lo rende simile ai tradizionali micro processori.

Unità aritmetica ausiliaria

Il DSP frequentemente dispone di una unità aritmetica ausiliario. Questa viene usata per effettuare altri calcoli matematici e operazioni logiche mentre l'unità aritmetica principale risulta occupata.

Porte seriali

Il DSP dispone normalmente di porte seriali per comunicazioni ad alta velocità con altri DSP o convertitori di dati. In ambito DSP è preferibile avere collegamenti seriali piuttosto che paralleli per ridurre i problemi legati alla decodifica degli indirizzi.

Memoria

Il sistema di DSP richiede anche memorie esterne. Molti DSP ora dispongono di sufficiente memoria direttamente sul chip per consentire l'esecuzione dei programmi all'interno della memoria principale. Ciò significa che in teoria essi non hanno bisogno di memoria esterna. Tuttavia in pratica il programma che deve essere eseguito viene memorizzato normalmente nelle memorie esterne e successivamente viene caricato all'interno del DSP attraverso una operazione di "download" prima che il sistema venga avviato. Nel caso sia necessaria l'unità di memoria esterna, allora si deve disporre di due integrati di memoria per ogni DSP che utilizza l'architettura di Harvard : una per depositare il programma e una per collocarvi i dati.

Convertitore

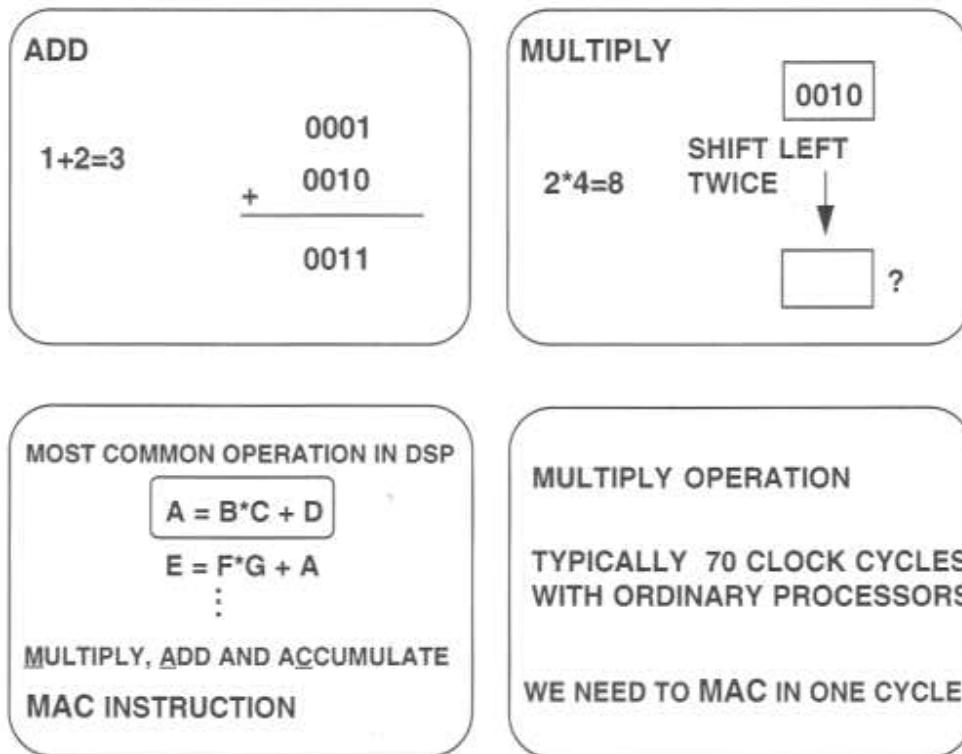
I convertitori servono per trasformare segnali provenienti dal "mondo reale" in segnali comprensibili per il computer, oppure per convertire segnali generati dal computer in segnali compatibili con il mondo esterno. Per convertire un segnale reale in un segnale digitale c'è bisogno di un convertitore analogico digitale (ADC). Utilizziamo un D/A per fare l'operazione opposta.

Porte

I port di comunicazione sono i necessari canali di comunicazione di un sistema DSP. Le informazioni "grezze" entrano, vengono elaborate e quindi inviate all'esterno del sistema attraverso questi port. Per esempio un sistema di DSP potrebbe avere bisogno di inviare in uscita alcune informazioni a una stampante attraverso un port. Normalmente i port sono seriali o paralleli. Una porta seriale accetta un flusso di dati seriali e li converte nel formato del processore. Quando il processore desidera inviare in uscita dati seriali il port accetta dati dal processore e li converte in una stringa seriale. Ad esempio il PC utilizza porte seriali per connettersi al modem. Un port parallelo effettua operazioni analoghe ad eccezione del fatto che i dati in uscita e in entrata sono in formato parallelo. L'esempio più comune è rappresentato dall'interfaccia per la stampante.

Moltiplicazioni e addizioni (1-5)

Per ragioni che saranno più chiare in seguito i sistemi DSP coinvolgono molti calcoli del tipo:



$$A = B \cdot C + D$$

Questa è una semplice piccola equazione che implica cooperazione un'operazione di moltiplicazione seguita da una operazione di addizione.

L'operazione di addizione è alquanto semplice nei computers di tipo convenzionale e può essere effettuata in un singolo ciclo di clock. Lo stesso vale per la sottrazione. La maggior parte di computers sottrae negando il "sottraendo" che successivamente viene addizionato al "minuendo".

Una operazione di moltiplicazione richiede molto tempo solo con computer di tecnologia CISC (Computer con set di istruzioni complesso) oppure RISC (computer con set di istruzioni ridotto).

Entrambi questi tipi di computers generalmente effettuano moltiplicazioni ricorrendo a una serie di scorrimenti o "shift" del dato e a successive addizioni. Per esempio se volessimo moltiplicare un numero per quattro dovremmo far scorrere il moltiplicando due volte a sinistra.

Se invece dovessimo moltiplicare per cinque allora dovremmo far scorrere a sinistra il moltiplicando due volte e sommare il risultato al numero originario.

Su di un computer in tecnologia CISC la moltiplicazione viene effettuata con una singola istruzione. Tuttavia l'istruzione medesima viene convertita in una serie di piccole micro istruzioni (micro codici) che vengono eseguiti. In definitiva sebbene la moltiplicazione sia un'unica istruzione essa richiede al computer molti cicli di clock per essere eseguita.

i computer in tecnologia RISC possono non avere una singola istruzione per effettuare l'operazione di moltiplicazione, ma utilizzano una serie di semplici istruzioni per eseguire la moltiplicazione. Sebbene questi computers richiedono più istruzioni, probabilmente tutto ciò richiede un numero di impulsi di clock analogo al precedente.

Le due architetture di computers citate non sono molto efficienti nel effettuare una moltiplicazione, essi divengono estremamente lenti quando noi moltiplichiamo numeri reali come la quantità Pi-greco (3.14159) piuttosto che lavorare su quantità intese su moltiplicazioni fra intesi come abbiamo corso ora citato sopra nel esempio. Il processore può richiedere diverse centinaia di clock per sviluppare tali calcoli. Ciò di cui abbiamo bisogno è una macchina che possa effettuare una moltiplicazione e una addizione proprio in un unico impulso di clock. Per tutto questo abbiamo bisogno di un diverso approccio alla architettura del computer. In altre parole noi abbiamo bisogno di una architettura modellata sulle nostre applicazioni.

MAC

In effetti la maggior parte dei DSP sono dotati di istruzioni specifiche che consentono in un solo ciclo di clock di eseguire una moltiplicazione, una addizione e di salvare il risultato. Questa istruzione viene generalmente chiamata MAC (moltiplica aggiungi accumula). Lavorando con DSP questa istruzione verrà spesso incontrata stesso assieme alle frequenti varianti.

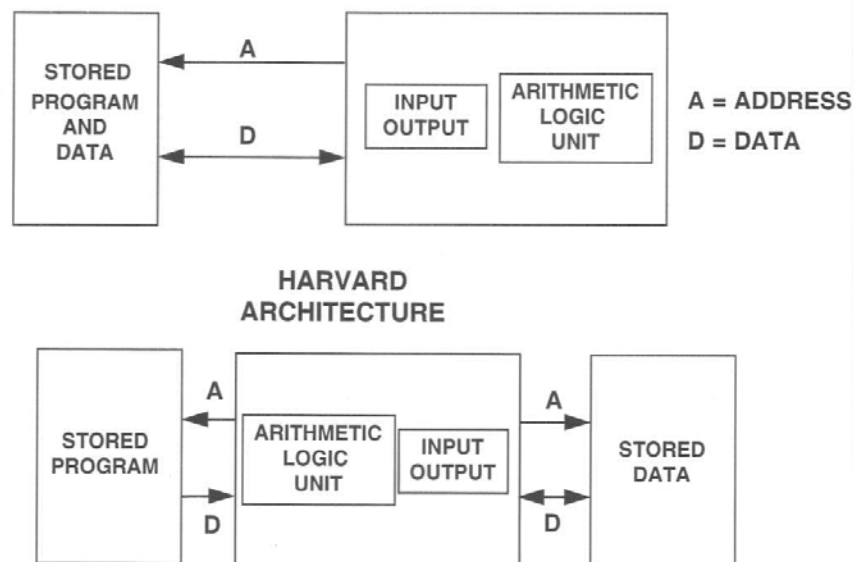
La riduzione dei tempi per effettuare una moltiplicazione (1-6)

Nei sistemi DSP "real-time" il nostro obiettivo principale riguarda la quantità di elaborazioni che noi possiamo effettuare prima che un nuovo gruppo di dato arrivi e di conseguenza debba essere elaborato. I vecchi sistemi DSP furono costruiti utilizzando componenti standard per costruire registri a scorrimento (shift-register), addizionatori e moltiplicatori. La operazione di moltiplicazione si vide immediatamente che costituiva un fattore determinante nel limitare le prestazioni di questi computers. Il progetto di circuiti moltiplicatori venne perfezionato attraverso l'uso di tecniche "pipe-line" e il primo moltiplicatore a ciclo singolo venne realizzato nel lontano 1970 con utilizzo di componenti standard ad alta velocità di tipo ECL.

La più recente istituzione leader nel campo dei DSP è stata la società Lincoln laboratories. Il processore FDP Lincoln (processore digitale veloce) fu completato nel 1971 il suo tempo di moltiplicazione delle ordine di 6 nanosecondi, il circuito era costituito da diecimila separati circuiti integrati; e questo tipo di circuito soffriva anche della complicazione legata al fatto di tentare lo sviluppo di operazioni parallele utilizzando l'architettura di Von Neumann. Il sistema Lincoln LSP/2 fu costruito tenendo conto delle problematiche incontrate nella costruzione del FDP di perenne usata una architettura simile decisione principi architettura Harvard uno dei computer 1940. Utilizzando una architettura strutturata parallela, un computer DSP risulta quattro volte più veloce del corrispondente modello FDP con una complessità pari all'incirca a un terzo dei circuiti integrati impiegati nell'FDP.

Una volta che il progetto di un moltiplicatore veloce fu concluso, era solo problema di tempo attendere i miglioramenti tecnologici legati alla produzione dei semiconduttori. Si può vedere dal grafico riportato sopra che il tempo necessario per effettuare una moltiplicazione si è drasticamente ridotto negli ultimi venti anni dal valore pari a 600 nanosecondi ad un valore pari a 20 nanosecondi.

Computer digitali (1-7)



I computers digitali hanno bisogno di istruzioni per funzionare. Ad intervalli di tempo regolari il processore ha bisogno di specifiche su ciò che deve fare. A intervalli regolari di tempo il processore ha bisogno di direttive su ciò che deve compiere. Se le istruzioni sono memorizzate, allora ciò è facile. Tutto ciò di cui il

computer ha bisogno è recuperare dalla memoria la successiva istruzione (operazione fetch) ed eseguirla. Tali computer sono noti con il nome di macchine a programma memorizzato.

Anche i dati vengono memorizzati. I nostri computers generalmente recuperano istruzioni e dati dalla memoria, li elaborano, e successivamente restituiscono i dati alla memoria.

Esistono due architetture molto note e ampiamente diffuse di computer :

1. Architettura Von Neumann
2. Architettura Harvard

Architettura Von Neumann

Uno dei consulenti del progetto ENIAC fu John Von Neumann, un matematico nato in Ungheria egli è universalmente riconosciuto come il creatore o l'ideatore di una architettura differente e molto significativa. La cosiddetta architettura Von Neumann ha stabilito gli standard per lo sviluppo dei sistemi computerizzati durante gli ultimi 40 anni.

Von Neumann affermò che non sussiste era una reale necessità di distinguere fra memoria di programma e memoria dati. Era quindi necessario disporre di un unico spazio di memoria per istruzioni e per dati. La nuova architettura semplificò il progetto del computer, ma comportava, come conseguenza, che la macchina potesse accedere solamente o alle istruzioni oppure ai dati in un determinato istante. La storia ci ha dimostrato che questa limitazione non generava seri problemi nelle applicazioni generali di calcolo computerizzato.

Architettura Harvard

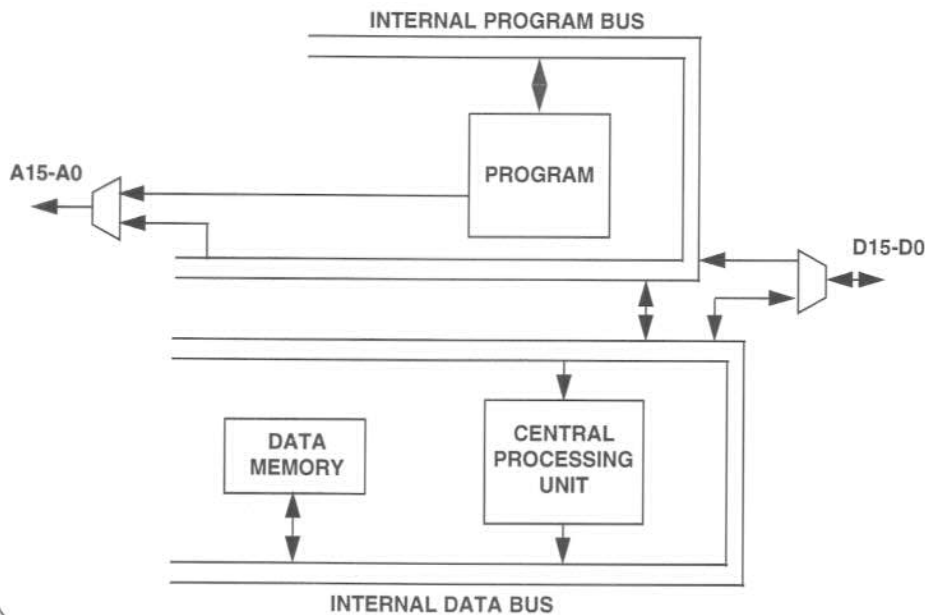
Le architetture di tipo generale per computers e micro computers singol-chip rientrano in due categorie. L'architettura del primo computer elettromeccanico significativo della storia aveva spazi di memoria separati per il programma e per i dati così che ciascuno di essi poteva essere recuperato simultaneamente (il programma poteva essere recuperato con temporaneamente al dato). Questa architettura è nota sotto il nome di architettura Harvard, essendo stata sviluppata nel lontano 1930 da Howard Aiken, un fisico della Università di Harvard. Il computer Mark I di Harvard divenne operativo nel 1944.

Il primo computer elettronico per impieghi generale è stato probabilmente il computer ENIAC (calcolatore elettronico numerico) che venne costruito dal 1943 al 1946 alla Università di Pennsylvania. L'architettura del primo computer era molto simile a quella usata dal Mark 1 della Harvard con aree separate per la memoria di programma e quella assegnata ai dati. A causa della complessità dei due sistemi di memoria la architettura Harvard non divenne popolare nei computer di impiego generale e nel progetto dei microcomputer.

Applicazioni

I computers di impiego generale come il Motorola 68000 (famiglia 68000) e la famiglia Intel 80x86 condividono la ormai nota architettura Von Neumann. Questi e altri microprocessori per applicazioni generali sono dotati di caratteristiche tipiche della maggior parte di computers usciti negli ultimi 40 anni. I blocchi base del computer sono l'unità aritmetico logica (ALU) e un registro a scorrimento (SR). Operazioni come l'addizione, la movimentazione e la sottrazione sono facilmente eseguite in pochi cicli di clock. Le istruzioni complesse come la moltiplicazione e la divisione sono costituite da una serie di semplici azioni di scorrimento, operazioni di addizione o di sottrazione. L'architettura Harvard si trova più diffusa generalmente in microprocessori specializzati che vengono usati per applicazioni in tempo reale.

Un esempio di architettura TMS320C5X (1-9)



Architettura del TMS320C5X

Tutti i più recenti dispositivi DSP utilizzano l'architettura Harvard, poiché essa consente il recupero dalla memoria di dati e di istruzioni del programma contemporaneamente. Questo fatto migliora le prestazioni poiché consente al processore di fare due operazioni nello stesso tempo. Non c'è bisogno di interrompere il flusso dei dati per recuperare una istruzione.

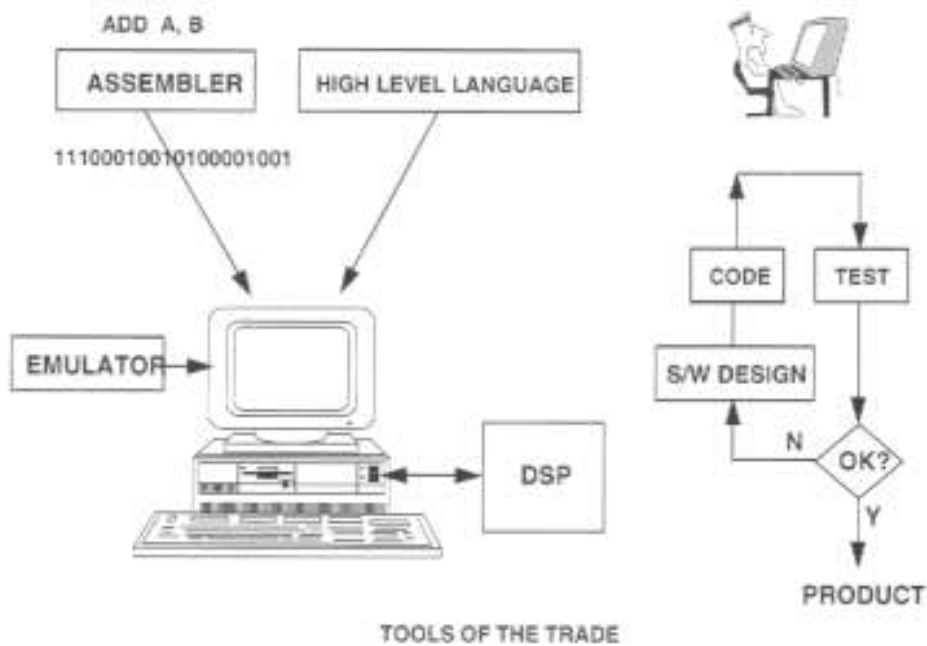
Lo schema a blocchi semplificato del TMS320C5X mostra la separazione dei dati e del programma a livello di bus e le modifiche che abilitano scambi tra questi due "bus". Esternamente questo DSP può essere erroneamente considerato un processore con architettura "von Neumann" dato che esso rende visibile all'esterno un solo "bus" per dati e istruzioni programma. Ma interamente, i "bus" dei dati e del programma sono separati. Questa architettura Harvard di tipo modificato riduce i costi poiché il circuito integrato utilizzato ha un numero inferiore di pin. I vantaggi raggiunti sul costo del dispositivo si traducono purtroppo in penalizzazione delle caratteristiche dello stesso dispositivo.

La architettura C5X è costruita attorno a due "bus": il "bus" di programma e il "bus" dei dati. Il bus di programma trasferisce i codici delle istruzioni e gli operandi ad esse collegati dalla memoria di programma verso il processore. Il "bus" dei dati interconnette vari elementi, come la unità centrale (CPU) i registri ausiliari, alla memoria dati. Assieme, il bus dei dati ed il bus di programma può trasferire dati dalla memoria dati collocata all'interno del DSP oppure dalla memoria di programma esterna al moltiplicatore in un ciclo singolo per effettuare operazioni di moltiplicazione e di accumulazione (MAC).

Il processore C5 possiede un elevato grado di parallelismo; ciò significa che mentre il dato viene elaborato da una parte della CPU, possono essere effettuate anche operazioni aritmetiche all'interno della unità aritmetica ausiliaria (A R A U). Tale parallelismo ha come conseguenza un set di operazioni aritmetiche ad elevata "performance"; operazioni logiche operazioni di manipolazione dei bit che possono essere eseguite in un singolo ciclo macchina.

L'hardware interno del DSP C5x esegue funzioni che altri processori tipicamente effettuano a livello software o attraverso micro codici. Per esempio, il nostro dispositivo DSP contiene hardware per effettuare moltiplicazioni 16 bit x 16 bit, scorrimento dati, e per la manipolazione degli indirizzi. Questo approccio piuttosto intensivo sul fronte hardware, fornisce una potenza di calcolo precedentemente non disponibile su un dispositivo single-chip.

Sistema di sviluppo per DSP (1-10)



Il programma

Un DSP è un dispositivo costituito da una hardware inutile senza un programma da eseguire. Se si costruisce un filtro analogico e gli si applica in ingresso un segnale esso funziona da filtro. Se si costruisce la hardware per un filtro digitale con DSP e lo si alimenta, esso non farà nulla. Perché il DSP funzioni si devono predisporre delle istruzioni. Un programma è una sequenza di istruzioni attraverso le quali si otterrà un funzionamento quale la produzione di un suono oppure l'azione di un filtro digitale. Il programma è costituito da 0 e 1 memorizzati all'interno della memoria del DSP. Gli esseri umani non possono ricordare a memoria sequenze di 1 e 0 così che sono stati sviluppati diversi strumenti per aiutare la produzione di software.

Programma assembler

Il linguaggio assembler converte istruzioni scritte in un linguaggio che noi possiamo capire in codici macchina che il processore DSP può a sua volta capire. A titolo di esempio è più facile ricordare:

```
'ADD A, B'
```

Piuttosto che

```
'11000110110100100101'
```

Linguaggi ad alto livello

Il linguaggio assembler presenta dei problemi in quanto esso è specifico di un determinato processore e pertanto varia da un costruttore di DSP ad un altro. Se ad esempio vogliamo sommare 2 numeri su un determinato DSP questa operazione la possiamo effettuare attraverso il comando:

```
'ADD A,B'
```

Mentre con un altro DSP noi dobbiamo scrivere:

```
'LOAD A B'
```

Chiaramente siamo di fronte ad un problema: un programma che noi scriviamo per un determinato DSP va completamente riscritto se tale programma viene trasferito su un altro DSP. L'utilizzo di un linguaggio ad alto livello ci consente di risolvere il problema. Un linguaggio ad alto livello utilizza una serie di istruzioni

comuni che possono essere convertite o compilate in differenti codici assembler. Nel linguaggio assembler anziché avere a disposizione semplici istruzioni come addizione e sottrazione, esso è dotato anche di istruzioni complesse come la istruzione print (stampa su printer) tale istruzione viene tradotta in molte centinaia di semplici istruzioni utilizzate dal linguaggio assembler.

Simulatori

Un simulatore é una versione software del DSP. Questo programma simula tutte le funzionalità di un DSP su un altro computer, ma senza dover investire nell'acquisto di hardware. questo è un utile strumento per sviluppare la fattibilità di un progetto prima di acquistare la guerra avverrà hardware.

Emulatori

Un emulatore funziona nello stesso modo di un DSP reale e può interferire con qualsiasi dispositivo hardware unito adesso. Esso consente all'utente di controllare e vedere i risultati dell'esecuzione delle istruzioni. Questo è uno strumento indispensabile per i tecnici sviluppatori in quanto permette di osservare ciò che sta avvenendo sul sistema e inoltre permette di cambiare o modificare il codice macchina del programma piuttosto che supporre o indovinare ciò che accadrà nel sistema. I moderni emulatori non sostituiscono il DSP sulla scheda hardware dell'utente ma esercitano il loro controllo sul sistema attraverso una interfaccia seriale.

Il ciclo di sviluppo

Il primo stadio di un qualsiasi sviluppo è di decidere sulla fattibilità di un determinato progetto. Questo viene fatto utilizzando una combinazione di simulazione software, specifiche hardware e di esperienza. Qualvolta che il progetto viene considerato fattibile è opportuno effettuare una analisi del sistema. Ciò consiste nel definire e cosa sistema deve fare dirla cosa hanno universale di Imola cosa il sistema non deve fare, come il sistema deve rispondere a differenza di condizioni di ingresso eccetera eccetera. Una volta che il sistema è chiaramente definito allora si può partire con la scritta dura del codice per il suo funzionamento. Il processo tradizionale di produzione del software inizia con la scrittura del codice, prosegue con il test, e successivamente con quelle modifiche al codice richieste dal fatto che il funzionamento del sistema non soddisfa completamente le nostre aspettative ciò può essere causato da una superficiale analisi iniziale del sistema. Questa funzione di scrittura e riscrittura del codice comporta la esecuzione ciclica delle fasi che seguono la scrittura del codice fino ad ottenere un risultato accettabile.

Perché Digitale (1-12)

● IS IT WORTH IT?



● IS DIGITAL PROCESSING BETTER?

- APPLICATION DEPENDENT
- PROGRAMMABILITY
- STABILITY AND REPEATABILITY
- SPECIAL APPLICATIONS

Perché é da preferirsi una elaborazione di tipo digitale

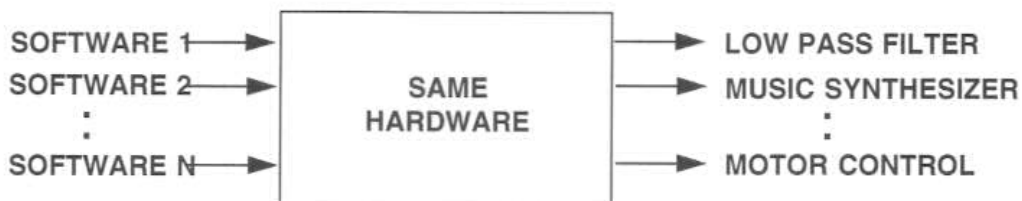
La risposta al quesito non è né breve né semplice. Ci sono molti vantaggi nell'utilizzo di tecniche digitali per elaborare segnali di uso generale. Questi vantaggi si applicano pure ad applicazioni specifiche., ma ci sono

anche alcune funzioni che possono essere effettuate da un DSP e che non possono essere effettuate da un sistema analogico. I vantaggi del uso di tecniche digitali nella elaborazione dati possono essere schematizzati in diverse categorie: programmabilità, stabilità, ripetibilità, facilità nella effettuazione di algoritmi di tipo adattivo adattivo e possibilità di attivazione di codici di correzione degli errori e di funzioni speciali quali i filtri a fase lineare. Noi dobbiamo anche considerare aree quali la trasmissione dati, la memorizzazione e la compressione dati come aree dove la elaborazione digitale offre vantaggi significativi rispetto alla elaborazione analogica.

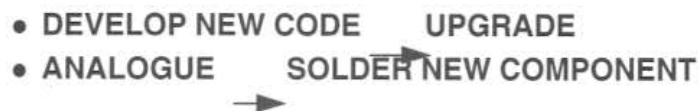
Da queste ultime considerazioni sembra che il DSP sia la soluzione universale a tutti i problemi. Sfortunatamente le cose non sono mai così semplici. Ci sono limiti a ciò che può essere ragionevolmente fatto da sistemi DSP e ci sono aree dove una soluzione analogica è ancora preferibile. In questa sezione noi studieremo i vantaggi che il sistema DSP offre.

Programmabilità (1-13)

- ONE HARDWARE = MANY TASKS



- UPGRADABILITY AND FLEXIBILITY



La programmabilità

Una ragione per utilizzo universale di computer digitali (sotto forma di PC) è che essi sono programmabili e riprogrammabili. Noi siamo da tempo sfruttiamo questa caratteristica dei computer digitali infatti noi utilizziamo il nostro PC come elaboratore di testi ma immediatamente dopo anche come console per giocare; in pochi secondi passiamo da una applicazione all'altra. La tecnologia dei microprocessori comporta i medesimi vantaggi nei sistemi di elaborazione digitale dei segnali.

Stabilità

È possibile progettare una configurazione hardware che può essere programmata per sviluppare una varietà molto ampia di elaborazione elettronica sui segnali semplicemente caricando software differente. Per esempio un filtro digitale può essere riprogrammato per trasformarlo da filtro passa basso in passa alto senza fare alcuna modifica di tipo hardware.

Flessibilità

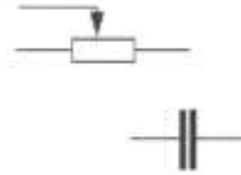
In molti casi o situazioni non esiste necessità di riprogrammare un sistema, ma solamente di migliorarne le prestazioni e il funzionamento. Esempi possono essere i sistemi di guida dei missili, dove l'uso in combattimento può mettere in luce aspetti non trovati nel corso delle prove o dei test . La possibilità di effettuare soltanto alterazioni al sistema di controllo partendo dalla semplice sostituzione di un dispositivo di memoria è un vantaggio significativo per i sistemi DSP. Per contro, per aggiornare un sistema di elaborazione di segnali di tipo analogico, si devono cambiare i valori

dei componenti presenti nel circuito e ciò generalmente implica un lavoro di riprogettazione del sistema. È evidente che esiste un limite alle possibili modifiche che possono essere effettuate su un sistema analogico per migliorare le prestazioni complessive, il limite è tuttavia molto più ampio se si adotta una soluzione digitale.

Stabilità e ripetibilità (1-14)

- ANALOGUE CIRCUITS ARE AFFECTED BY

- TEMPERATURE
- AGING



- TOLERANCE OF COMPONENTS

- TWO ANALOGUE SYSTEMS
 - USING SAME DESIGN
 - USING SAME COMPONENTS
 - MAY DIFFER IN PERFORMANCE

Effetti della temperatura

Quando noi osserviamo il comportamento del sistema in campo (vale adire come tutti i sistemi si comportano in un periodo di tempo) la situazione può diventare ancora più drammatica. I componenti ossia i resistori, i condensatori, gli amplificatori operazionali modificano le loro caratteristiche al variare della temperatura. Ciò significa che un circuito analogico può funzionare in modo piuttosto diverso a 0 °C rispetto a 70 °C. I circuiti digitali non modificano alcun comportamento nel loro funzionamento al variare della temperatura all'interno del loro campo di funzionamento garantito.

Invecchiamento

Un terzo problema che si incontra con soluzioni analogiche è il problema dell'invecchiamento dei componenti. I condensatori in particolare sono soggetti all'invecchiamento del materiale dielettrico. Ciò provoca una variazione nel valore della capacità e un'alterazione del funzionamento del circuito. All'interno di un circuito si devono attivare tecniche di compensazione per consentire ai componenti, variazioni termiche e variazioni prodotte dall'invecchiamento dei componenti. Questo fatto complica pesantemente il processo di progettazione e compromette le prestazioni complessive del circuito.

Ci sono molte migliaia di sistemi analogici utilizzati nella elaborazione di segnali che soffrono di questi problemi, ciò non significa che siano insormontabili. Per contro questi problemi esistono e l'uso di sistemi di elaborazione digitale eliminano queste variabili. Inoltre, i circuiti DSP, possono essere programmati per tenere conto e compensare le variazioni di grandezze analogiche e di parti meccaniche di un sistema completo.

Le tolleranze

Noi non possiamo garantire che più componenti dello stesso tipo e contrassegnati dal stessa sigla commerciale funzionino esattamente nel stesso modo. I componenti analogici spesso presentano variazioni nel valore dovuti alla loro natura. Dopo la fabbricazione i dispositivi vengono selezionati all'interno di bande di tolleranza. Questo fatto non solo crea problemi ai progettisti ma è pure un

motivo di aumento di costi per i fabbricanti. Se un ciclo di fabbricazione ha prodotto componenti difettosi, molti circuiti non funzioneranno correttamente e ciò potrà causare problemi seri.

Ripetibilità digitale (1-15)

● PERFECT REPRODUCIBILITY

- NEARLY IDENTICAL PERFORMANCE FROM UNIT TO UNIT
- COMPONENT TOLERANCES DO NOT AFFECT PERFORMANCE
- NO DRIFT IN PERFORMANCE DUE TO TEMPERATURE OR AGING
- GUARANTEED ACCURACY



A CD PLAYER ALWAYS PLAYS THE SAME MUSIC QUALITY

Ripetibilità

I sistemi digitali sono strutturalmente ripetibili. Se chiediamo a 500 computer digitali identici di effettuare una medesima sequenza di somme essi daranno il medesimo risultato (medesima risposta), (a meno che non si tratti Pentium 90!). Se si applica un medesimo segnale analogico a 500 circuiti analogici identici costruiti usando componenti con le medesime specifiche, certamente non otterremo la medesima uscita da ciascun circuito.

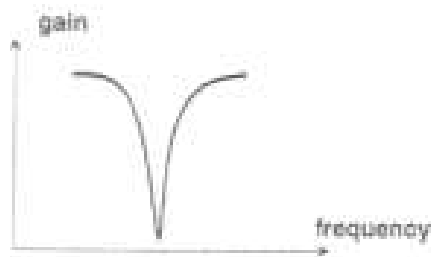
La ragione di ciò è molto semplice nei sistemi analogici i componenti presentano una dispersione delle caratteristiche. I resistori hanno una tolleranza specifica generalmente del 5% del loro valore, componenti più costosi possono avere tolleranze del 2% o del 1%. I condensatori tipicamente hanno tolleranze del 20% o valori maggiori (peggiori). I circuiti analogici a semiconduttore hanno un campo all'interno del quale essi si garantisce il loro funzionamento, ma le variazioni naturali nei processi di fabbricazione danno come risultato che le caratteristiche precise del componente variano da dispositivo a dispositivo. Ciò significa che è impossibile prevedere il funzionamento preciso di un sistema analogico. La conseguenza di questo fatto è la seguente, se si richiede un funzionamento preciso, è necessario regolare le caratteristiche del sistema attraverso l'uso di condensatori variabili e resistori variabili che vanno previsti nel progetto del sistema e devono essere regolati durante la calibrazione del sistema.

LE PRESTAZIONI 1-16)

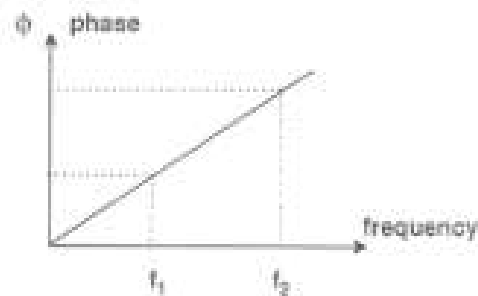
- SOME SPECIAL FUNCTIONS CAN ONLY BE IMPLEMENTED DIGITALLY

- LOSSLESS COMPRESSION

- NOTCH FILTERS



- LINEAR PHASE FILTERS



La compressione (senza perdita di informazione)

I mezzi di immagazzinamento delle informazioni e i canali di trasmissione costano denaro. C'è una sostanziale differenza di costo tra una chiamata telefonica che dura 20 minuti rispetto ad una chiamata che dura solo 2 minuti, sebbene la scala delle differenze possa dipendere dalla distanza fra i due interlocutori.

I mezzi di immagazzinamento delle informazioni sono anch'essi costosi. Sebbene i prezzi tendano progressivamente a ridursi, le nostre necessità di aumento di informazione sembra che siano destinati sempre a crescere. Queste due tendenze danno come risultato approssimativamente una linea retta per i prezzi dei sistemi di memorizzazione delle informazioni che risulta adeguata per le nostre necessità in un determinato tempo. Il problema è che noi abbiamo bisogno di essere attenti a come memorizziamo i dati.

La compressione senza perdite è una delle risposte ai problemi di trasmissione e di memorizzazione. Consideriamo l'esempio di un canale di trasmissione. Un Mb di dati viene compresso ottenendo quindi ad esempio 500 kb di informazione che viene inviata su un canale di trasmissione; a destinazione il pacchetto compresso viene sottoposto ad una operazione di decompressione in modo di ripristinare il contenuto di informazione iniziale.

I filtri elimina banda

Le tecniche DSP possono essere usate per realizzare filtri elimina banda a banda molto stretta. Questi sono filtri che impediscono ad un limitato campo di frequenze di transitare attraverso il filtro. Per costruire un buon filtro elimina banda con elettronica convenzionale di tipo analogico ci si deve imbarcare in un progetto molto difficile sul piano della realizzazione.

Diversi anni orsono i sistemi DSP sono stati utilizzati per cancellare alcuni rumori provenienti dalle vibrazioni prodotte su una autovettura, su un elicottero, su un aeroplano. Nel caso della autovettura, il rumore che doveva essere eliminato era causato in origine dal motore e dalle risonanze sul telaio e sul corpo dell'autovettura prodotte dalle vibrazioni del motore. I sistemi di cancellazione del rumore fanno uso della velocità del motore come riferimento e tentano di produrre un segnale in opposizione al rumore per cancellare il rumore delle vibrazioni. Ci sono

microfoni in ciascun *** headrest *** che determinano il successo del tentativo. In funzione delle variazioni rilevate dai microfoni, il sistema cambia le caratteristiche "anti-noise" fino a che non si raggiunge la miglior possibile riduzione di rumore. Quando la velocità del motore cambia allora il sistema deve adattarsi nuovamente al nuovo tipo di disturbo prodotto dal motore.

Un sistema DSP può facilmente adattarsi ad alcune variazioni delle variabili ambientali. Gli algoritmi adattivi semplicemente calcolano i nuovi parametri richiesti e li memorizziamo nuovamente nella memoria principale, cancellando i vecchi valori. Nei sistemi analogici è possibile realizzare alcuni livelli basilari di adattabilità del sistema alle variabili ambientali, ma una variazione completa della caratteristica di un filtro complesso (usato nelle tecniche di cancellazione dei rumori) è al di fuori delle possibilità consentite dalle tecniche di elaborazione dei segnali di tipo analogico.

Filtri a fase lineare

Ci sono alcune tecniche di elaborazione dei segnali che non possono essere effettuate da sistemi di tipo analogico. Il classico esempio è quello dei filtri a fase lineare. Con circuiti analogici di tipo convenzionale non si possono produrre filtri con fase a risposta lineare. Ciò significa che alcune frequenze verranno sfasate in anticipo altre in ritardo. Con un filtro realizzato con tecniche digitali, è possibile mantenere la fase del segnale a tutte le frequenze. Ciò è possibile utilizzando un filtro di tipo FIR (filtro con risposta impulsiva finita). Un altro tipo di filtro che può essere facilmente realizzato con sistemi digitali è un filtro elimina banda a banda molto stretta *** steep cut-off ***. È virtualmente impossibile crearlo con filtri similari di tipo analogico.

PRATICAL DSP SYSTEMS (1-18) MANCA

La serie TMS320 (1-20)

La maggior parte di costruttori di DSP produce diversi tipi differenti di processori. Questi vengono generalmente indicati o chiamati serie o famiglia. Le famiglie di prodotti Texas Instruments sono riportate sopra. Uno degli aspetti fondamentali che permettono di catalogare separatamente i diversi processori è la loro capacità di supportare operazioni aritmetiche in "virgola fissa" oppure in "virgola mobile".

Aritmetica in virgola fissa e in virgola mobile.

I dispositivi in virgola fissa operano con numeri compresi in un campo più ridotto rispetto ai corrispondenti dispositivi che operano in virgola mobile. Il tipico campo di lavoro dei dispositivi in virgola fissa (come il modello C50) è il campo di valori che vanno da +/- due elevato alla 15 (+/- 32768) fino a +/- due elevato alla meno 15 (+/- 0.000031). I dispositivi che lavorano in virgola mobile consentono un campo di valori compreso tra +/- 2 elevato 128 a +/- 2 elevato a -128. Per esempio per apparati dedicati alla riproduzione di suoni di qualità, un dispositivo in virgola mobile risulta maggiormente adatto mentre per realizzare giochi per i bambini un dispositivo in virgola fissa risulta perfettamente accettabile.

C1X, C2X, C5X

Il data bus su questi dispositivi è costituito da 16 bit, pertanto essi vengono chiamati dispositivi a 16. Tutti sono dotati di una architettura Harvard modificata come discusso in precedenza. Essi sono economici più economici o meno costosi rispetto ai dispositivi in virgola mobile. Essi sono stati usati nella realizzazione di giocattoli, dai unità per dischi rigidi, Modena o sospensioni attive nelle autovetture.

C3X

L'estensione del data bus nei dispositivi della serie C3 è pari a 32 bit inoltre questi dispositivi hanno una grossa dinamica poiché essi lavorano in virgola mobile. A causa della loro accuratezza di

calcolo più elevato essi sono stati utilizzati in sistemi ad alta fedeltà con elevate caratteristiche di risposta, sistemi voice mail, sistemi di elaborazione grafica a tre dimensioni.

C 4 x

Questa famiglia è stata progettata per sistemi "parallel-processing". I dispositivi C4X hanno un bus a 32 bit e lavorano in virgola mobile; sono dotati di un canale di comunicazione ottimizzato sul chip che li rende adatti ad essere raggruppati assieme per formare un sistema di elaborazione parallelo. Le applicazioni di questi dispositivi sono i sistemi a realtà virtuale, il riconoscimento delle immagini e i sistemi di tipo "parallel-processing".

C8X

Il modello C80 è il primo processore di questa famiglia. Esso è dotato di sistema "parallel-processing" su un unico chip di silicio è infatti dotato di quattro DSP avanzati e di un processore RISC di controllo. Questo prodotto viene utilizzato nei video telefoni ad elevate prestazioni, nei sistemi di grafica computerizzata 3D, nei sistemi a realtà virtuale ed in uno svariato numero di applicazioni multimediali. Una versione a basso costo denominata C82 e già stata annunciata: essa è dotata di due DSP avanzati.

Dimostrazione numero uno A

Generatore di toni (D1-1)

Scopo della dimostrazione

- 1) *Introdurre il DSP mostrare alcune delle sue prestazioni.*
- 2) *Introdurre le relazioni tra suoni e segnali elettrici.*

Introduzione

I suoni sono costituiti da onde di tipo sinusoidale di frequenze diverse. L'orecchio umano è sensibile a frequenze comprese tra 30Hz e 20kHz. La maggior parte di strumenti musicali produce una combinazione di frequenze dette anche armoniche per ciascuna nota, ma nella sua forma più semplice, una nota può essere prodotta da un'onda sinusoidale di frequenza particolare.

In questa dimostrazione una nota musicale verrà suonata, e la sua forma d'onda visualizzata su un oscilloscopio. La nota e la base musicale sono generate da un DSP, convertite in segnale analogico, amplificate, e convertite in suono da un altoparlante. Questa sequenza è mostrata nello schema di figura.

Non è necessario per ora capire come il DSP produca una forma d'onda sinusoidale, questo verrà spiegato più avanti nel corso, ma è importante notare che la indicazione che compare all'interno del rettangolo DSP non rappresenta una configurazione hardware, ma un programma, che viene eseguito dal DSP.

Dimostrazione

Ascolta la nota, e osserva come la forma d'onda cambia sullo schermo dell'oscilloscopio. Più acuta è la nota musicale, più elevata è la frequenza dell'onda sinusoidale.

Le due forme d'onda hanno simmetria dispari poiché due onde sinusoidali di frequenza diversa (una per la nota, una per la base musicale) vengono addizionate assieme per generare il suono completo. Allo studente rimane il compito di misurare la frequenza o il campo di frequenze all'interno delle quali la nota viene generata.

Dimostrazione 1 B

DSP e moltiplicazione (D1-1B)

Scopo della dimostrazione

Introdurre alcune tecniche di calcolo del DSP, in modo particolare analizzare come vengono eseguite le addizioni e le moltiplicazioni.

Introduzione

Un DSP è una macchina di calcolo per impieghi generali, essa è stata ottimizzata per effettuare particolari tipi di operazioni. Per far sì che il processore compia ciò che noi richiediamo, dobbiamo predisporre un apposito programma. In questo esempio sono stati scritti programmi differenti per dimostrare come opera il software sul DSP.

Il banco del fruttivendolo

Tutti i programmi che verranno dimostrati, lavorano sul valore commerciale totale del banco di un fruttivendolo.

Il fruttivendolo, ha due liste di valori, una contiene il numero di ciascun tipo di frutta, l'altra quanto costa ciascun frutta che pone in vendita. Per determinare il valore complessivo, il numero di ciascun frutto deve essere moltiplicato per il suo costo e aggiunto al totale.

Questo tipo di moltiplicazione e addizione è molto e molto comune nei DSP (e non solo nei calcoli del fruttivendolo!), essa viene abbreviata con la sigla MAC. La sola differenza è che un DSP genera un totale dopo ogni calcolo anziché effettuare le addizioni al termine dei calcoli come è evidenziato dallo schema di figura.

Il Debugger DSK (D1-2)

Il programma di debug

Si tratta di un programma che funziona sopra un PC, esso permette di collaudare i programmi scritti per la scheda DSK. Un vantaggio è che consente ai programmi di essere eseguiti una istruzione alla volta, così che si può analizzare come il sistema funziona.

Lo schema di figura mostra come si presenta lo schermo del PC, mentre è in corso di esecuzione il primo programma dimostrativo. Lo schermo si può suddividere in tre aree: area di sinistra ove sono riportate le istruzioni del programma, area centrale dove vengono riportati i risultati del calcolo, area di destra ove vengono riportati i contenuti dei registri interni del processore.

Dimostrazione 1

Nel primo esempio il totale viene calcolato progressivamente un frutto alla volta. Lo studente può osservare l'esecuzione del programma passo dopo passo (un passo alla volta), così da vedere ciò che accade. Non è necessario comprendere esattamente ciò che ciascuna istruzione fa.

La parte più importante dello schermo da osservare è rappresentata dal risultato. Al secondo avvio, prendi nota di quante le istruzioni deve eseguire il processore per giungere al risultato.

Numero di istruzioni:

In ciascuna istruzione, Se ciascuna istruzione, richiede mediamente 100 nanosecondi per essere eseguita, quanto tempo complessivo richiederà il programma?

(si noti che nella realtà le istruzioni richiedono un tempo compreso tra 50 nanosecondi e che 150 nanosecondi, in funzione di ciò che il DSP fa).

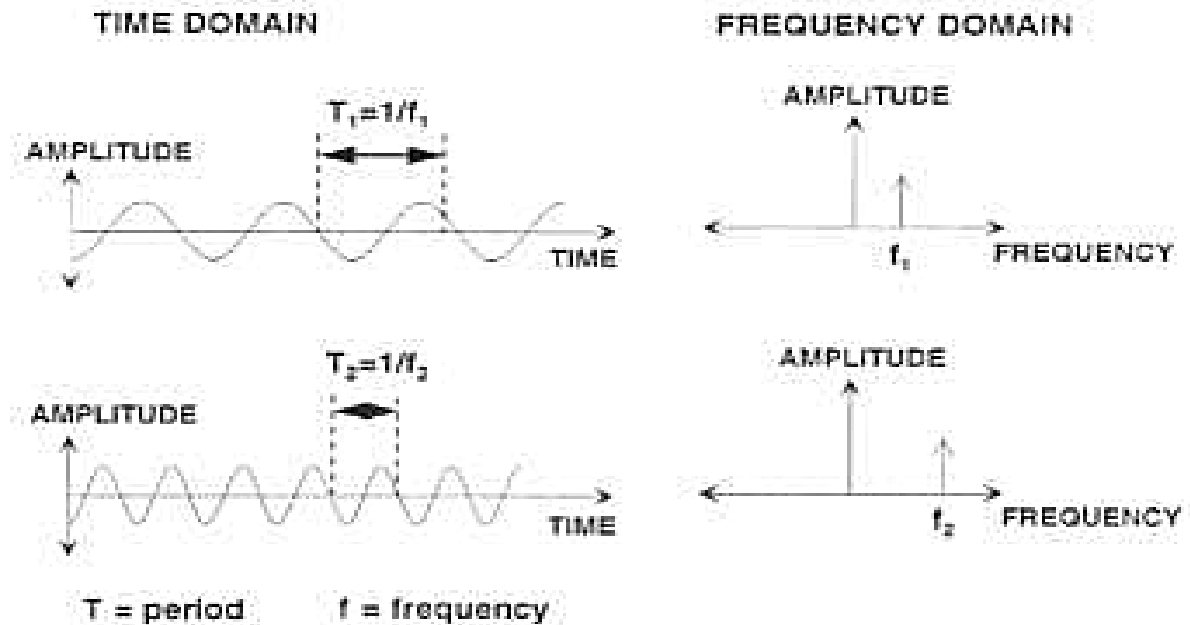
Tempo richiesto per la esecuzione del programma:

Dimostrazione due

Questa è identica alla precedente, ma si noti che il DSP può lavorare modo più veloce. Esso può eseguire l'istruzione di moltiplicazione ripetuta sette volte automaticamente in questo caso esso richiede solamente 500 nanosecondi per effettuare tutte le moltiplicazioni, con 300 nanosecondi di inizializzazione, che porta ad un totale di 800 ns per l'intero programma.

MANCA T1-1 STUDENT QUESTION

LA RAPPRESENTAZIONE DEL SEGNALE NEL DOMINIO DEL TEMPO E DELLA FREQUENZA



Un segnale elettrico, segnale che giunge nelle cuffie del nostro walkman, segnale elettrico prodotto dal microfono del nostro apparecchio telefonico, il segnale video che giunge attraverso l'antenna al televisore, può essere rappresentato in due diverse modalità :

- nel "dominio del tempo"
- nel "dominio della frequenza".

Dominio del Tempo

Questa forma di rappresentazione è quella che ci è maggiormente familiare ; in essa appaiono le variazioni subite dal segnale al trascorrere del tempo. Lo strumento più frequentemente usato e che opera notoriamente nel dominio del tempo, è l'oscilloscopio ; esso è dotato di una scala graduata in Volt (asse Y) e una scala graduata in sec. (asse X).

In figura 1 (lato sinistro) è mostrata una pura sinusoide. Il segnale ha: una frequenza f (Hz) (numero di volte in cui il segnale si ripete al secondo), e un periodo T (sec.) (tempo impiegato per completare un ciclo completo). La frequenza f e il periodo T non sono quantità differenti ma piuttosto differenti metodi per descrivere le misure nel tempo. Il grafico sopra riportato mostra due forme d'onda della stessa ampiezza ma di frequenza diversa. Il segnale in basso ad alta frequenza (molti cicli in un secondo) ed un breve periodo (minor tempo per completare un ciclo).

Dominio della Frequenza

Il dominio della frequenza non è altrettanto ben conosciuto come il dominio nel tempo, ma è molto importante nei DSP. Invece di analizzare le variazioni del segnale al passare del tempo, mostreremo le variazioni del segnale rispetto alla frequenza.

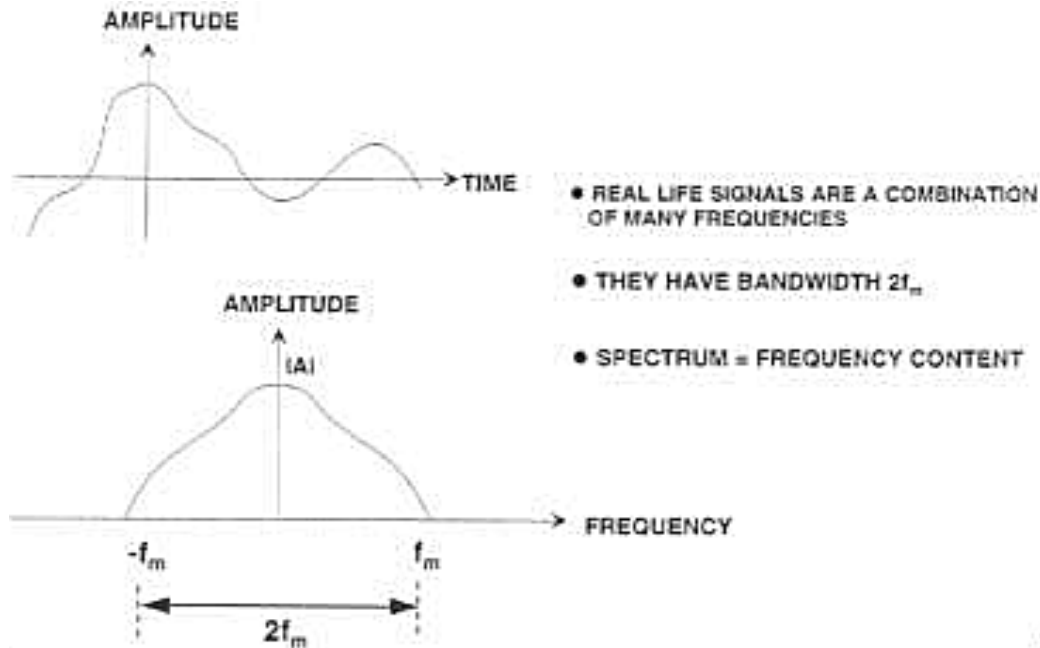
Molti hanno familiarità con quei grafici (curve di risposta) che descrivono le prestazioni degli amplificatori audio per uso musicale o dei cosiddetti "equalizzatori" ; questi grafici mostrano qual'è il contenuto di note basse o alte presente nel segnale in uscita a questi sistemi ; in altri termini viene fatta una rappresentazione nel dominio della frequenza.

Lo strumento più utilizzato per rappresentare un segnale nel dominio della frequenza è l'analizzatore di spettro.

Nel grafico di fig 1 (destra) vengono rappresentati su due diagrammi distinti, nel dominio della frequenza, i contenuti armonici dei segnali .

Nella rappresentazione in alto a destra noi possiamo vedere una singola linea spettrale (pura sinusoidale a frequenza f_1) ; nel grafico sottostante noi possiamo vedere la rappresentazione di un'altro segnale sinusoidale a frequenza f_2 maggiore rispetto ad f_1 .

Segnali Reali 2-2



Segnali Reali

I segnali reali, come il suono o il linguaggio parlato sono molto più complicati di una semplice onda sinusoidale mostrata nella pagina precedente.

Questi sono formati da molte componenti armoniche a diversa frequenza e a diversa ampiezza le quali sommate tra loro danno origine al segnale da noi analizzato (vedi Fourier). Per esempio se tu pronunci la lettera "F" da sola, la tua voce dovrà emettere suoni la cui frequenza risulterà più elevata rispetto a quanto richiesto nel caso di pronuncia della lettera "W". Allo stesso modo quando pronunci la lettera "E" si può dimostrare che essa è costituita da una frequenza principale e alcune frequenze minori. In seguito avrai la possibilità di verificare quanto detto attraverso una dimostrazione.

Larghezza di Banda

Quando il segnale contiene molte componenti armoniche, il grafico nel dominio di f di fig. 1 non risulta più appropriato ; anziché osservare una sola riga spettrale di determinata ampiezza e frequenza, ci troviamo di fronte ad un insieme continuo di componenti armoniche di ampiezza opportuna come evidenziato dal grafico di fig. 3 .

La rappresentazione grafica permette di individuare la frequenza massima e la minima esistente nel segnale. La larghezza di banda del segnale è definita come la differenza fra frequenza massima e minima (in corrispondenza alle quali il segnale ha un contenuto armonico ancora significativamente apprezzabile : nel nostro caso f_m).

Conoscere la larghezza di banda del segnale è molto utile per determinare se un apparato risulti sotto dimensionato in frequenza (e quindi amplifichi ad esempio solo alcune componenti armoniche del segnale) o sovra dimensionato in frequenza rispetto alle reali necessità (e costi magari parecchio).

Ad esempio, un amplificatore audio non andrà mai progettato con larghezza di banda pari a di 50KHz poiché è essenziale che amplifichi solamente quei segnali che possiamo udire. L'orecchio umano può sentire frequenze non superiori ai 20KHz e dunque è inutile realizzare un amplificatore audio con una banda passante pari a 50KHz.

Spettro

L'ampiezza di banda ci permette di individuare la frequenza massima e minima contenute nel segnale, ma non ci dice nulla riguardo al contenuto del segnale. Possiamo avere due segnali entrambi con larghezza di banda di 10KHz uno definito nel campo da 5KHz a 15KHz, l'altro definito fra 500KHz e 510KHz. L'andamento nel dominio di f esprime la distribuzione delle varie componenti armoniche all'interno della banda. Questa rappresentazione grafica prende il nome di spettro del segnale. Nel grafico si evidenzia una elevata presenza di basse frequenze del segnale. Si noti che lo spettro è rappresentato da una funzione "pari" (nel segnale sono presenti componenti a frequenza positiva e componenti a frequenza negativa). Questa rappresentazione comune del segnale è dovuta al fatto che una determinata componente armonica sinusoidale o cosinusoidale può sempre essere espressa come somma di due esponenziali complessi (Eulero). Questo aspetto verrà approfondito più avanti.

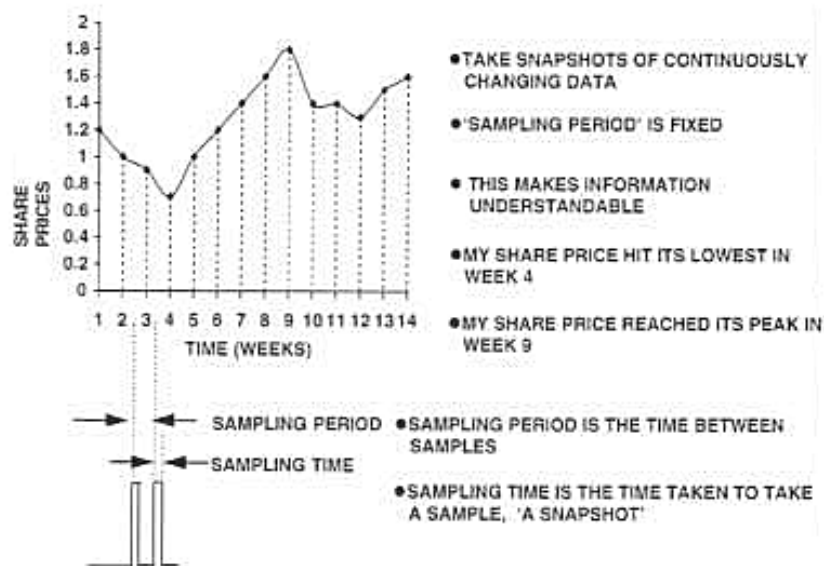
$$e^{\pm j\alpha} = \cos \alpha \pm j \cdot \sin \alpha$$

da cui :

$$\cos \alpha = \frac{e^{j\alpha} + e^{-j\alpha}}{2}$$

$$\sin \alpha = \frac{e^{j\alpha} - e^{-j\alpha}}{2j}$$

Il campionamento di un segnale 2-3



Campionamento

2-3

La conversione analogico - digitale del segnale e viceversa è illustrata nella prima introduzione alla lettura noi vogliamo vedere ora il processo di conversione dettagliatamente.

Il primo stadio nel processo di conversione del segnale analogico digitale per esempio è conoscere il campionamento. Per illustrare l'operazione di campionamento : noi usiamo per esempio il controllo delle variazioni dei prezzi in un supermercato in un certo tempo.

Periodo di campionamento e durata del campionamento

Il periodo di campionamento è il tempo fra un campione e il successivo. Nel nostro caso il tempo è rappresentato da una settimana e la successiva. Il tempo di campionamento è molto difficile da descrivere. Noi pensiamo sempre al tempo di campionamento come ad un istante. In realtà il momento del campionamento richiede un determinato lasso di tempo (tempo di campionamento). Nel nostro esempio il periodo di campionamento è l'intervallo fra una settimana e l'altra, mentre il tempo di campionamento rappresenta una sola ora del lunedì (dalle 5 alle 6). Il tempo di campionamento deve essere molto piccolo rispetto al periodo di campionamento. Riportiamo ora un esempio, la variazione dei prezzi nell'intervallo di una settimana, se noi registriamo i prezzi ogni lunedì della settimana per un mese noi avremo alla fine il diagramma dell'andamento dei prezzi del mercato azionario nel periodo di un mese (l'esempio è riportato nella finestra in alto).

Il campionamento può essere fatto anche ogni giorno oppure ogni minuto, questo ci farebbe una rappresentazione più precisa dell'andamento del mercato azionario, ma noi rischieremo di campionare anche i disturbi. Ragionando al contrario, potremmo campionare ogni dieci giorni oppure due settimane ma perderemo delle informazioni.

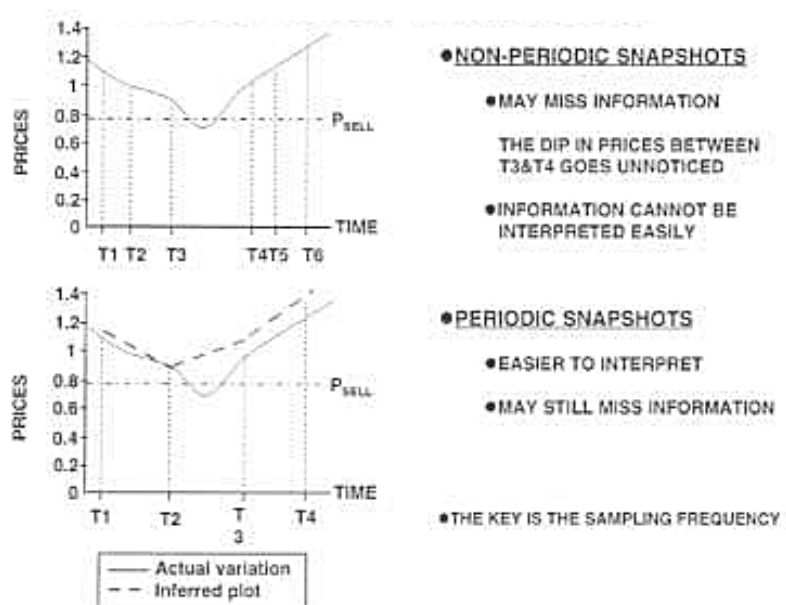
Nella prossima lezione esamineremo la frequenza di campionamento.

Il cambiamento può essere fatto anche ogni giorno oppure ogni minuto, questo ci farebbe una rappresentazione più precisa dell'andamento del mercato azionario.

Ma noi rischieremo di campionare anche i disturbi. Ragionando al contrario potremmo campionare ogni due settimane ma perderemo delle informazioni. Nelle prossime lezioni esamineremo la frequenza di campionamento pronto

Questa sezione è costruita sull'esempio del mercato azionario della pagina precedente. In questo caso abbiamo bisogno di un sistema automatico per determinare quando dobbiamo vendere le nostre azioni.

Se il prezzo delle azioni cade sotto il livello P_{sell} noi dobbiamo vendere o investire. Perdita di Informazioni 2-4



Campionamento Istantaneo 2-4

In questo caso noi supponiamo che l'indice dello stock sta variando come nel grafico, noi supponiamo anche che il mercato azionario è irregolare nel tempo (da T1 a T6) vedi diagramma in alto. Noi possiamo rappresentare i valori dello stock nel tempo ma l'irregolarità dei campioni potrebbe darci un andamento non originale del mercato azionario (con relativa perdita di informazioni), perché l'intervallo irregolare dei campioni crea dei tempi troppo lunghi in cui non si conoscerebbe l'andamento corretto in quel intervallo, perdendo così delle informazioni preziose.

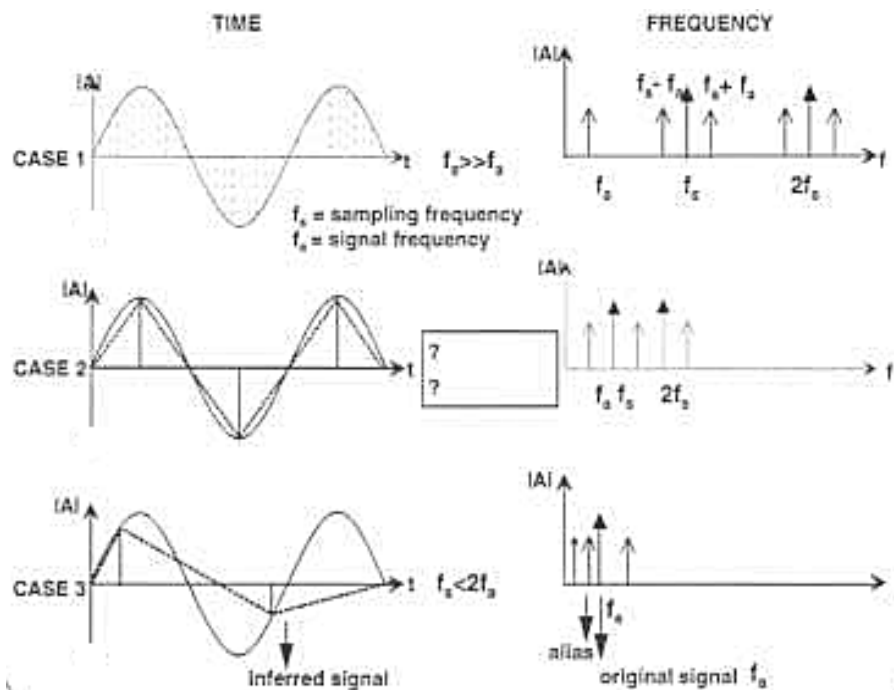
Periodo di Campionamento

L'elemento nel catturare accuratamente informazioni importanti sul segnale analogico è la frequenza che viene catturata istantaneamente. Se noi guardiamo nuovamente l'esempio dell'agente di cambio, anche se noi campioniamo ad intervalli regolari questo non ci assicura che noi non perdiamo informazioni importanti come per esempio il punto di quotazione minima quando noi dovremmo vendere le nostre azioni se lo spazio di campionamento è ampio. Il secondo grafico mostra questo. È facile interpretare questo grafico da cui si vede che l'informazione è stata persa. Il campionamento periodico dunque, non ci assicura il fatto che il segnale sia quello originale.

La Chiave

La soluzione sta nella frequenza di campionamento, la quale deve essere abbastanza accurata da non farci perdere informazioni importanti ma anche abbastanza veloce (pochi campioni). Esiste una regola che mi permette di campionare in modo sicuro e senza perdere informazioni? Fortunatamente sì questo è il teorema che ci permette di determinare la frequenza di campionamento è quello di Nyquist coincidente con quello di Shannon.

Campionamento Corretto 2-5



Campionamento ad Alta Frequenza (2-5)

Se noi campioniamo ad una frequenza molto alta, la curva sarà molto simile all'originale e non si perderanno così informazioni utili. Ogni volta che campioniamo, facciamo una moltiplicazione fra il segnale di campione ed il nostro segnale. Il segnale nel dominio della frequenza, sarà formato da F_s e il suo intorno più $2F_s$ e il suo intorno più $3F_s$ e il suo intorno e così via..... (vedi National Semiconductor Application note 236 pag.554).

Campionare alla frequenza di Nyquist

Se riduciamo la frequenza di campionamento, diminuiscono i campioni nel tempo. Nel dominio della frequenza il nuovo segnale, formato dal segnale di campionamento (righe spettrali intorno a f_s , $2f_s$, $3f_s$,.....) sarà molto vicino allo spettro del nostro segnale. In effetti noi possiamo vederlo chiaramente dal diagramma spettrale, che avrà come limite $F_s=2f_a$, al disotto del quale il segnale si sovrappone con il segnale di campionamento. Nel dominio del tempo, disegnato nel caso 2, dove noi vogliamo prendere due campioni per periodo. In questa condizione il diagramma del segnale nel dominio del tempo è ancora una buona approssimazione a quello originale.

Campionamento al di sotto della Frequenza di Nyquist

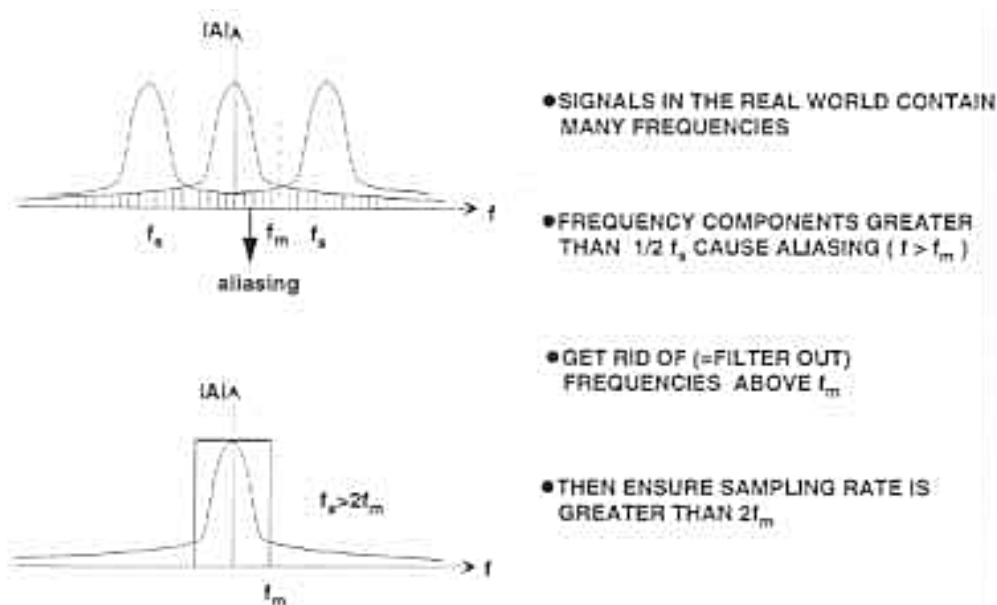
Riducendo ancora di più la frequenza di campionamento, vuol dire prendere meno di due campionamenti. Nel caso 3 vediamo gli effetti di questo campionamento nel dominio della frequenza. Nel dominio del tempo deduciamo che il segnale non sarà più quello originale. Nel dominio della frequenza un falso segnale appare vicino a al segnale originale. Noi siamo ora nella stessa situazione in cui eravamo con i prezzi delle azioni. Non è possibile ricostruire il segnale originale fra diversi campioni questo effetto è chiamato "Aliasing".

Come tu puoi capire la frequenza di campionamento minimo ha bisogno di essere il doppio della frequenza del segnale. Questa frequenza è chiamata **limite di Nyquist**, questa teoria è originata dal teorema di campionamento di Nyquist. Sotto questa frequenza noi non possiamo ricostruire il segnale.

Sebbene il limite minimo di campionamento è detto limite di Nyquist, moderni libri di testo usano il teorema di Shannon's. Questo teorema esprime con accuratezza il segnale analogico, la minima frequenza di campionamento deve essere uguale al doppio della frequenza del segnale. Entrambi i teoremi di campionamento (Shannon's e Nyquist's) esprimono lo stesso concetto.

Una delle chiavi per poter vincere nel mercato azionario è perciò quello di prendere i campioni di una parte dei prezzi con una frequenza doppia a quella di cambio!!

Limitazioni allo spettro 2-7



Spettro di segnali reali

Nelle situazioni reali noi raramente ci dobbiamo riferire ad una pura sinusoide come mostrato nell'ultima lezione. I segnali tipici hanno uno spettro ampio come è mostrato nel diagramma di

figura. Le informazioni al di sopra di determinate frequenze oppure al di sotto di determinate ampiezze sono solitamente considerate non essenziali. Per esempio, i costruttori di sistemi ad alta fedeltà suppongono che la frequenza di 20 kHz sia la più elevata frequenza che l'orecchio umano può ricevere. Supponendo che f_m sia la frequenza massima presente in un segnale, dovrà campionare quel segnale ad una velocità prevista dalle condizioni di Nyquist (o dal teorema del campionamento di Shannon), vale a dire ad una frequenza pari a due volte la frequenza massima contenuta nel segnale.

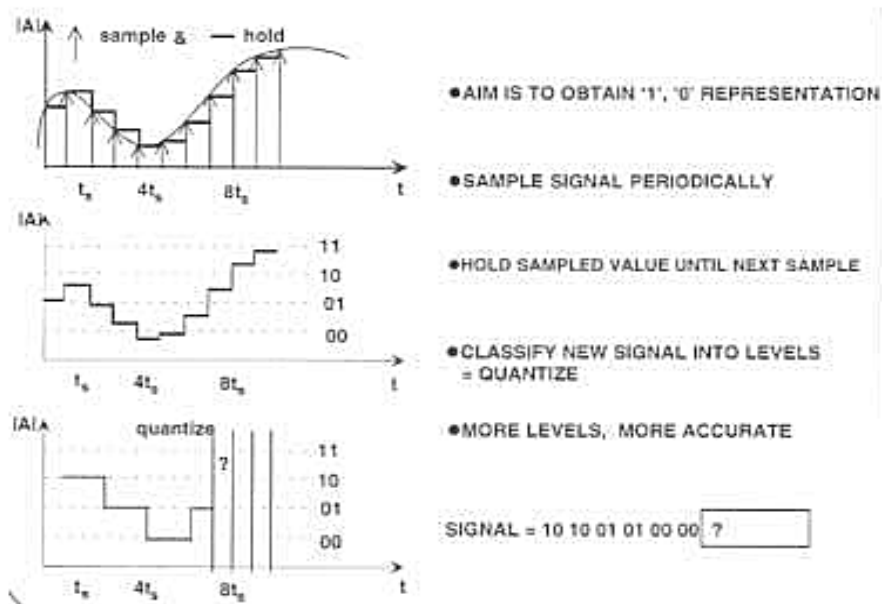
Se noi procediamo a campionare ad una frequenza pari a $2 f_m$ otteniamo uno spettro come mostrato in figura. Gli estremi della banda passante si sovrappongono e noi produciamo un fenomeno chiamato "aliasing" nel segnale di uscita. Per evitare ciò noi dobbiamo innanzi tutto utilizzare un filtro passa basso sul segnale di ingresso per rimuovere qualsiasi componente armonica superiore ad f_m .

Limitazione dello spettro

Questo filtro passa basso è chiamato filtro "anti-aliasing". questi filtri si trovano sul ingresso ma di molte applicazioni; essi sono necessari prima che il segnale venga campionato sono filtri di tipo analogico. È teoricamente possibile utilizzare un DSP per rimuovere il fenomeno dell'aliasing, ma ciò richiederebbe una funzione più complessa. In pratica questo filtraggio farebbe venir meno una buona parte della potenza di calcolo del di DSP che nei sistemi reali è necessario che compia altre funzioni.

La caratteristica di un filtro, "anti-aliasing" è mostrata nella parte inferiore del grafico di figura. Come si nota si tratta di un filtro passa-banda con banda passante pari ad f_m ; il filtro presenta guadagno 1 all'interno della banda passante e 0 all'esterno della banda passante. Un filtro ideale dovrebbe anche avere una risposta con fase lineare. Nella realtà esistono variazioni sul comportamento dei filtri reali rispetto al modello ideale ciò produce effetti significativi sulle prestazioni del filtro. Per esempio in applicazioni di controllo dei sistemi un filtro progettato male può significare che il sistema spende tutto suo tempo tentando di compensare il piuttosto che tentando di mantenere costante la velocità di un motore. Nelle applicazioni audio di tipo commerciale vengono utilizzati con facilità filtri a commutazione capacitiva; essi forniscono una risposta di tipo lineare.

DIGITALIZZAZIONE DEL SEGNALE 2-8



Digitalizzazione del Segnale

Abbiamo ora acquisito il concetto di campionamento di un segnale e della necessità di un filtraggio di tipo "anti-aliasing". Il prossimo stadio è convertire il segnale in una rappresentazione digitale. Nelle applicazioni reali la funzione base viene realizzata utilizzando un circuito detto "sample and hold", che mantiene il livello campionato finché non viene preso il successivo campione. Il risultato di questo processo di campionamento è l'effetto scalinata come può essere visto analizzando la prima parte del grafico di figura.

Può a prima vista non essere chiara la necessità di dover mantenere il valore di ingresso ad un particolare livello, dopo che più volte abbiamo descritto il campionamento come quel processo che cattura in un brevissimo attimo il segnale di ingresso. La ragione è piuttosto semplice; bisogna tenere conto che il convertitore analogico digitale ha bisogno di un tempo finito per effettuare il processo di conversione. Durante questo tempo il segnale di ingresso potrebbe cambiare in modo significativo. Se al segnale si concede di variare in ingresso al convertitore analogico digitale durante la conversione sicuramente il risultato al termine della conversione sarebbe privo di significato, poiché il convertitore ADC effettua stadi diversi della conversione su valori diversi del segnale di ingresso.

Noi dobbiamo ora elaborare un metodo di rappresentazione di questi valori campionati della nostra forma onda analogica sotto forma di numero che possa essere usato dal nostro DSP. Questa funzione viene chiamata quantizzazione. La quantizzazione viene effettuata da un convertitore analogico digitale.

La quantizzazione può essere pensata come una classificazione del segnale all'interno di certe bande di ampiezza. Nel nostro esempio noi utilizzando un quantizzatore a quattro livelli ossia a 2 bit.

Digitale	Decimale
00	0
01	1
10	2
11	3

Il quantizzatore determinerà se l'ampiezza di un particolare campione cade all'interno di uno dei quattro livelli. Ciascun livello viene assegnato a un codice a due bit in ordine crescente. È utile notare a questo punto che:

- 1) la quantizzazione produce una sequenza di valori digitali a due bit del segnale d'ingresso.
- 2) la quantizzazione del segnale riportato sopra genera la sequenza:

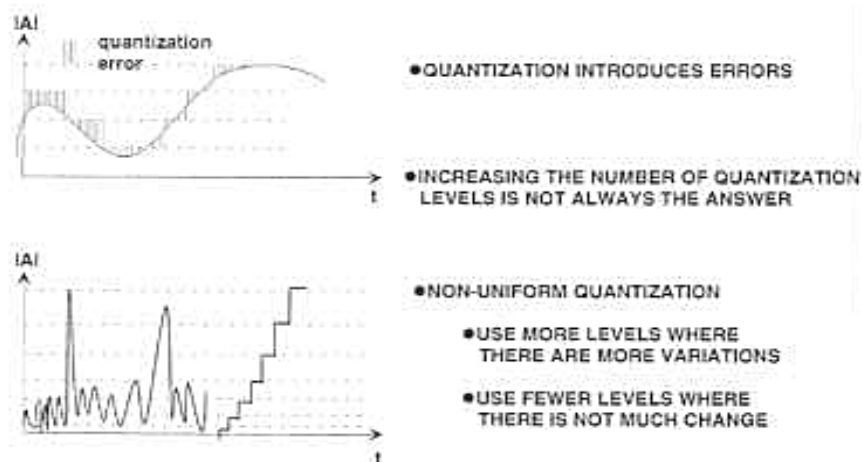
10100101000001

Quali saranno i tre valori finali. ?

Accuratezza

Teoricamente qualsiasi numero di livelli è possibile. Maggiore è il numero dei livelli, più accurata è la rappresentazione digitale del segnale. Il problema va approfondito nel senso che andrà studiato un giusto compromesso tra esigenze di contenere i costi e esigenze di raggiungere livelli di accuratezza adeguati.

Errore di Quantizzazione 2-10



Errore di quantizzazione

Il processo di quantizzazione per sua natura introduce errori. Ci sono due cause primarie di errore. Una è il campionamento, che fotografa l'ampiezza del segnale di ingresso in determinato istante e lo mantiene inalterato fino al successivo campione. La seconda sorgente di errore deriva dal quantizzatore. L'ampiezza del segnale viene approssimata per eccesso o per difetto al valore disponibile nella rappresentazione digitale più vicina.

Il grafico di quantizzazione mostra il tipo di errori coinvolti nel nostro caso. Questo errore produce un effetto che viene chiamato rumore di quantizzazione. In applicazioni di tipo audio questo errore appare come un disturbo presente nel segnale di uscita, da cui deriva il nome. Se prendiamo in considerazione un tipico DSP dotato di convertitore analogico digitale a 10 o 12 bit il rumore di quantizzazione è normalmente trascurabile se confrontato con altre sorgenti di rumore.

Riduzione dell'errore di quantizzazione

Un metodo per ridurre l'errore di quantizzazione è l'aumento del numero dei livelli di quantizzazione. Ciò riduce gli errori in alcuni casi, dato che si avrà un livello di quantizzazione vicino ad un campione. Più livelli noi abbiamo più accuratamente noi possiamo descrivere il segnale analogico. In genere un sistema DSP utilizza un convertitore analogico digitale con 10 o 12 bit. Ciò significa che il segnale di ingresso viene misurato con una risoluzione pari a 1024 o 4096 livelli rispettivamente. Perciò se noi abbiamo un livello di ingresso che varia tra 0 e 5V ; il bit meno significativo (LSB) ,vale a dire il singolo bit, corrisponderà ad un valore pari a 4.88mV ($5V/2^{10}$) per un ADC a 10 bit e 1.22 mV ($5V/2^{12}$) per un ADC a 12 bit , supponendo il passo di quantizzazione uniforme.

Incrementare il numero dei livelli di quantizzazione non è sempre la soluzione corretta. Consideriamo il caso in cui le ampiezza del segnale siano raggruppate come è mostrato nel secondo grafico in alto nella pagina. La porzione inferiore del grafico contiene più variazioni in ampiezza rispetto alla porzione superiore che non cambia di molto. Se si decide di applicare una quantizzazione non uniforme a questa forma d'onda, addensando maggiormente i livelli di

quantizzazione dove il segnale presenta maggiori variazioni, possiamo rappresentare in modo più accurato la forma d'onda nel "dominio digitale".

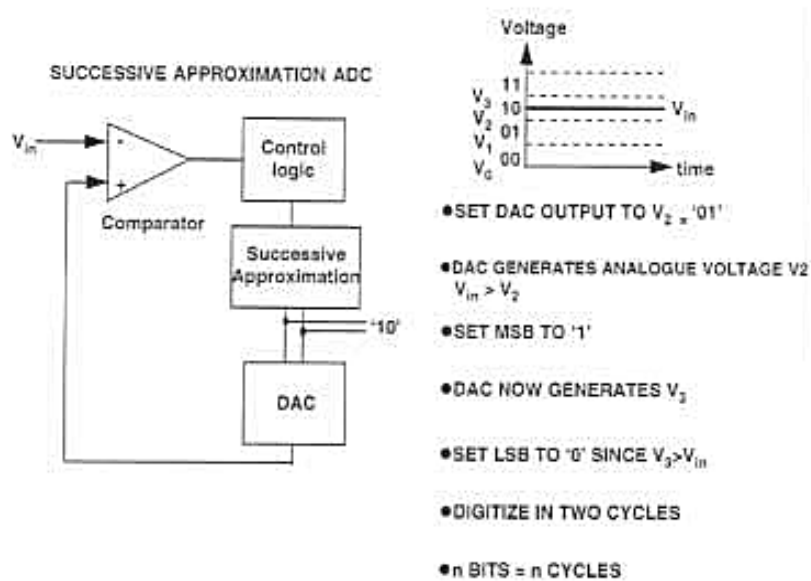
Per risolvere il problema noi adottiamo uno schema di quantizzazione differenziata nella quale l'ampiezza del gradino varia in funzione dell'ampiezza del segnale. Nel caso citato dobbiamo assicurare che ci siano più livelli di quantizzazione a basse ampiezze del segnale.

In pratica si utilizza un quantizzatore con gradino uniforme, mentre il segnale di ingresso viene compresso quando è di ampiezza elevata. Nell'esempio sopra, i segnali di ampiezza più elevata vengono compressi e si lasciano inalterati i segnali a bassa ampiezza, producendo una quantizzazione non uniforme.

Dopo l'elaborazione il segnale viene ricostruito in uscita espandendolo. Questo processo di compressione e di espansione viene chiamato "companding" (COMpressing and exPANDING).

Le applicazioni più importanti e più diffuse del processo "companding" sono la rete telefonica pubblica PCM. Ci sono due diversi schemi "companding" utilizzati in Europa e in USA. Il metodo usato in Europa è chiamato "A-law", quello usato in USA è chiamato "μ-law".

CONVERTITORI A/D 2-12



ADC in pratica

Noi sappiamo come convertire un segnale analogico in forma digitale dallo studio teorico. I vari passi sono i seguenti:

1. Limitare lo spettro
2. Campionare e mantenere il segnale per la durata del ciclo di conversione (S/H)
3. Quantizzare ciascun campione
4. Ottenere la stringa di dati digitali

Ci sono diversi metodi di realizzazione di un convertitore ADC. Noi diamo un'occhiata ai tipi più comuni di convertitore; il convertitore ad approssimazione successive seguito da esempi di altri convertitori disponibili in campo commerciale.

Convertitore ADC ad approssimazioni successive

Per semplicità faremo riferimento ad un esempio a soli due bit. I veri dispositivi reali generalmente hanno una accuratezza che va da 8 a 12 bit. La tecnica di approssimazioni successive utilizzata nel convertitore ADC, è realizzata attraverso l'uso di quattro blocchi funzionali primari. La tecnica usata da questo dispositivo è quella di suddividere il campo di tensione in due metà di determinare in quale delle due metà il segnale di ingresso si trova.

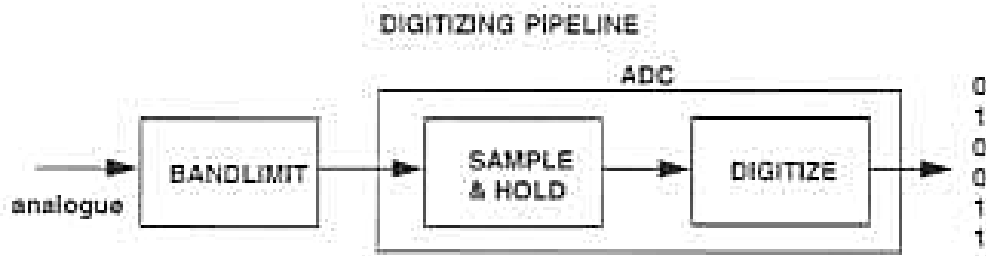
Osservando la figura sopra riportata, la tensione di ingresso è indicata con il simbolo V_{in} , questo ADC è un dispositivo a due bit, così che vi sono quattro possibili campi all'interno dei quali il segnale di ingresso può trovarsi.

Durante il primo ciclo l'uscita del dato viene posizionata a metà del fondo scala, ciò significa che l'intero campo di tensione del dispositivo viene diviso in due parti. Il segnale di ingresso viene quindi confrontato con la tensione di uscita al DAC: Se la tensione di ingresso è più elevata di quella del DAC, allora il bit più significativo del registro SAR viene posto a livello 1, se la tensione di ingresso è inferiore a quella fornita dal DAC, il bit più significativo del registro SAR viene posto a livello zero.

Supponendo che il segnale di ingresso sia maggiore di metà fondo scala (bit più significativo del registro SAR a livello logico 1) allora il DAC modifica la propria uscita a tre quarti del fondo scala e la tensione di ingresso V_{in} viene comparata con questo nuovo valore. Il processo di comparazione viene nuovamente effettuato per stabilire il livello logico da collocare all'interno del successivo bit del registro SAR. Ovviamente questo processo può essere esteso a tutti i bit presenti all'interno del registro SAR.

I convertitori ad approssimazioni successive ADC sono prodotti commerciali poco costosi sufficientemente accurati e sufficientemente veloci. Il tempo di conversione varia da un micro secondo a 50 micro secondi con una accuratezza compresa tra 8 e 12 bit. Questo tipo di convertitore funziona solamente su un breve campione della forma d'onda di ingresso; la eventuale presenza di "spikes" nel segnale di ingresso può produrre valori dell'uscita privi di significato (lo spike potrebbe essere catturato dal S/H). Questo tipo di convertitore non è in grado di seguire le brusche variazioni del segnale di ingresso detta limitazione è legata alla frequenza di clock interna del sistema; il convertitore può essere troppo lento per poter seguire improvvise variazioni del segnale di ingresso. Ora passeremo in rassegna brevemente alcuni altri tipi di convertitori ADC di tipo commerciale.

DIFFERENTI TIPI DI ADC 2-13



- DUAL SLOPE ADC

- SLOW
 - EXPENSIVE

- FLASH ADC

- REQUIRES PRECISION COMPONENTS

- SIGMA DELTA ADC

- USES MOSTLY DIGITAL TECHNOLOGY
 - RELIABLE
 - STABLE

Altre tipologie

I convertitori ADC rappresentano il secondo, per importanza, maggior componente nella catena di digitalizzazione di un segnale analogico. Tuttavia noi ora passeremo in rivista brevemente in questa sezione gli altri tipi di convertitore ADC disponibili in commercio. Per ulteriori approfondimenti o informazioni sull'argomento si può fare riferimento a diversi testi che affrontano in modo ampio i problemi legati alla conversione analogico digitale.

Convertitori ADC a doppia integrazione

Il convertitore ADC a doppia integrazione utilizza un condensatore connesso ad una sorgente di riferimento di corrente. La tensione sul condensatore parte da 0; il condensatore viene caricato durante un tempo prefissato da una corrente che dipende dal valore presente in uscita al circuito S/H. Il condensatore viene poi commutato su una sorgente negativa campione di corrente e viene perciò caricato in senso opposto (o meglio scaricato) a corrente costante finché la tensione ai suoi capi non raggiunge il valore 0. Il tempo richiesto per questa seconda carica viene misurato da un contatore digitale. Il conteggio finale risulta proporzionale alla tensione presente in ingresso al sistema di conversione.

Questa tecnica è molto precisa e può produrre ADC ad alta risoluzione. La tecnica della "doppia-integrazione" assicura che la maggior parte delle variazioni parametriche dei componenti vengano eliminate. Per esempio, fenomeni tipo la deriva termica o gli errori di scala non hanno effetto se si inizia e si finisce con la medesima tensione. Gli svantaggi di questi convertitori stanno nel fatto che essi sono molto lenti e generalmente più costosi dei convertitori di tipo SAR (ADC ad approssimazioni successive).

Convertitori ADC di tipo "flash"

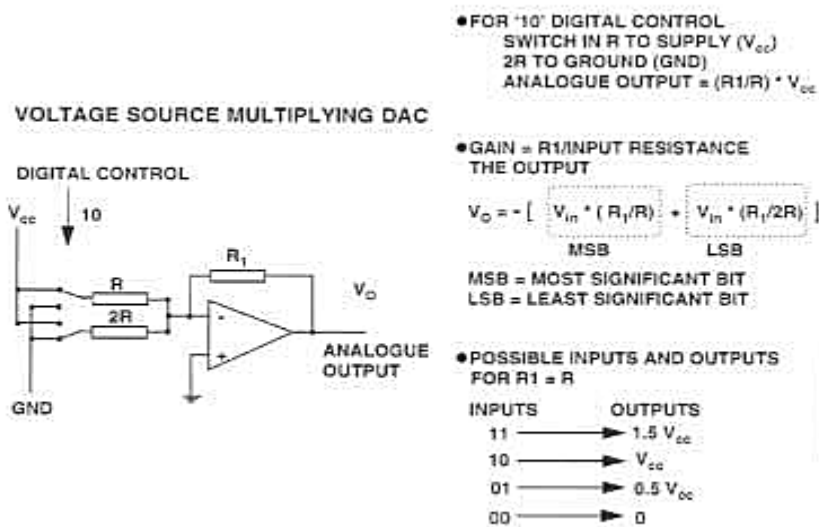
I convertitori ADC di tipo "flash" sono convertitori che operano in modo parallelo e convertono il segnale analogico di ingresso in modo più veloce di altri tipi di convertitori. Essi lavorano comparando la tensione in ingresso con una serie di comparatori analogici collegati ad una rete resistiva (partitore resistivo). Il loro maggior pregio o vantaggio è appunto che essi operano molto velocemente, ciò è dovuto al fatto che essi producono un'uscita digitale in un singolo ciclo di conversione. Questi tipi di convertitori sono l'unico tipo che può essere utilizzato nel caso di

conversioni ad elevata velocità quali sono appunto quelle richieste da sistemi di elaborazione dei segnali video. Lo svantaggio sta nel fatto che i resistori presenti nel partitore devono essere tarati mediante laser per migliorare l'accuratezza del sistema di conversione analogico digitale. Quest'ultimo problema fa sì che i convertitori ADC di tipo "flash" siano molto costosi nel caso in cui essi abbiano un numero di uscite maggiore di 6 (più di sei bit); ciò è dovuto all'aumento di tipo esponenziale del costo dei componenti.

Convertitori ADC di tipo sigma-delta

I convertitori "sigma-delta" beneficiano del vantaggio di essere realizzati quasi completamente con tecnologie digitali. Essi offrono elevata affidabilità, elevata stabilità e migliore funzionalità. Inoltre, a causa della loro composizione quasi esclusivamente digitale, essi possono essere integrati sulla medesima fetta di silicio su sul quale viene realizzato il DSP. La maggior parte dei convertitori ADC è basata sul principio di campionamento di una forma d'onda attorno alla frequenza di Nyquist (teorema del campionamento di Shannon). Essi utilizzano un buon filtro "anti-aliasing". Con essi si possono raggiungere elevati livelli di risoluzione utilizzando componenti selezionati. I convertitori ADC "sigma-delta" lavorano utilizzando ADC a bassa risoluzione (quantizzatore ad un bit) con un una frequenza di campionamento molto maggiore della frequenza di Nyquist. Essi, in ambito digitale, a causa della loro elevata frequenza di campionamento, possono venire utilizzati solamente con segnali a frequenza relativamente bassa ma essi consentono di ottenere risultati con accuratezza molto elevata.

DA digitale a analogico 2-14



Sistemi di conversione digitale-analogica

In molte applicazioni DSP, si deve ricostruire un segnale analogico dopo avere concluso il processo di elaborazione digitale. Questa funzione viene effettuata da un convertitore digitale analogico (DAC). Il costo di un DAC è considerevolmente inferiore a quello di un convertitore ADC. I convertitori DAC normalmente hanno un tempo di assestamento a partire da 100 nanosecondi fino a 1, 2 μ s, ciò dipende dal tipo di circuito adottato e dalla risoluzione degli stessi.

Convertitori DAC a moltiplicazione

I convertitori DAC a moltiplicazione di tensione fanno uso di una sorgente di riferimento in tensione che viene connessa o scommessa ad una rete elettrica dai vari bit del dato digitale. Il convertitore viene denominato " moltiplicatore della sorgente di riferimento in tensione ", dato che esso moltiplica un determinato valore del guadagno con una sorgente di tensione, V_{cc} nel nostro caso.

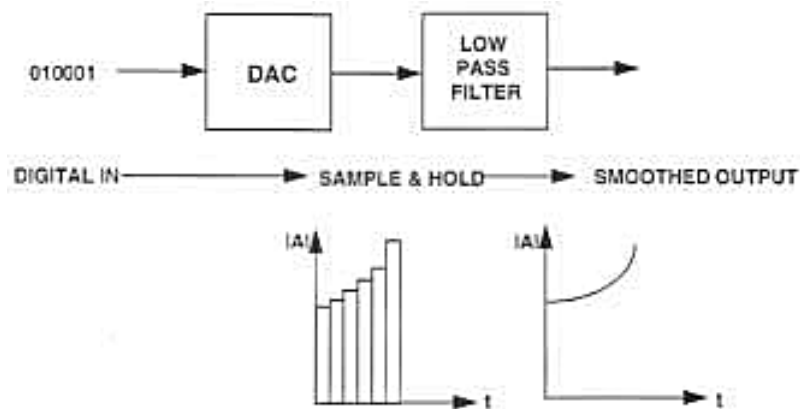
Consideriamo un esempio a due bit. Per convertire " 10 " in forma analogica, la resistenza " R " viene collegata a V_{cc} , il resistore $2R$ viene collegato a massa (0 volt). Il guadagno del circuito è rappresentato dal rapporto $R1/R$, che può essere regolato in modo opportuno. A titolo di esempio, supponiamo che $R1$ sia uguale ad R , allora il guadagno complessivo del circuito sarà pari ad 1, ciò fornirà in uscita un valore pari a V_{cc} .

L'equazione generale di conversione per questo circuito è:

$$V_0 = - \left[V_{in} \cdot \frac{R_1}{R} + V_{in} \cdot \frac{R_1}{2R} \right]$$

Ingressi	Guadagno	Analogue o/p
11	3/2	(1.5) V_{cc}
10	1	V_{cc}
01	1/2	(0.5) V_{cc}
00	0	0

Arrotondamento dell'uscita 2-15



L'uscita di un DAC si presenta sotto forma di gradini di tensione, esattamente allo stesso modo del segnale analogico campionato presente in uscita al circuito S/H. Questo effetto scalinata rappresenta una distorsione del segnale di uscita e ha bisogno di essere rimossa prima che la forma onda analogica possa essere utilizzata. Per rimuovere questo effetto spiacevole viene usato un filtro passa-basso di tipo " smoothing ". Questo filtro, normalmente denominato "filtro di ricostruzione" viene a volte chiamato erroneamente e perciò confuso con il filtro " anti-aliasing ".

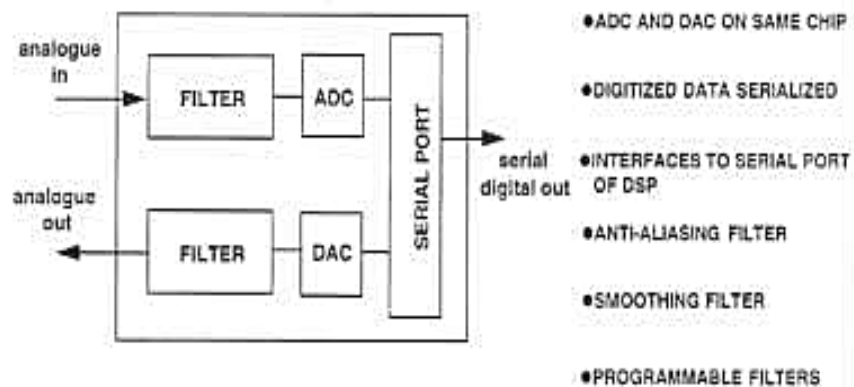
Convertitori commerciali: TLC32040

ADC/DAC di tipo commerciale

I circuiti integrati di interfaccia analogica (AIC), come il modello TLC32040 della Texas Instruments contengono tutti i componenti analogici che nelle precedenti lezioni abbiamo descritto essi contengono il convertitore ADC e il convertitore DAC, naturalmente contengono pure il filtro " anti-aliasing " e i filtri di ricostruzione. I circuiti integrati della famiglia TLC32040, sono dotati di filtri con frequenze di taglio programmabili.

Questo componente è presente sulla scheda DSK di prova e serve per condurre gli esperimenti dimostrativi. Pertanto la conoscenza di questo componente ha rilevanza diretta per le dimostrazioni che verranno di seguito proposte e per l'uso generale della scheda di prova.

SCHEMA A BLOCCHI DI UN DSP 2-16



MANCA ULTIMO PEZZO PAG. 2-16

CHE COS'É UN DSP	3
UN SISTEMA TIPICO DSP	4
CHIP DSP	4
UNITÀ ARITMETICA CENTRALE	4
UNITÀ ARITMETICA AUSILIARIA	4
PORTE SERIALI	5
MEMORIA	5
CONVERTITORE	5
PORTE	5
MOLTIPLICAZIONI E ADDIZIONI (1-5)	6
MAC	7
LA RIDUZIONE DEI TEMPI PER EFFETTUARE UNA MOLTIPLICAZIONE	7
COMPUTER DIGITALI	7
ARCHITETTURA VON NEUMANN	8

ARCHITETTURA HARVARD	8
APPLICAZIONI	8
UN ESEMPIO DI ARCHITETTURA TMS320C5X	9
ARCHITETTURA DEL TMS320C5X	9
SISTEMA DI SVILUPPO PER DSP.	10
IL PROGRAMMA	10
PROGRAMMA ASSEMBLER	10
LINGUAGGI AD ALTO LIVELLO	10
SIMULATORI	11
EMULATORI	11
IL CICLO DI SVILUPPO	11
PERCHÉ DIGITALE	11
PERCHÉ É DA PREFERIRSI UNA ELABORAZIONE DI TIPO DIGITALE	11
PROGRAMMABILITÀ (1-13)	12
LA PROGRAMMABILITÀ	12
STABILITÀ	12
FLESSIBILITÀ	12
STABILITÀ E RIPETIBILITÀ (1-14)	13
EFFETTI DELLA TEMPERATURA	13
INVECCHIAMENTO	13
LE TOLLERANZE	13
RIPETIBILITÀ DIGITALE (1-15)	14
RIPETIBILITÀ	14
LE PRESTAZIONI 1-16)	15
LA COMPRESSIONE (SENZA PERDITA DI INFORMAZIONE)	15
I FILTRI ELIMINA BANDA	15
LA SERIE TMS320 (1-20)	16
ARITMETICA IN VIRGOLA FISSA E IN VIRGOLA MOBILE.	16
C1X, C2X, C5X	16
C3X	16
C 4 x	17
C8X	17
GENERATORE DI TONI	17
SCOPO DELLA DIMOSTRAZIONE	17
INTRODUZIONE	17
DIMOSTRAZIONE	17
SCOPO DELLA DIMOSTRAZIONE	18
INTRODUZIONE	18
IL BANCO DEL FRUTTIVENDOLO	18
IL DEBUGGER DSK	18
IL PROGRAMMA DI DEBUG	18
DIMOSTRAZIONE I	18
DIMOSTRAZIONE DUE	19
DOMINIO DEL TEMPO	20
DOMINIO DELLA FREQUENZA	20
SEGNALI REALI 2-2	21
SEGNALI REALI	21
LARGHEZZA DI BANDA	21
SPETTRO	22
IL CAMPIONAMENTO DI UN SEGNALE 2-3	22
CAMPIONAMENTO 2-3	22
PERIODO DI CAMPIONAMENTO E DURATA DEL CAMPIONAMENTO	23
CAMPIONAMENTO Istantaneo 2-4	23
PERIODO DI CAMPIONAMENTO	24
LA CHIAVE	24

CAMPIONAMENTO CORRETTO 2-5	24
CAMPIONAMENTO AD ALTA FREQUENZA (2-5)	24
CAMPIONARE ALLA FREQUENZA DI NYQUIST	25
CAMPIONAMENTO AL DI SOTTO DELLA FREQUENZA DI NYQUIST	25
LIMITAZIONI ALLO SPETTRO 2-7	25
SPETTRO DI SEGNALI REALI	25
LIMITAZIONE DELLO SPETTRO	26
DIGITALIZZAZIONE DEL SEGNALE 2-8	26
DIGITALIZZAZIONE DEL SEGNALE	27
ACCURATEZZA	28
ERRORE DI QUANTIZZAZIONE 2-10	29
ERRORE DI QUANTIZZAZIONE	29
RIDUZIONE DELL'ERRORE DI QUANTIZZAZIONE	29
CONVERTITORI A/D 2-12	30
ADC IN PRATICA	30
CONVERTITORE ADC AD APPROSSIMAZIONI SUCCESSIVE	31
DIFFERENTI TIPI DI ADC 2-13	32
ALTRE TIPOLOGIE	32
CONVERTITORI ADC A DOPPIA INTEGRAZIONE	32
CONVERTITORI ADC DI TIPO " FLASH"	32
CONVERTITORI ADC DI TIPO SIGMA-DELTA	33
DA DIGITALE A ANALOGICO 2-14	33
SISTEMI DI CONVERSIONE DIGITALE-ANALOGICA	33
CONVERTITORI DAC A MOLTIPLICAZIONE	34
ARROTONDAMENTO DELL'USCITA 2-15	34
CONVERTITORI COMMERCIALI: TLC32040	35
ADC/DAC DI TIPO COMMERCIALE	35