

Compressione dati video digitali: un esempio

Dopo aver visto, a grandi linee, caratteristiche e problematiche inerenti alla compressione dei dati audio, spesso analogici all'origine, una volta convertiti in digitale mediante campionamento, e trasportati su «mezzi» diversi per la distribuzione, vediamo quello che si può ottenere applicando le stessa tecnologia, in pratica, su dati video. L'approccio al problema è sicuramente più stringente, in termini di analisi e soluzioni, nonché legato alla «larghezza di banda» digitale ottenibile e praticabile

di Massimo Novelli

Il segnale video, nella sua accezione più comune, contiene una enorme quantità di informazioni che diventano estremamente costose da trasmettere tra diversi punti. Quello di cui si ha bisogno è una metodologia, quindi un device, che trasmetta solo le necessarie informazioni basate sulla soglia di percezione-colore visiva umana. Questo device è spesso chiamato CODEC, acronimo delle due processioni necessarie date da un enCOder e DECOder.

Un sistema codec codifica segnali video ed audio in formato standard per essere trasmesso, mediante un «mezzo» a limitata larghezza di banda, ad un decoder che a sua volta riceve i segnali così trattati decodificandoli alla loro originaria larghezza di banda e caratteristiche, prima di essere immesso nei consueti canali di visione. Andiamo così ad analizzare una delle sperimentazioni più originali nel voler costringere una grande quantità di dati compressi su un canale di trasmissione, messa a punto congiuntamente da due committenti con grande esperienza nel campo video, la giapponese Ikegami e la KDD.

La loro proposta, integrata per soluzioni hardware e software nel mettere a punto un codec di qualità broadcast, consente all'utenza professionale di trasmettere fino a quattro segnali video e otto segnali audio congiunti su un collegamento di linea standard DS3 (Digital Service 3) con un bit-rate di 45 Mbit/sec. Una piccola digressione: per le sigle usate vi rimandiamo al glossario dei termini in altra parte dell'articolo. Questo sistema contribuisce senz'altro ad abbattere costi di trasporto «media» come pure aumentare efficienza e produttività in applicazioni tipicamente onerose come trasferimenti via satellite o reti di fibre ottiche. In ogni caso, anche al di

là della specifica applicazione, le soluzioni a tali proposte sono di carattere generale fermo restando l'utilità di questa offerta.

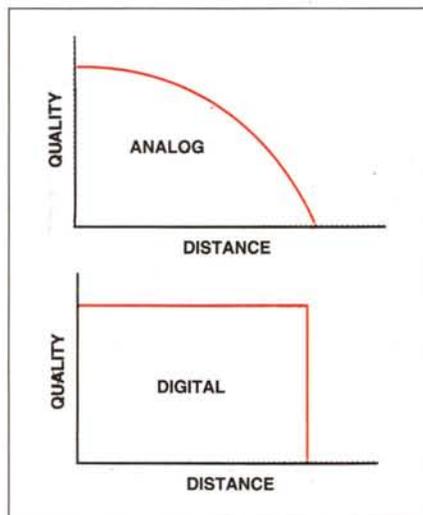


Figura 1 - Una semplice comparazione della qualità di trasmissione rispetto alla distanza da percorrere nei segnali di tipo analogico e digitale.

Analogico vs. digitale

Con straordinaria efficienza e tempestività, almeno sul fronte americano, i due enti preposti a dirimere questioni tecniche di tale natura, come la ATSC (Advanced Television System Committee) per la televisione di genere HDTV e la famosa FCC (Federal Communication Commission) per la radio-diffusione in generale, stanno da tempo investigando sulle nuove tecnologie che dovrebbero rimpiazzare a breve i sistemi correnti. Tali sistemi, è ovvio, saranno digitali e la maggior ragione di tale scelta, rispetto ad un ringiovanito analogico, è a causa della intrinseca «robustezza» di un segnale digitale, da tutti i punti di vista.

Per fare un esempio, la controparte analogica si deteriora esponenzialmente al variare della distanza a cui viene trasportato in maniera inevitabile e su «media» diversi, mentre la sua rappresentazione digitale è di qualità costante, sia nell'incremento della distanza tra i punti sia, soprattutto, nell'attraversare mezzi diversi mantenendone le caratteristiche originarie intatte (su media magnetici, ottici, statici come memorie, via cavo, etere, fibre ottiche, ecc.)

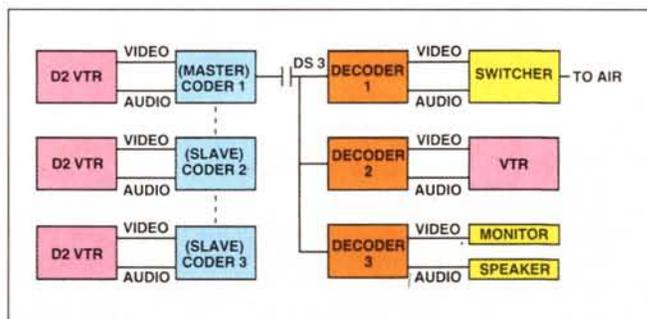


Figura 2 - Schema essenziale dei collegamenti adottati nell'esempio trattato; le uscite delle sorgenti (VTR D-2) creano un flusso di dati di 140 Mbit/sec ognuno. Il sistema di trasmissione lo comprimerà, a seconda dei canali presenti contemporaneamente, a grandezze variabili e mediante il canale DS3 sarà distribuito all'utenza.

Compressione di dati

Come già sappiamo, vari tipi di tecniche di compressione dati per video digitale sono già all'opera o in avanzato stadio di sviluppo, e la tabella 1 mostra chiaramente le varie famiglie e sottospecie praticate. Ancora con un esempio, il Joint Photographics Expert Group (JPEG) ha adottato il metodo «Discrete Cosine Transform» (DCT) come algoritmo-base nello standard ormai stabilmente accettato e verificato. Ma in ogni modo, la maggioranza delle tecniche di codifica a più basso «bit-rate» operano immagazzinando prima dati video non compressi in grandi spazi di memoria per poi quindi realizzare i processi di codifica nel riorganizzare i dati entro il quadro video, sia staticamente «congelando» una immagine sia con processione di tipo temporale. I dati risultanti potranno essere estratti dal quadro evitando se possibile i cosiddetti «motion artifacts». Un altro modo di provvedere alla conversione è nel combinare codifiche di trasformata (come la trasformata Hadamard) con codifica di tipo entropico (codifica di Huffmann), ottenendo così un più basso bit-rate con l'intera processione applicata per ogni quadro video. In questo caso i risultati saranno di nessuna degradazione video entro il frame, anche quando siano presenti veloci movimenti sulla scena.

L'ultima proposta, ed è quella di cui ci occupiamo più a fondo in questo caso, è stata così integrata in un sistema codec consistente in un encoder e di un decoder con compressione digitale multicanale capace di trasmettere uno, due, tre o quattro segnali video su un singolo canale DS3. In paragone agli altri metodi le feature multicanale aggiungono un innegabile vantaggio, soprattutto nella economia del servizio reso.

Configurazione del sistema

Andiamo quindi ad analizzare le applicazioni più comuni di una tale architettura, fermo restando che, a prescindere del numero di canali che potrà variare o del mezzo di trasmissione adottato, cioè se satellite, modem, o cavi a fibre ottiche, l'uscita campionata del codec rimarrà sempre nel rapporto bit-rate di 45 Mbit/sec; in pratica l'originalità della sperimentazione è tutta in questa voce. Tenendo ben presente la figura 2, il segnale DS3 contiene un video e uno o due canali audio di alta qualità. Il video, in questo caso proveniente per esempio da un VTR digitale D2 (ma potrebbe essere anche un D1) rappresenta ap-

rossimativamente un flusso di dati dell'ordine di 140 Mbit/sec. Per inciso un videoregistratore in formato D2 campiona il video composito a quattro volte la frequenza della sottoportante colore e lo fa con una risoluzione di 8 bit (calcolando le grandezze, avremo quindi $4 \times 4,4336 \times 8$ - circa 141.875.000 bit, ovvero 142 Mbit/sec). Il codec campionerà

per compressione il video ad un segnale di soli 39,1 Mbits/sec per la trasmissione, e poiché si tratta di un singolo segnale, una simile soluzione consente la miglior qualità nell'immagine risultante rendendola indistinguibile dall'originale di partenza. Tale configurazione è senz'altro indicata per il trasferimento, ad alta qualità, del materiale trattato.

tabella 1

Codifica di predizione	Predizione sui valori, predizione lineare, predizione "adaptive", predizione switching. Predizioni di 1 , 2 e 3 ordine.
Predizione "Intraframe"	Predizione "Intrafield". Predizione "Interfield".
Predizione "Interframe"	Codifica differenziale sul frame. Supplemento condizionale dei pixel. Compensazione/Interpolazione di movimento. Predizione Background.
Codifica di trasformata	DCT, DFT, Trasformata Hadamard, Trasformata Slant, Trasformata K-L. Trasformata di 1 , 2 , 3 ordine. Codifica "Zone-bit", codifica "Adaptive".
Quantizzazione vettoriale (VQ)	VQ discreta sul valore principale, VQ su guadagno/pendenza, VQ multi-livello. VQ a ricerca dati, di tipo lineare e ad albero.
Codifica gerarchica	Codifica "Bit-plane" e "Level-plane". Codifica di riproduzione sequenziale.
Codifica a divisione di larghezza di banda	Codifica sub-band, codifica a troncamento di blocchi.
Codifica a estrazione strutturale	Codifica di dettaglio, codifica a divisione di area. Codifica a sintesi analitica, a sintesi ricognitiva, codifica intelligente.
Codifica di entropia	Codifica Huffmann Codifica "Run-length" Codifica aritmetica

Panoramica totale sugli attuali algoritmi di compressione dell'immagine video.

Se uno o più coder sono usati all'origine, uno di essi viene considerato come Master (ancora figura 2), mentre gli altri presenti sono chiamati Slave (schiavi). Ognuno di essi, comunque, ha identiche capacità di accettare un video e due canali audio. All'arrivo, cioè sul lato ospitante, tutte le unità ricevono lo stesso segnale DS3 e nessuna distinzione è fatta tra le varie unità. A margine di tale configurazione c'è da tener presente la non necessità di gen-lockare il segnale di arrivo (cioè di sincronizzare al resto la sorgente) anche se è richiesto in ogni caso uno stabile segnale di sincronismo. Da notare poi che non c'è nessuna differenza tra master e slave, tutte le unità verranno considerate le stesse.

Con due segnali video e quattro canali audio, ogni video sarà compresso a 18,6 Mbit/sec, mentre se il canale DS3 conterrà tre video e sei canali audio la compressione adottata arriverà a circa 11,8 Mbit/sec. Aggiungendo poi infine un quarto segnale video e i corrispondenti canali audio ovviamente si incre-

tabella 2

Tipo di servizio digitale	USA	Europa	Giappone
DS-1	1,544	2,048	1,544
DS-2	6,312	8,448	6,312
DS-3	44,736	34,368	32,064 44,736
DS-4 *	139,264	565,000	397,200

Tutti i valori sono in megabits/sec (Mbits/sec).

* questo data-rate è attualmente allo stadio di sviluppo, non ancora praticabile.

Una comparazione tra i canali DS (Digital Service) in uso e proposti. Anche se la terminologia tra i servizi può variare, ed anche i loro data-rate, per fare un esempio, il Digital Service DS0 (n.d.r. leggi DS zero) non è altro che il classico B-Channel ISDN a 64 Kbit/sec.

menterà il rapporto di compressione per ogni canale. Alla massima possibilità, cioè con i quattro video e gli otto audio simultanei, ogni canale presenterà un rapporto di compressione che arriva a 8,4 Mbit/sec. A questo punto, ed a questo grado di compressione molto più al-

to di quello di partenza, è significativo accettare comunque qualche degradazione di segnale, inevitabile e a discrezione dell'utenza considerando la effettiva economicità di soluzioni così spinte, nel rapporto costi/prestazioni tra qualità di immagine e spese di trasmissione. Per quanto riguarda poi la logistica dei sistemi, i multiplex di codifica dovranno risiedere nello stesso luogo, mentre l'equipaggiamento di decodifica potrà invece essere localizzato in luoghi diversi e a distanza l'uno dall'altro. Innegabilmente altro punto a favore della proposta Ikegami-KDD (figura 3).

La rete ISDN e le sue applicazioni nel broadcast

La nuova rete digitale integrata nei servizi (Integrated Service Digital Network) sarà senza dubbio la «new frontier» delle telecomunicazioni per gli anni '90 ed oltre. Appena introdotta in Italia, con l'attivazione di centri pilota nelle maggiori città del paese, ma già ampiamente diffusa in altre aree nel mondo, offre tutta una serie di servizi numerici che vanno dalla fonia generica di alta qualità alla trasmissione dati di ogni genere (e quindi audio e video soprattutto, non solo nell'ambito delle teleconferenze). Integrandosi pian piano nella normale rete telefonica analogica, sarà destinata a soppiantare l'intera connettività attuale nell'arco di qualche anno. Di base, ed in ambito europeo, sarà possibile attivare mediante canone di noleggio, varie opportunità e con diverse caratteristiche. A partire dall'accesso base, così denominato, che consta di due connessioni a 64 Kbit/sec ognuna per un totale di 144 Kbit/sec compresi 16 Kbit/sec di controllo, ove è già possibile far scorrere un segnale audio digitale con larghezza di banda di almeno 7,5 KHz e anche di più, che rispetto alla attuale BW analogica di soli 3,2 in uso la dice lunga sulla sua efficienza, a quello primario caratterizzato da una velocità di 2,048 Mbit/sec multiplexando 30 distinti accessi base (il cosiddetto DS1).

L'originalità di tali connessioni, soprattutto

nell'unire serie di canali-base in multiplex tra loro, danno alla ISDN una flessibilità di esercizio incredibile ove l'utente voglia servizi diversi a varie velocità; e le capacità intrinseche sono ben messe in evidenza quando si considerano le più alte velocità di connessione. Nel DS2 si potrà andare a ben 8,448 Mbit/sec semplicemente unendo tra loro quattro canali DS1, mentre al DS3 si arriverà sommando tra loro sedici canali DS1 a 34,368 Mbit/sec e così via.

Certamente a questo punto potrà sorgere in futuro tutta una serie di problemi, magari di altra natura, di non facile soluzione soprattutto tra gestori di servizi del genere e radiodiffusione in concreto. Se finora il trionfo, per fare un esempio, produzione radio-TV/broadcaster/gestore di impianti di diffusione era coincidente in un singolo ente e non poteva essere diversamente, ora tale equilibrio potrebbe spezzarsi con le conseguenze del caso. Fermo restando le due prime voci inalterate, la terza potrebbe essere «super partes» rispetto alle altre due, non essendo più controllabile dall'ente radio-TV, creando uno scompenso, in ambito investimenti e ammortamento d'impianto, difficilmente quantificabile. Ma tutto ciò, in pratica, sta già avvenendo per quanto riguarda l'uso dei satelliti, nei loro diversi servizi, per cui il problema non dovrebbe essere così preoccupante.

«Data-rate» di trasmissione e gerarchia digitale

Supponiamo che siano a disposizione due tipi di codec, uno operante a 45 Mbit/sec e l'altro a 40 Mbit/sec. Supponendo anche che entrambi siano della stessa qualità, quale dei due potrebbe rappresentare la migliore soluzione? Anche se si potrebbe pensare che l'unità a 40 Mbit possa fare un lavoro più efficiente, in realtà dovrebbe essere selezionato quello operante a 45 Mbit per la semplice ragione che non esiste un canale di trasmissione portante che agisca sui 40 Mbit. Pur se è tecnicamente possibile abbassare ulteriormente il bitrate (e qualche casa costruttrice sta già tentando di farlo) i circuiti a standard DS3 sono attualmente di (quasi) comune utilizzo in paesi all'avanguardia tecnologicamente ed i loro rapporti operazionali, in termini di flusso, sono fissati dai vari enti di telecomunicazione nazionali ed internazionali. Ma quali sono i bit-rate possibili ed usati da questo nuovo tipo di trasmissione? La tabella 2 ci mostra chiaramente gli standard di fatto usati e quelli proposti come futuri. È qui ci viene in mente quello che si sta facendo, soprattutto nei paesi più svilup-

tabella 3

Trasmissione		originale data-rate	data-rate di trasmiss.	rapporto di compress.
HDTV	Alta qualità	1.2 Gbits/sec	140 Mbits/sec	1:9
	Generica	600 Mbits/sec	60-140 Mbits/sec	1:5 - 1:10
Broadcast TV		216 Mbits/sec	45-60 Mbits/sec	1:4 - 1:5
		216 Mbits/sec	30-145 Mbits/sec	1:5 - 1:7
TV via cavo		100 Mbits/sec	10-20 Mbits/sec	1:5 - 1:10
Teleconferenza		100 Mbits/sec	384 Kbits/sec	1:50 - 1:250
Videotelefono		100 Mbits/sec	48-64 Kbits/sec	1:2000

Sono in evidenza le relazioni tra l'origine dei segnali delle sorgenti ed i rapporti data-rate delle trasmissioni una volta compresse, considerando una degradazione nulla oppure al limite della riconoscibilità. Ricordiamo che una visione di alta qualità su un comune televisore è, in termini di flusso, dell'ordine dei 10 Mbit/sec.

pati tecnologicamente nell'ambito delle telecomunicazioni, per unificare lo standard ISDN (Integrated Service Digital Network) da parte delle varie compagnie telefoniche internazionali, offrendo una varietà di servizi che vanno dalla fonia di alta qualità a trasmissione dati molto veloce, non paragonabile a nessun altro attualmente in uso sia in termini di costi che di qualità, almeno nelle premesse iniziali.

Tornando all'analisi del sistema, e con in mente i vari standard internazionali, la sua efficienza dipenderà dall'abilità degli algoritmi adottati nel ridurre il bit-rate il più possibile senza sacrificare la qualità dell'immagine, pur rientrando nelle fasce di trasmissione evidenziate dalla tabella. Da notare comunque che una ricezione di alta qualità per un comune televisore casalingo è considerata, in termini di flusso di dati, intorno ai 10 Mbit/sec.

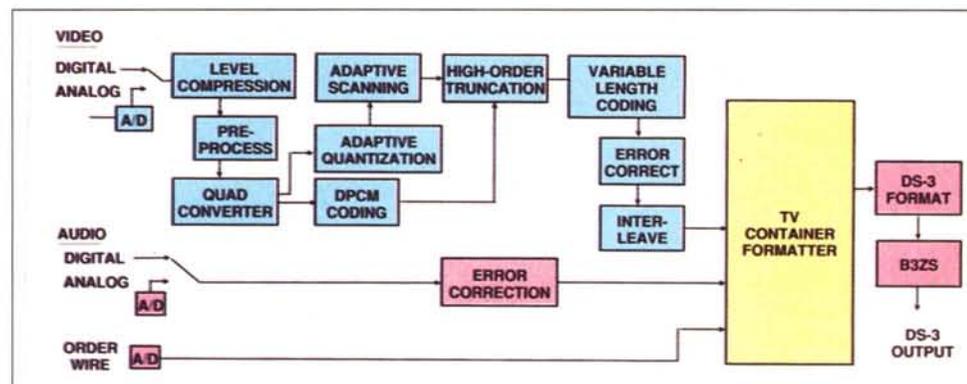
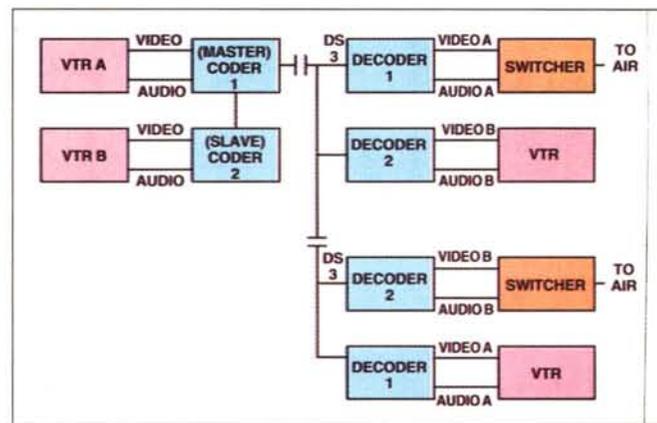
Le tecniche adottate

L'analisi della essenziale circuitazione sarà doverosa a questo punto e ci scusiamo se il discorso tecnico, a volte, potrà sembrare ostico, ma è un passo necessario per capirne il funzionamento. Il video analogico d'ingresso, se il segnale da trattare è di tal genere, andrà prima convertito in digitale (figura 4) ed è da notare che sarà fatto sulla sua natura composita. Quindi non ci sarà separazione della luminanza dalla crominanza, come si potrebbe supporre, con la necessità di ri-encodizzare il segnale composto. Questa processione sarà in grado di mantenere intatta la saturazione dei colori con la precisione dell'originale. La conversione A/D userà i classici 8 bit di «Pulse Code Modulation» operante a quattro volte la frequenza della sottoportante colore per un flusso di dati risultante, abbiamo detto, di circa 140

Mbit/sec. La compressione sui livelli, se applicata, riguarderà solo quei segnali che sono molto al disopra del normale standard, come evidenti sopraesposizioni di luce data da riprese non perfettamente curate o altro, mentre i circuiti di pre-processione rimuoveranno i segnali di sync e di blanking originali, cosicché solo il segnale video in se stesso venga processato. Un converter a quadratura

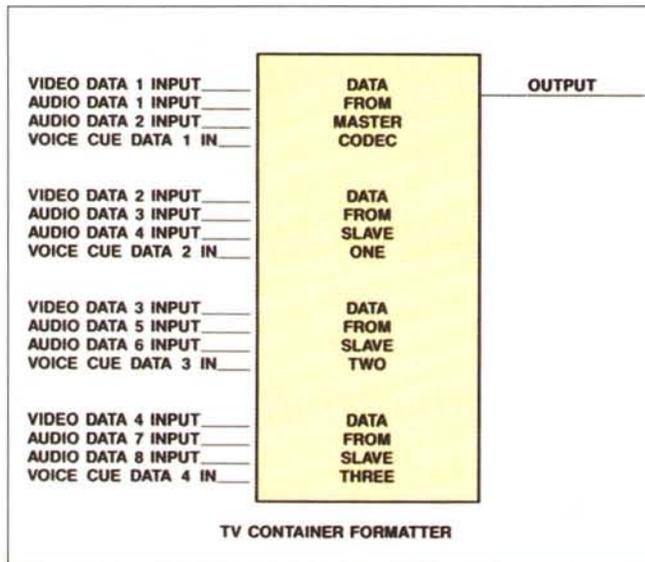
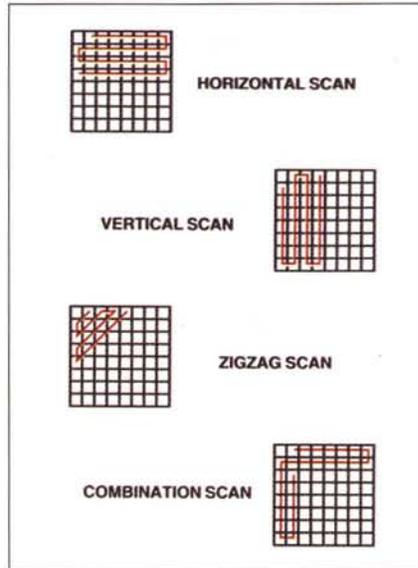
Figura 3 - Codificatori multipli dovranno risiedere nello stesso luogo, mentre per i decodificatori saranno consentite locazioni diverse sempre nell'ambito del canale di trasmissione DS3 associato.

Figura 4 - Lo schema a blocchi del codec in oggetto; è in evidenza la processione video, molto complessa, e quella audio sicuramente più semplice. Da notare alla fine della catena il TV Container Formatter.



dine che troncherà soltanto le alte frequenze dei dati in eccesso che rischiano di sovrarmodulare la capacità di trasmissione nel DS3, fermo restando la considerazione data alle componenti di ordine più alto, che non sono processate, indispensabili affinché la qualità dell'immagine rimanga intatta.

I dati così quantizzati e combinati verranno destinati verso lo schema di codifica a lunghezza variabile di tipo Huffman, abbastanza classico in sé, che provvederà ad una ulteriore riduzione di bit-rate senza nessuna perdita di informazioni, assegnando brevi sequenze di codici ai valori più spesso significativi e sequenze più lunghe a quelli meno ripetitivi. Ad ulteriore processo si appli-



▲ Figura 5 - I differenti sistemi di scansione dei blocchi di pixel all'interno del quadro video; ne sono consentiti di diversi.

Figura 6 - Il TV Container Formatter basato su un sistema a quattro canali, cioè al massimo delle possibilità offerte dalla sua architettura. Esso non è altro che un dispositivo di formato dati, nell'imballaggio dei blocchi, proprio delle specifiche DS3.

cherà un codice «Forward Reed-Solomon error-correction» nella misura di 16 byte per ogni gruppo di 239, che sommati tra loro daranno un totale di 255, ossia ogni gruppo di 239 byte di dati diventerà 255 di forward error-correction. Questo segnale sarà così miscelato in sequenza mediante un processo di interlacciamento il quale considererà blocchi adiacenti tra loro di 255 byte alla volta in maniera alternativa. Se durante la trasmissione avverranno degli errori, essi appariranno in modo random, cioè casuali, e con molto meno significanza quando i dati saranno riordinati alla fine della catena.

Per finire, i dati video così combinati saranno ulteriormente miscelati ai due canali audio rispettivi, che dovrebbero essere digitali convertiti a 16 bit e 48 kHz di campionamento creando un flusso di 768 Kbit/sec., per andare direttamente ad un blocco di correzione d'errore, che a sua volta provocherà il necessario ritardo atto ad «attendere» la processione molto più lunga del video corrispondente. A margine delle possibilità offerte poi ci sarà anche quella di unire alla totalità dei segnali prodotti un utilissimo canale cue (order wire), cioè un canale di servizio fonico o dati, usato spesso per comunicazioni interne o automatismi di ogni genere. Associato al codec multicanale vi sarà un cosiddetto «TV Container Formatter», ossia un combinatore di segnali la cui architettura dipenderà dal numero di codec in uso (figura 6) e specifico dello standard DS3, mentre il device B3ZS non è altro che un circuito di sostituzione di zeri binario, che assicura in sostanza la presenza di sufficienti 1 nel flusso per una corretta base dei tempi.

Quale futuro?

Al di là della specifica applicazione vista, di indubbia genialità e funzionalità, è bene tener presente gli innegabili vantaggi delle tecnologie che consentono la compressione video in ambito broadcast, sia nell'aspetto della efficiente riduzione del segnale senza pregiudicare la qualità originaria sia nella riduzione dei costi per trasportarne le informazioni necessarie. Sono già in atto sperimentazioni di alto livello proposte da enti radiotelevisivi internazionali, sia in America che in Europa che in Giappone e come su altri fronti, come quello della compressione audio digitale di alta qualità, le prospettive danno fiducia alle premesse iniziali.

Ci sarà anche un codec per la televisione del futuro, ormai definita a grandi linee e sicuramente molto diversa dall'attuale?

ME

Glossario dei termini

ADPCM - Adaptive Differential Pulse-Code Modulation. Una forma di codifica digitale molto più efficiente della lineare PCM poiché sarà in grado di codificare solo le differenze tra un campione e il seguente, invece di assegnare valori discreti a tutti i campioni indiscriminatamente. È in grado anche di adattare la sua codifica ai valori del segnale durante il processo. Considerata come una forma di compressione di dati di tipo statistico.

B-CHANNEL - Nei servizi ISDN, un canale designato alla trasmissione fonica e/o dati.

CODEC - Codificatore/decodificatore. Qualsiasi device che include codifica di trasmissione digitale e decodifica di ricezione nello stesso apparecchio.

D-CHANNEL - Nei servizi ISDN, un canale ausiliario designato per controllo di trasmissione o servizi suppletivi al B-Channel.

DS0 - Digital Service 0. Un canale dati a velocità 64 Kbit.

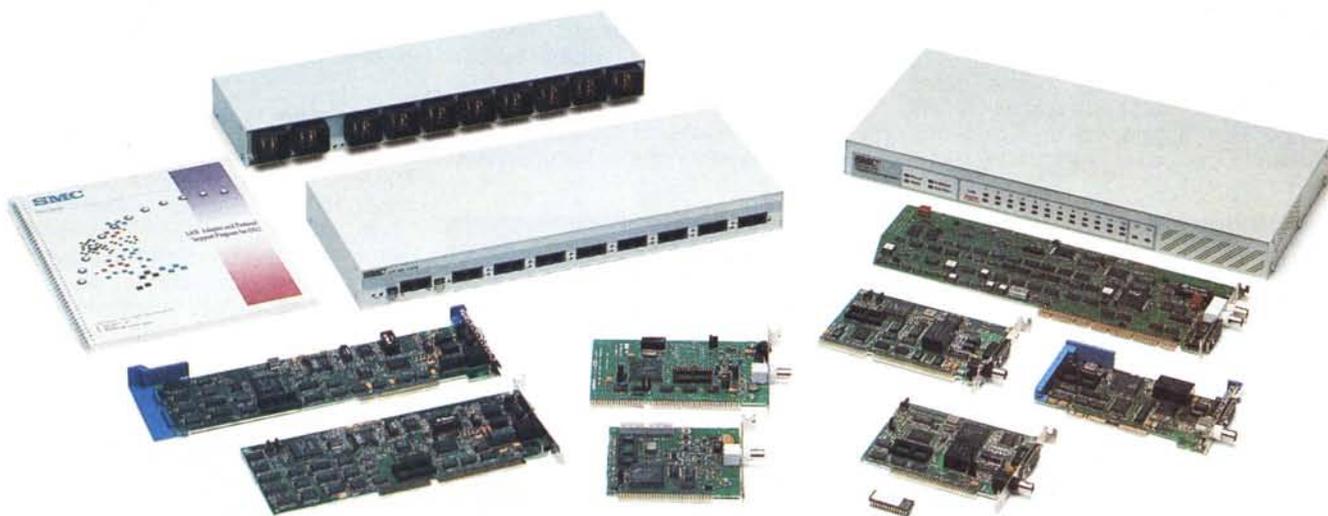
DS1 - Digital Service 1. Un canale dati a velocità 2.048 Kbit/sec normalmente configurato come 30 (oppure 24 in USA per 1.544 Kbit/sec) canali DS0 più 8 Kbit/sec di sync. Vedere tabella 2.

DS2 - Digital Service 2. Quattro canali DS1 multiplexati insieme.

DS3 - Digital Service 3. Sedici canali DS1 multiplexati insieme con controllo dati addizionale, risultante in un flusso dati di 34,368 Mbit/sec. Da notare gli standard internazionali diversi (per gli USA si tratta di 28 canali DS1 in multiplex). Vedere tabella 2.

SMC®

CONFORT DI MARCIA SU QUALSIASI TERRENO.



Con i prodotti SMC si può viaggiare comodamente nel mondo delle reti,
si può marciare con ottime prestazioni oltre la compatibilità
disponendo di una vasta gamma di drivers.
Affidabilità globale in una serie completa nel mondo Arcnet, Ethernet e Token Ring.
Qualità da leadership con tre anni di garanzia.

Distributore per l'Italia

MIXEL

36040 Torri di Quartesolo (VI) - Via Roma, 171 - Tel. 0444/583998-380799 r.a.