



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Tesi di Laurea Triennale in  
INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

**Tecniche di controllo dell'errore  
per la trasmissione di contenuti video  
valutate tramite la teoria dei giochi**

Relatore  
Leonardo Badia

Candidato  
Mattia Rebato

Anno Accademico 2012/2013



*A tutti coloro che mi hanno sostenuto in questo lungo percorso...*



# Sommario

In questa tesi viene analizzato il controllo d'errore sulla trasmissione di contenuti multimediali attraverso la teoria dei giochi.

La tesi studia un protocollo di controllo d'errore che divide i pacchetti in due differenti classi di servizio. In particolare è possibile suddividere i pacchetti a seconda della loro importanza, differenziandoli in modo da ottenere ritrasmissioni selettive solo sui frame più importanti.

Attraverso l'utilizzo della teoria dei giochi è possibile ottenere un compromesso tra qualità e ritardo nella trasmissione video, scegliendo di volta in volta un diverso gioco di coordinamento per raggiungere l'obiettivo desiderato.



# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Codifica e trasmissione video</b>	<b>5</b>
2.1	Codifica video . . . . .	5
2.1.1	Compressione applicata a singole immagini: Discrete Cosine Transform (DCT) . . . . .	6
2.2	Introduzione al formato video MPEG . . . . .	7
2.2.1	I differenti tipi di immagine MPEG . . . . .	8
2.2.2	Scomposizione dell'immagine in livelli . . . . .	11
2.2.3	Predizione del movimento e compensazione . . . . .	12
2.3	Correzione d'errore . . . . .	14
2.3.1	Selective Repeat . . . . .	15
2.3.2	Correzione d'errore per formato MPEG . . . . .	15
2.4	Related Work . . . . .	17
<b>3</b>	<b>Teoria dei giochi</b>	<b>19</b>
3.1	Introduzione alla teoria dei giochi . . . . .	19
3.2	La descrizione di un gioco . . . . .	19
3.2.1	Diversi tipi di equilibri . . . . .	21
3.2.2	Il Dilemma del prigioniero . . . . .	22
3.3	Coordination game . . . . .	23
3.3.1	La battaglia dei sessi . . . . .	24
3.3.2	Gioco di coordinamento per il controllo d'errore . . . . .	25
3.4	Related Work . . . . .	27
<b>4</b>	<b>Risultati</b>	<b>29</b>
4.1	Scenario completo . . . . .	29
4.2	Figure . . . . .	31
<b>5</b>	<b>Conclusioni e future implementazioni</b>	<b>35</b>
5.1	Sviluppi futuri . . . . .	35



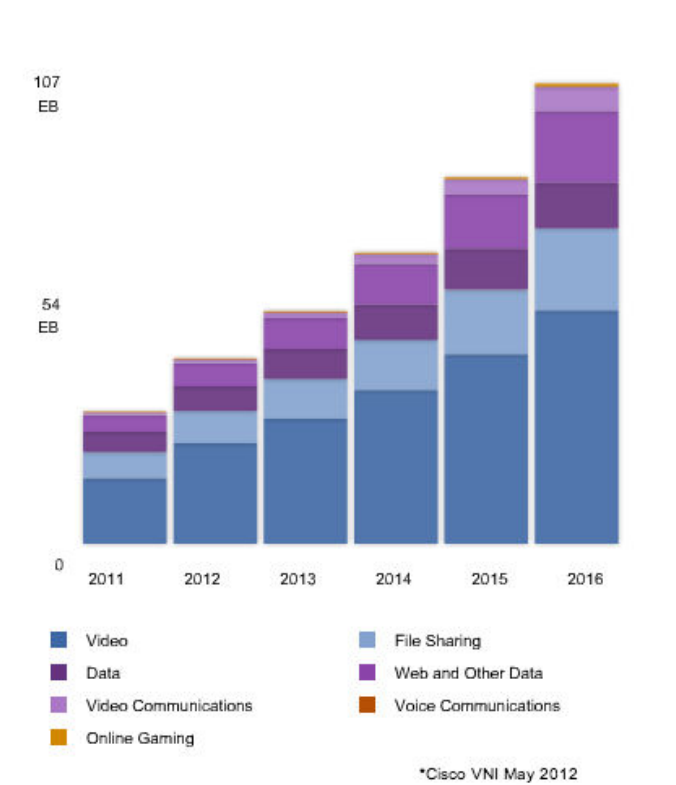


# Capitolo 1

## Introduzione

L'ultimo rapporto Visual Networking Index (VNI) realizzato da Cisco, fornisce una previsione (2011-2016) sull'evoluzione della rete internet. Fra quattro anni il volume di dati generato su base annuale in rete sarà di 1.3 zettabyte, per avere un'idea della grandezza di questo dato è come se ogni tre minuti transitassero su internet tutti i film prodotti dall'uomo [9]. L'aumento del traffico è principalmente dovuto ai sempre più numerosi dispositivi collegati alla rete: non solo PC, ma anche tablet, smartphone ed elettrodomestici. Nel 2016 si prevedono 2.5 dispositivi collegati ad internet pro capite. Come evidenzia la Fig. 1.1, tra tutti i tipi di dati, il traffico video sarà quello che maggiormente crescerà. Nel 2016, il 55 per cento di tutto il traffico Internet sarà di tipo multimediale, senza considerare i contenuti video scambiati attraverso reti peer-to-peer (P2P). Se prendiamo in esame tutte le forme di video (TV, video on demand (VoD), internet e P2P) nel 2016 queste occuperanno l'86 per cento del traffico globale [9].

In particolare in questa tesi ci poniamo l'obiettivo di studiare un algoritmo che caratterizza un modello di re-invio di pacchetti video, il quale trova un compromesso tra qualità e ritardo in base alle esigenze dell'utente. Nella trasmissione di contenuti video, come in qualsiasi altro tipo di trasmissione, c'è la possibilità che alcuni pacchetti contenenti informazione vengano persi, compromettendo in questo modo la qualità del video in questione. A differenza di altre forme di dati, il formato video contiene molta ridondanza tra



**Fig. 1.1:** Traffico dati internet previsto fino al 2016 [9].

immagini successive e viene quindi codificato in modo diverso. I frame che formano il video a seconda della loro posizione hanno un rate di compressione diverso. Questa conseguenza fa sì che determinati frame abbiano più importanza di altri e quindi per una trasmissione di qualità è opportuno che i frame ad alto contenuto informativo arrivino a destinazione. Nel caso in cui il frame ad alto contenuto non arrivi a destinazione si procede con le ritrasmissioni fino a quando il pacchetto non è correttamente arrivato [27]. Se la probabilità d'errore nel mezzo di trasmissione è elevata e vengono effettuate troppe ritrasmissioni si accumula un tempo di ritardo significativo.

Con l'uso della teoria dei giochi è possibile modellare un gioco di coordinamento che risolve il problema individuando il giusto numero di re-invi di un pacchetto se esso non arriva correttamente al ricevitore mantenendo un ritardo non troppo elevato. L'obiettivo della tesi è quello di trovare un

compromesso, *trade off*, tra la qualità e ritardo del video ottenibile con il numero di ritrasmissioni che il gioco di coordinamento fornisce.

La rimanente parte dell'elaborato è organizzata come segue. Nel capitolo due viene descritto il funzionamento della codifica video con tutti i possibili tipi di frame. Si conclude il capitolo con la descrizione delle ritrasmissioni e un particolare protocollo per la correzione d'errore che ha come obiettivo trovare un compromesso tra qualità e ritardo video.

Nel capitolo tre si introduce la teoria dei giochi con le definizioni fondamentali ed esempi utili alla comprensione dell'argomento. In conclusione viene spiegato il gioco di coordinamento utilizzato per l'algoritmo proposto in questa tesi.

I capitoli conclusivi mostrano uno scenario completo con i risultati numerici del controllo d'errore e le funzioni trovate. Vengono illustrati dei risultati che simulano e mettono a confronto i diversi giochi di coordinazione implementati.



# Capitolo 2

## Codifica e trasmissione video

### 2.1 Codifica video

Alla fine del secolo scorso, in seguito alla grande diffusione di applicazioni multimediali, si presenta la necessità di memorizzare e riprodurre immagini in movimento in formato digitale. Date le grandi dimensioni dei file video è necessaria anche la compressione [30].

La codifica video utilizza varie tecniche per la compressione dei contenuti video in modo da renderne più facile e veloce la trasmissione. In Fig. 2.1 sono riportate le dimensioni, in seguito alla compressione, di sistemi di trasmissione analogica usati nel mondo. Queste tecniche possono essere di tipo lossless o lossy, rispettivamente senza o con perdita di informazione. Prendendo in esame una telecamera che cattura 30 frame al secondo di una

	Video Resolution (pels $\times$ lines $\times$ frames/s)	Uncompressed Bitrate (RGB)	Compressed Bitrate
Film (USA and Japan)	(480 $\times$ 480 $\times$ 24Hz)	133 Mbits/s	3 to 6 Mbits/s
NTSC video	(480 $\times$ 480 $\times$ 29.97Hz)	168 Mbits/s	4 to 8 Mbits/s
PAL video	(576 $\times$ 576 $\times$ 25Hz)	199 Mbits/s	4 to 9 Mbits/s
HDTV video	(1920 $\times$ 1080 $\times$ 30Hz)	1493 Mbits/s	18 to 30 Mbits/s
HDTV video	(1280 $\times$ 720 $\times$ 60Hz)	1327 Mbits/s	18 to 30 Mbits/s
ISDN videophone (CIF)	(352 $\times$ 288 $\times$ 29.97Hz)	73 Mbits/s	64 to 1920 kbits/s
PSTN videophone (QCIF)	(176 $\times$ 144 $\times$ 29.97Hz)	18 Mbits/s	10 to 30 kbits/s
Two-channel stereo audio		1.4 Mbits/s	128 to 384 kbits/s
Five-channel stereo audio		3.5 Mbits/s	384 to 968 kbits/s

**Fig. 2.1:** Bit-rate di compressione per formati standard: National Television System Committee (NTSC), Phase Alternating Line (PAL) e HDTV [6].

scena stazionaria, tutti i frame che vengono prodotti sono correlati uno dopo l'altro. In questi segnali è presente ridondanza e informazione superflua. Tale ridondanza può essere rimossa con determinati algoritmi senza la perdita di informazione.

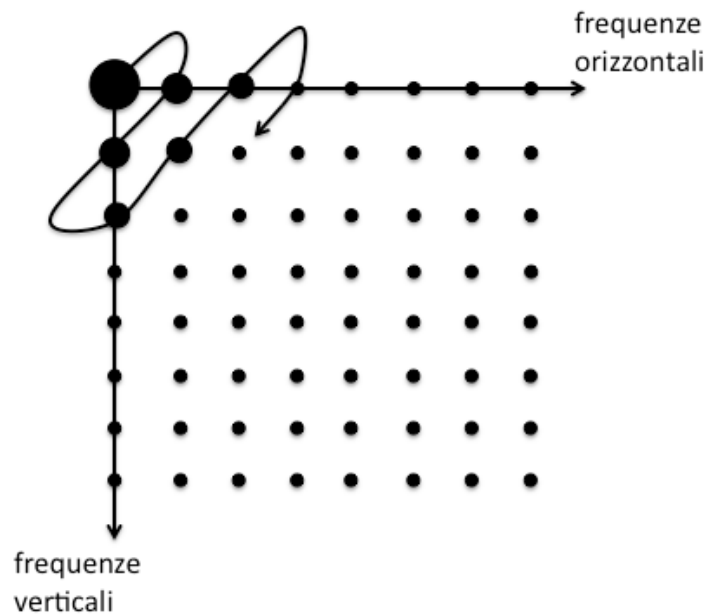
Ulteriori codifiche, implementate anche nel formato Joint Photographic Experts Group (JPEG), rimuovono parte dell'informazione non utile riducendo così la dimensione dei file da trasmettere o memorizzare. Si presenta però una perdita d'informazione irrecuperabile in fase di decodifica. Tutte queste tecniche sono basate sul dedurre le immagini di una sequenza utilizzando le precedenti e le successive, con un minimo di informazione aggiuntiva rappresentata dalle differenze tra le immagini [6].

### **2.1.1 Compressione applicata a singole immagini: Discrete Cosine Transform (DCT)**

La DCT è un caso particolare di trasformata di Fourier applicata a segnali discreti, la quale decompone segnali periodici in una serie di seni e coseni [30]. In seguito il segnale può essere rappresentato da una serie di coefficienti per ognuna delle funzioni. Per processare un'immagine è necessaria una DCT applicata su due dimensioni; tale immagine essendo formata da  $N \times N$  macroblocchi (quadrato di  $16 \times 16$  pixels) fornisce un blocco  $N \times N$  di coefficienti [28, 30].

Nell'osservazione del blocco di una normale immagine la distribuzione dei coefficienti non è uniforme, i coefficienti più alti sono concentrati a bassi valori di frequenza. Per questa ragione la DCT concentra l'energia attorno alle basse frequenze [28]. Una tipica immagine DCT può essere vista in Fig. 2.5.

Dato che l'occhio umano è maggiormente sensibile alle basse frequenze, in seguito alla DCT, si applica una quantizzazione efficiente. Le alte frequenze vengono campionate con un tasso inferiore di incidenza rispetto alle basse frequenze [30]. Il blocco quantizzatore controlla i vari coefficienti a zig-zag (mostrato in Fig. 2.5) per poi essere codificati utilizzando il metodo di codifica a lunghezza variabile, in inglese Variable Length Codes (VLC) [5]. VLC usa



**Fig. 2.2:** Trasformata discreta del coseno (DCT) su di un blocco d'immagine  $8 \times 8$  [28].

lunghezze di codewords differenti in base alla frequenza con cui il simbolo compare [28].

## 2.2 Introduzione al formato video MPEG

L'International Organization for Standardization (ISO) riunisce un gruppo di esperti, International Electrotechnical Commission (IEC), provenienti da diversi rami quali elettronica, informatica e telecomunicazioni, per realizzare un formato standard ISO / IEC 11.172 conosciuto come Motion Pictures Expert Group (MPEG). Tale formato comprime il file video riducendo così il bit-rate per la trasmissione. La prima realizzazione permetteva la memorizzazione su CD-ROM di video e audio stereo con un bit-rate di 1.5 Mb/s [1].

Lo standard MPEG-1, pubblicato nel 1993, venne definito in tre sezioni:

- MPEG-1 system (ISO/IEC 11172-1): definisce MPEG-1 struttura multiplex;
- MPEG-1 video (ISO/IEC 13818-2): definisce MPEG-1 video coding;
- MPEG-1 audio (ISO/IEC 13818-3): definisce MPEG-1 audio coding;

La qualità delle immagini ottenute da MPEG-1 non è adatta alle applicazioni broadcast, dato che non viene adottata la codifica di immagini interlacciate o una possibile evoluzione verso il formato High-definition Television (HDTV). Il gruppo IEC lavorò quindi verso uno standard più flessibile ottimizzato per le trasmissioni broadcast, ovvero l'MPEG-2 [2].

Di conseguenza nel 1995 uscì MPEG-2, che come il predecessore venne indicato in tre parti distinte:

- MPEG-2 system (ISO/IEC 13818-1): definisce l'MPEG-2 streams;
- MPEG-2 video (ISO/IEC 13818-2): definisce l'MPEG-2 video coding;
- MPEG-2 audio (ISO/IEC 13818-3): definisce l'MPEG-2 audio coding.

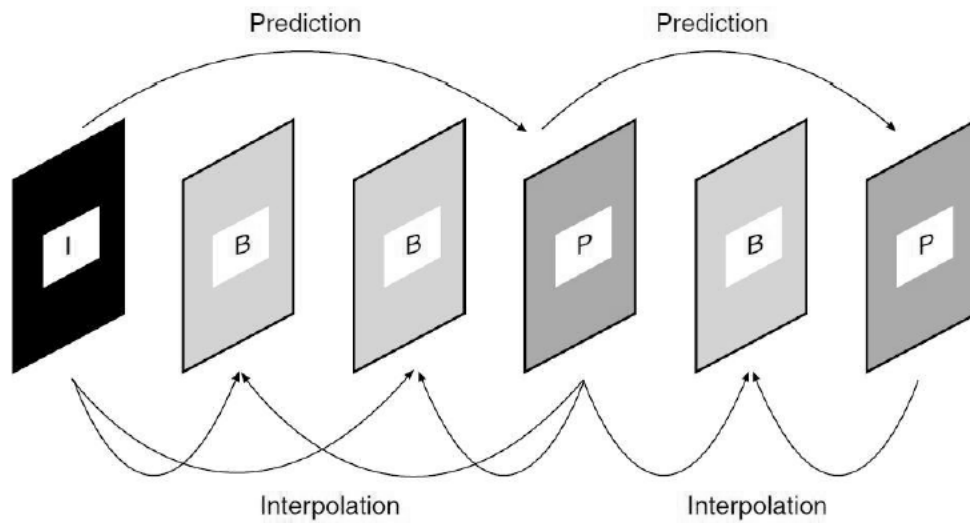
Questo nuovo standard, introducendo il concetto di profili e livelli, permette flessibilità sulle diverse risoluzioni, frequenze e bit-rate. I profili definiscono sottoinsiemi di algoritmi e funzionalità che spaziano in diverse applicazioni [2]. Data la sua flessibilità si possono ottenere immagini televisive di buona qualità con bit-rate compresi tra 4 e 9 Mbit/s [7].

### 2.2.1 I differenti tipi di immagine MPEG

Il formato MPEG definisce tre tipi di immagini, disposte come in Fig. 2.3 [1]:

- **I (intra)** le immagini sono codificate, senza alcun riferimento ad altre immagine allo stesso modo del formato JPEG, il che significa che contengono tutte le informazioni per la ricostruzione da parte del decodificatore; per questo motivo tale immagine è fondamentale come punto di partenza per la ricostruzione della sequenza. Il rate di compressione





**Fig. 2.3:** Concatenazione MPEG dei tre tipi di immagini [7].

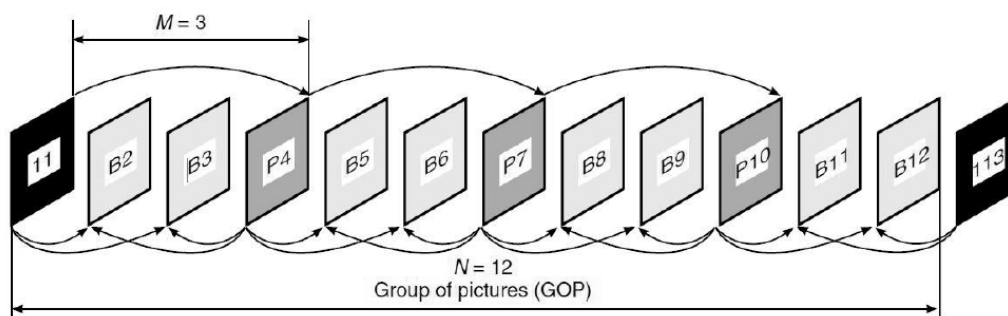
dei frame I è molto basso e paragonabile ad una immagine JPEG della stessa dimensione.

- **P (predicted)** le immagini sono codificate con la precedente immagine I o P, usando la tecnica di previsione del movimento con compensazione. Questo tipo di immagine può essere utilizzata come base per la predizione delle successive immagini, ma dato che la compensazione non è perfetta, per una buona qualità non è possibile estendere di molto il numero di frame P tra due immagini I. Il tasso di compressione dei frame P è molto più alto del precedente I.
- **B (bidirectional)** le immagini sono codificate mediante interpolazione bi-direzionale tra le immagini di tipo I e P che precedono e seguono. Tale immagini non vengono utilizzate per la codifica di immagini successive presentando quindi il vantaggio di non propagare errori. Il tasso di compressione è il più alto tra i tre tipi.

In base alle complessità del codificatore utilizzato, è possibile codificare frame di tipo I, I e P, oppure la terna I, P, B con risultati di qualità finale percepita e compressione molto diversi [7].

Sono stati introdotti due ulteriori parametri che descrivono la successione di frame I,P e B:

- **M** è la distanza, in numero di immagini, tra due successivi frame di tipo P;
- **N** è la distanza tra due successive immagini I, definendo così un Group of Pictures (GoP).



**Fig. 2.4:** Esempio di un GoP MPEG dove  $M=3$  e  $N=12$ .

Generalmente i parametri utilizzati sono  $M = 3$  e  $N = 12$ , in modo da ottenere una buona qualità video e un tempo di accesso casuale accettabile (inferiore ai 0.5 s) [7]. Con questi parametri, il rate di compressione globale è massimizzato dal fatto che le immagini più frequenti sono quelle con il tasso di compressione più elevato.

### Riordino delle immagini

Naturalmente la sequenza di immagini in uscita dal decodificatore deve avere lo stesso ordine che aveva prima della codifica. Con i precedenti parametri ( $M=3$ ,  $N=12$ ) la corrispondenza tra la posizione dell'immagine in sequenza e il suo tipo è la seguente:

$$1(I)2(B)3(B)4(P)5(B)6(B)7(P)8(B)9(B)10(P)11(B)12(B)13(I)...$$

Tuttavia dato che per decodificare l'immagine di tipo B (bidirectional), sia l'encoder che il decoder hanno bisogno del frame I e P rispettivamente pre-

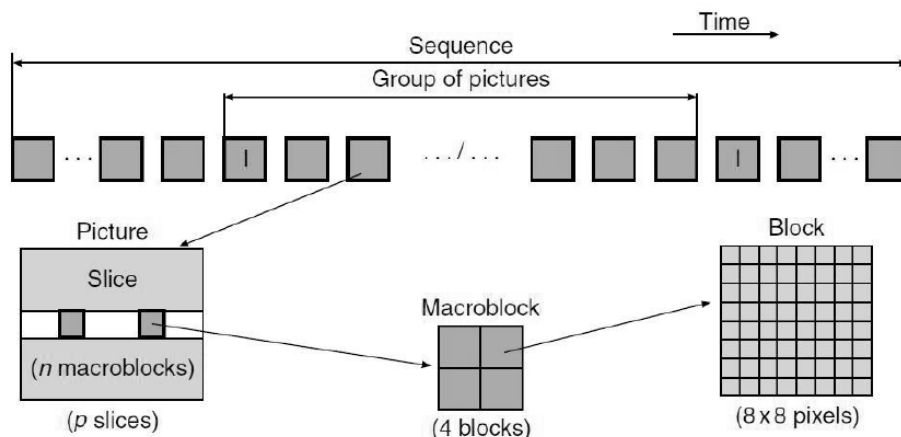
cedente e successivo, occorre un riordino delle immagini che nel nostro caso potrebbe essere il seguente:

$$1(I)4(P)2(B)3(B)7(P)5(B)6(B)10(P)8(B)9(B)13(I)11(B)12(B)\dots$$

L'utilizzo della compressione per mezzo dei frame B comporta un aumento di ritardo in fase di codifica e decodifica della durata di due immagini extra e la presenza di un opportuno buffer.

### 2.2.2 Scomposizione dell'immagine in livelli

Il formato MPEG è definito da una gerarchia di livelli ognuno dei quali ha una o più particolari funzioni nel processo MPEG [2]. Partendo dal livello più alto, i livelli in successione sono:



**Fig. 2.5:** Gerarchia dei livelli video MPEG [7].

- **Sequence:** è il livello principale che definisce il contesto valido per tutta la sequenza: parametri video di base, ecc.
- **Group of pictures (GoP):** è il livello che determina l'accesso casuale alla sequenza, che inizia sempre con un'immagine di tipo I.

- **Picture:** è l'unità elementare precedentemente chiamata frame o immagine, essa può essere uno dei seguenti tipi I,P e B.
- **Slice:** è il livello per l'indirizzamento intra frame e (ri)sincronizzazione, per esempio nella correzione di errori. Viene definito come un gruppo di macroblocchi contigui. L'insieme delle slice copre l'intera immagine senza alcuna sovrapposizione.
- **Macroblock:** livello principalmente impiegato per la stima di movimento/compensazione. Un macroblocco ha dimensione di  $16 \times 16$  pixel.
- **Block:** come nel formato JPEG, l'immagine viene divisa in blocchi di  $8 \times 8$  pixel ed è in questo livello che viene eseguita la DCT.

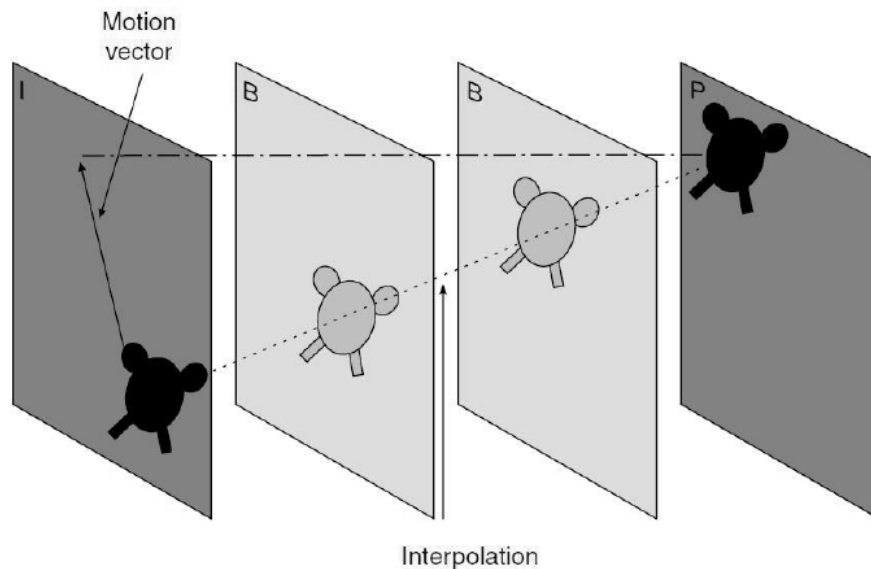
### 2.2.3 Predizione del movimento e compensazione

Dalle descrizioni precedentemente introdotte si intuisce che frame di tipo P e B sono sempre precedute e/o seguite da altre immagini. In una sequenza di frame in movimento, gli spostamenti di un oggetto si traducono in differenti posizioni dell'oggetto stesso nelle immagini immediatamente successive, senza che vi sia alcuna correlazione evidente tra le zone di spostamento.

La stima del movimento consiste nel definire un vettore movimento che fornisce una correlazione tra la zona di arrivo sulla successiva immagine e la zona di partenza nella precedente; tale tecnica è conosciuta come *block matching*, ovvero accoppiamento di blocco [7]. Questo viene fatto a livello di macroblocco spostandolo dall'immagine corrente all'interno di una piccola finestra di ricerca sull'immagine precedente, confrontando quindi tutti i macroblocchi possibili della finestra, al fine di trovare quello con minor differenza [30].

Nel confronto tra un'immagine P e una I, o tra due di tipo P, a causa della distanza temporale tra frame (distanza di tre immagini nel caso in cui  $M=3$  e  $N=12$ ), il block matching non sarà perfetto. Per questo motivo la differenza, chiamata *prediction error*, tra il blocco effettivo che dev'essere codificato e quello *matching* calcolato viene codificato in modo analogo ai

blocchi delle immagini I ovvero con DCT, quantizzazione, RLC/VLC (codifiche di sorgente che diminuiscono le lunghezze delle codewords). Tale processo viene chiamato *motion compensation*. Per frame di tipo B, i vettori di mo-



**Fig. 2.6:** Semplice illustrazione della motion compensation [7].

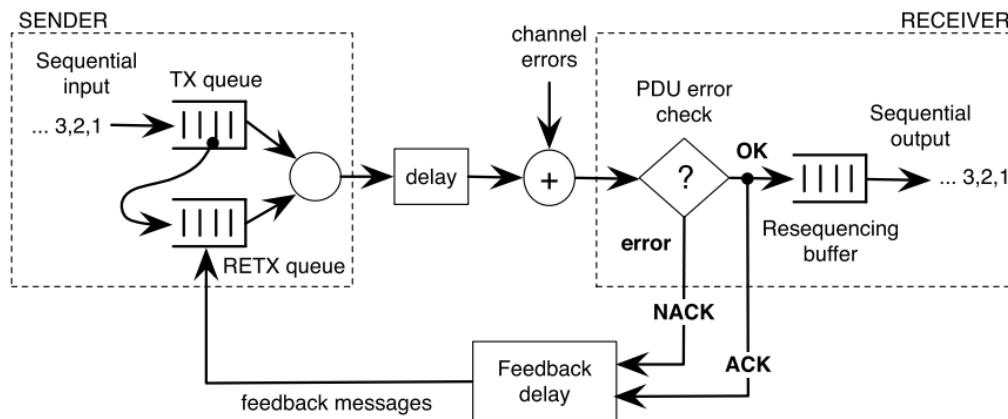
vimento vengono calcolati per interpolazione temporale a partire dai vettori dell'immagine P successiva in tre diversi modi (avanti, indietro, bidirezionale); il risultato porta a minimizzare l'errore previsto e, allo stesso modo delle immagini P, esso viene codificato. Solamente i macroblocchi diversi dalle immagini utilizzate per la previsione dovranno essere codificati, il che riduce la quantità di informazioni necessarie per la codifica di B e P. Dato che le dimensioni degli oggetti in movimento è generalmente più grande di un *macroblock*, è presente una forte correlazione tra vettori di blocchi consecutivi. Per questo motivo si utilizza un metodo di codifica differenziale, in inglese Differential Pulse-Code Modulation (DPCM) dei vettori [7].

Nel caso in cui una telecamera in movimento introduca nelle immagini nuove zone e oggetti, la predizione non dà risultati utili, e le corrispondenti parti vengono *intra* codificate nello stesso modo fatto per le immagini di tipo I [6].

## 2.3 Correzione d'errore

In fase di trasmissione la perdita di pacchetti, in inglese Packet Data Unit (PDU), contenenti dati è presente sia nelle trasmissioni via cavo, a causa della congestione, che nelle trasmissioni wireless per mezzo dell'errore sul singolo bit [14].

Per cercare di ovviare a tale problema vengono applicati metodi per la correzione di eventuali errori ripristinando l'informazione originale.



**Fig. 2.7:** Diagramma che rappresenta il meccanismo ARQ [8].

Ci sono due principali meccanismi per la correzione d'errore, chiamati Automatic Repeat reQuest (ARQ) e Forward Error Correction (FEC) [14, 20]. L'ARQ utilizza un segnale di acknowledgments (ACK) o negative acknowledgments (NAK) mandato dal ricevitore al mittente per informarlo sullo stato della trasmissione dei pacchetti lungo il canale. In Fig. 2.7 è rappresentato lo schema del funzionamento dell'ARQ modellato con l'aggiunta degli errori che il canale introduce [8]. Questi errori possono essere dovuti all'interferenza con altri utenti o all'attenuazione del segnale. Per correggere questi errori si effettuano ritrasmissioni dei PDU.

In altro modo, FEC manda assieme ai dati normali bit aggiuntivi di ridondanza, che permettono la correzione di eventuali errori al ricevitore senza la ritrasmissione da parte del mittente [14].

Per la trasmissione di contenuti video FEC risulterebbe essere migliore dato che non introduce un elevato ritardo. Tuttavia l'uso di FEC aumenta il contenuto di informazioni da trasmettere e se consideriamo la banda limitata della trasmissioni wireless il controllo d'errore risulta inefficiente. Di conseguenza si potrebbe usare un metodo di controllo d'errore ibrido dove la ridondanza è tenuta al minimo e ARQ viene usato per pacchetti persi o errati, impossibili da ricostruire con FEC [14].

### 2.3.1 Selective Repeat

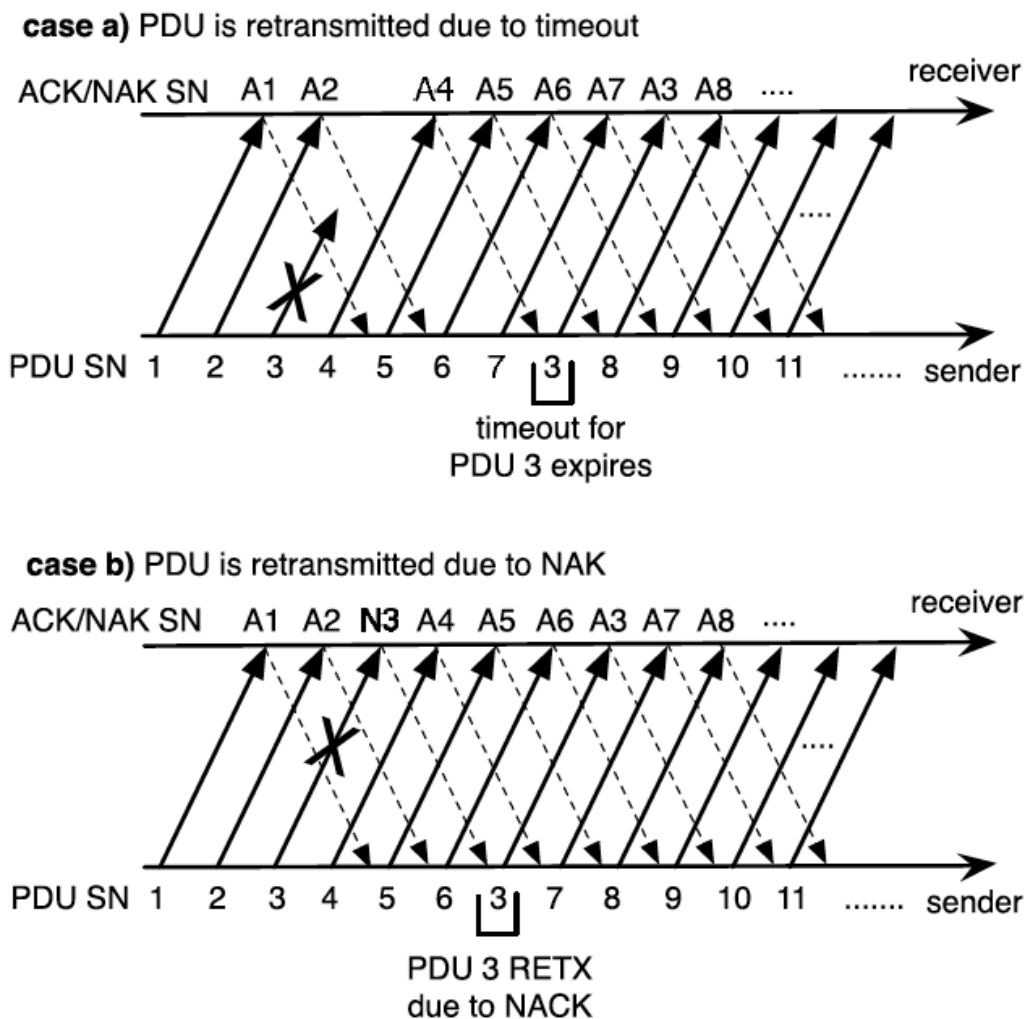
Il Selective Repeat (SR-ARQ) è il più avanzato protocollo ARQ. Più PDU vengono mandati senza aspettare il rispettivo ACK e questo incrementa l'efficienza della trasmissione.

Il funzionamento è molto semplice, attraverso un buffer di memoria, il ricevitore è in grado di memorizzare i pacchetti ricevuti. Se un pacchetto non arriva a destinazione, il mittente lo re-invia, con una ritrasmissione (RETX), lasciando al ricevitore il compito di riordinare il tutto prendendo pacchetti anche dal buffer. Si ottiene così una sequenza ordinata anche se i pacchetti sono stati ricevuti in disordine. In questo modo viene ottimizzato al massimo l'uso del canale, specialmente perché non sono presenti ritrasmissioni di PDU già correttamente ricevuti. L'unico costo aggiuntivo del protocollo è la presenza di un buffer al ricevitore.

La Fig. 2.8 mostra due esempi di trasmissione SR-ARQ . Nel primo caso il ricevitore risponde solamente con ACK dei pacchetti ricevuti. Mentre nel secondo caso il ricevitore risponde sia usando ACK che NAK [8, 27].

### 2.3.2 Correzione d'errore per formato MPEG

I diversi tassi di compressione con cui vengono codificati i differenti frame nello standard MPEG portano ad avere pacchetti più importanti di altri. Se nella comunicazione viene perso un pacchetto contenente informazione per formare un frame di tipo P o B il ricevitore non può decodificare quel frame e quindi, la sequenza di immagini scatta saltando quel frame mancante. Peggiora sarebbe la qualità del video se ad essere persa fosse l'informazione



**Fig. 2.8:** Esempio di ritrasmissioni SR-ARQ con  $N = 5$  [8].

che compone un frame di tipo I poiché risulterebbe impossibile codificare al ricevitore tutti i successivi frame (nel caso  $N = 12$  i frame non codificabili sarebbero 11).

La perdita di un pacchetto ha un effetto diverso sul sistema a seconda del tipo di frame che il pacchetto andava a formare.

Date queste considerazioni l'obiettivo della tesi è di ottenere buoni risultati nella correzione d'errore implementando un protocollo con ritrasmissioni solamente dei pacchetti I.

Utilizzando le proprietà dei layer MPEG è possibile costruire una variante di



SR-ARQ che migliora la qualità del video.

Per effettuare il miglioramento, il protocollo Quality Selective Repeat (QSR-ARQ) suddivide i pacchetti in due classi:

- Classe 1: i pacchetti vengono mandati con un numero massimo di ritrasmissioni per garantire il ritardo limite. Appartengono alla prima classe i pacchetti che compongono frame di tipi I importanti per la decodifica dei frame successivi di tipo P e B.
- Classe 2: i pacchetti vengono mandati una sola volta e nel caso di errore o di mancata consegna il ricevitore non ha ulteriori possibilità di ricevere il pacchetto. Appartengono a questa classe i pacchetti componenti frame P e B meno importanti dei frame I, se persi il decodificatore procede ugualmente con la decodifica mostrando un errore nel video.

Con questa suddivisione il protocollo si comporta in modo diverso a seconda del PDU che deve trasmettere dando maggior margine di ritardo per i pacchetti importanti e minore se non nullo per quelli meno importanti [27].

In questo modello consideriamo i frame P uguali a quelli di tipo B, entrambi appartenenti alla classe 2.

Il protocollo pensato in questa tesi dovrebbe regolare il numero  $n$  di ritrasmissioni solamente per i pacchetti appartenenti alla classe uno. Si potrebbe usare la teoria dei giochi per modellare la scelta del numero  $n$ .

## 2.4 Related Work

Numerosi documenti trattanti ARQ, mettono a confronto le prestazioni di diversi tipi di protocolli nella trasmissione video [19], analizzando il caso in cui la comunicazione avvenga in network wireless [12, 14] oppure di servizi video-on-demand (VoD) [21]. I risultati mostrano migliori prestazioni di trasmissioni, *throughput* più elevati nel caso si usi un ARQ ibrido.

Un altro documento tratta il controllo dell'errore, in un canale wireless, di un SR-ARQ nel caso in cui il flusso di dati non sia costante ed uniforme ma segua un modello Markoviano [17]. I risultati mostrano le migliori prestazioni

in termini di *throughput* nel caso in cui si usi un particolare ARQ ibrido dove i pacchetti I vengono mandati con una ridondanza che incrementa ad ogni ritrasmissione.

Un'altra fonte di ispirazione per la seguente tesi, è un documento che realizza un particolare SR-ARQ di qualità che divide i pacchetti in classi di importanza, ed esegue un determinato numero di ritrasmissioni che dipende dalla classe di appartenenza del PDU [27]. La fondamentale differenza tra questo lavoro ed il documento appena citato è che nel caso del documento le ritrasmissioni non sono fissare e possono essere anche infinite, noi diversamente ci poniamo di determinare il numero  $n$  di ritrasmissioni con un gioco di coordinamento che risolve il conflitto tra qualità e ritardo.

# Capitolo 3

## Teoria dei giochi

### 3.1 Introduzione alla teoria dei giochi

La teoria dei giochi, in inglese Game Theory (GT), è lo studio di problemi decisionali dove sono coinvolte più persone. Essa si occupa di studiare le situazioni in cui diversi giocatori interagiscono perseguendo obiettivi comuni, diversi o conflittuali [3].

Tale teoria si basa sull'assunzione di alcune ipotesi che caratterizzano il modo di agire dei giocatori: razionalità ed intelligenza. Per razionalità s'intende saper ordinare le proprie preferenze su un insieme di risultati in modo da massimizzare il proprio profitto. Con il termine intelligenza viene invece indicato semplicemente la capacità logica di saper riconoscere le azioni necessarie a massimizzare la propria utilità. Considerata l'analisi utilizzata in questa tesi, la conseguenza fondamentale è che un giocatore può assegnare un valore di utilità a ciascun risultato costruendo così una scala che permette di orientare il giocatore sulla strategia che massimizza la propria utilità [24].

### 3.2 La descrizione di un gioco

Gli elementi essenziali che individuano un gioco sono i giocatori, le strategie e i guadagni [24].

- I **giocatori** sono individui che assumono decisioni. L'obiettivo di ogni giocatore è quello di massimizzare i propri ricavi, funzione *payoff*, attraverso la strategia da compiere.
- Le **strategie** vengono scelte da tutti i giocatori. Ogni giocatore  $i$  sceglie simultaneamente la strategia  $s_i$  tra l'insieme delle possibili strategie  $S_i$ .
- I **guadagni** vengono determinati per ogni giocatore in base alla combinazione di strategie.

Dato che ogni giocatore  $i$  gioca la strategia  $s_i \in S_i$  possiamo indicare la combinazione di mosse come:  $(s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_n)$  e indicheremo poi con  $u_i(s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_n) \in \mathbb{R}$  il ricavo del giocatore  $i$ . Fornite queste definizioni un normale gioco viene indicato da:

$$G = \{S_1, \dots, S_n; u_1, \dots, u_n\} \quad (3.1)$$

e tutte le possibili giocate possono essere rappresentate da una funzione nello spazio  $S_1 \times S_2 \times \dots \times S_n$ .

Nel caso in cui l'insieme di tutte le possibili strategie  $S_i$  sia discreto, possiamo rappresentare i ricavi ottenuti in base alle scelte dei giocatori attraverso una matrice di dimensione  $n$  dove ogni cella contiene un vettore di  $\mathbb{R}^n$ . Nel caso in cui i giocatori siano solo due, si utilizza una bi-matrice (Tabella 3.1) dove i termini  $u_1(s_1^{(i)}, s_2^{(j)})$  e  $u_2(s_1^{(i)}, s_2^{(j)})$  rappresentano rispettivamente i guadagni del giocatore uno e quelli del giocatore due.

Una strategia  $s^*$  è una strategia dominante se per l' $i$ -esimo giocatore è la risposta ottimale indipendentemente dalla strategia adottata dagli altri giocatori. Formalmente:

$$u_i(s_i^*, s_{-i}) > u_i(s_i', s_{-i}) \quad \forall s_{-i}, \forall s_i' \neq s_i^* \quad (3.2)$$

Lo studio del gioco consiste nel determinare un equilibrio. In GT l'equilibrio viene definito come una circostanza in cui i giocatori, una volta terminato il gioco, sono soddisfatti della strategia scelta [3].

		Strategie del giocatore 2		
		$S_2^{(1)}$	$S_2^{(2)}$	$S_2^{(j)}$
Strategie del giocatore 1	$S_1^{(1)}$	$u_1(S_1^{(1)}, S_2^{(1)}),$ $u_2(S_1^{(1)}, S_2^{(1)})$	$u_1(S_1^{(1)}, S_2^{(2)}),$ $u_2(S_1^{(1)}, S_2^{(2)})$	.....
	$S_1^{(2)}$	$u_1(S_1^{(2)}, S_2^{(1)}),$ $u_2(S_1^{(2)}, S_2^{(1)})$	.....	.....
	$S_1^{(i)}$	.....	.....	$u_1(S_1^{(i)}, S_2^{(j)}),$ $u_2(S_1^{(i)}, S_2^{(j)})$

**Tabella 3.1:** Esempio bi-matrice.

### 3.2.1 Diversi tipi di equilibri

Esistono molti tipi di equilibri in GT ma in questa tesi ci limitiamo allo studio dell'equilibrio di Nash e all'ottimo paretiano.

#### Equilibrio di Nash

Il concetto di soluzione forse più significativo e importante nella teoria dei giochi non cooperativi è quello di equilibrio di Nash. Questo concetto modella, in sostanza, una sorta di stato stazionario, rispetto al quale nessun giocatore ha interesse a deviare unilateralmente. La combinazione di strategie  $s^*$  è un equilibrio di Nash se nessun giocatore è incentivato a modificare la sua strategia qualora gli altri giocatori non cambino la propria. Formalmente:

$$u_i(s_1^*, s_2^*, \dots, s_i^*, \dots, s_N^*) \geq u_i(s_1^*, s_2^*, \dots, s_i', \dots, s_N^*) \quad \forall s_i' \quad (3.3)$$

In altre parole, ogni insieme rappresenta una situazione nella quale nessun giocatore trova vantaggi nel cambiare strategia, posto che tutti gli altri giocatori giocano la stessa strategia [22, 24].

L'uso delle strategie dominanti è un possibile metodo per determinare un equilibrio di Nash.

### Ottimo paretiano

A differenza dell'equilibrio di Nash l'ottimo paretiano è uno stato di equilibrio in cui ogni individuo non può, cambiando strategia, migliorare il proprio utile senza peggiorare quello di un altro individuo [11].

Formalmente  $\exists$  almeno un  $k$  tale che se il giocatore  $i$  cambia strategia, da  $s_i \Rightarrow s'_i$ , per migliorare il suo utile allora:

$$u_k(s_1, s_2, \dots, s'_i, \dots, s_N) < u_k(s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_N) \quad (3.4)$$

ed il punto di partenza  $(s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_N)$  è un ottimo paretiano.

Un'insieme delle soluzioni ottime individua un fronte di Pareto, ovvero una curva formata da punti non dominati per i quali non esiste nessun punto che sia migliore contemporaneamente per tutti gli obiettivi considerati nella funzione di ottimizzazione.

In questo elaborato potrebbe essere utile disegnare la curve in modo da valutare tra le possibili soluzioni ottime [26].

### 3.2.2 Il Dilemma del prigioniero

Il Dilemma del prigioniero è un esempio di gioco ad informazione completa, proposto negli anni cinquanta da Merrill Flood e Melvin Dresher.

Tale gioco si basa su due soli giocatori, ognuno dei quali gioca in modo indipendente dall'altro potendo scegliere tra solo due strategie: *confessare* o *non confessare*. Il gioco può essere descritto come segue.

Due persone, sospettate di aver commesso un reato, sono detenute in celle separate. I due sono colpevoli ma la polizia non essendo in possesso di prove può condannarli solamente se confessano. Ognuno dei due può scegliere di confessare oppure di non confessare. La scelta di ciascuno dei due influenza anche il destino dell'altro. Infatti, se entrambi confessano, saranno condannati a 10 anni di prigione. Se solo uno dei due confessa, accusando dunque l'altro, potrà beneficiare di uno sconto di pena, e avrà quindi solo 1 anno di carcere, mentre l'altro sarà condannato a 25 anni (per

l'aggravante di non aver voluto collaborare). Se nessuno dei due confessa, in mancanza di prove testimoniali, ambedue le persone saranno accusate soltanto di danni al patrimonio e condannate a 3 anni di prigione [3].

Come già detto nell'esempio, la scelta di un detenuto influenza il destino dell'altro ma dato che tra i due non vi può essere dialogo, le due scelte saranno indipendenti. Descrivendo il gioco con una bi-matrice (Tabella 3.2) la comprensione risulta più semplice.

	confessa	non confessa
confessa	(10, 10)	(1, 25)
non confessa	(25, 1)	(3, 3)

**Tabella 3.2:** Bi-matrice dell'esempio studiato.

La strategia *non confessa* è strettamente dominata dalla strategia *confessa*.

Nell'esempio in questione il dilemma sorge poiché si individuano due diversi tipi di equilibri. Da una parte con l'eliminazione iterata di tutte le strategie dominanti ottengo l'equilibrio se entrambi i giocatori confessano. Diversamente si individua un ottimo paretiano nel caso in cui entrambi i giocatori non confessino, cambiando strategia non è possibile trovare una combinazione che permette di migliorare un guadagno senza far peggiorare quello di un altro giocatore.

Trattandosi di due equilibri diversi si può arrivare in una situazione di contraddizione [11, 23].

Giocando in modo razionale i giocatori sono portati entrambi a confessare ma questo non è il miglior risultato ottenibile che coincide con l'ottimo paretiano; per questo motivo il dilemma prende anche il nome di paradosso del prigioniero.

### 3.3 Coordination game

Nella teoria dei giochi i *coordination game* sono una classe di giochi con più equilibri di Nash dove i giocatori vorrebbero scegliere la stessa strategia.

Alcune strategie portano ad alti guadagni nella situazione in cui i giocatori scelgono la stessa scelta. Altrimenti se i giocatori adottano strategie diverse tra loro, i *payoff* che otterranno saranno nulli, in questo modo nessuno ha guadagno nel scegliere una strategia diversa da quella degli altri.

Data la presenza di più equilibri di Nash sorgono problemi di conflitti di interesse, ad esempio quando ogni giocatore preferisce un diverso punto di equilibrio. Un classico esempio è il gioco della Battaglia dei sessi [10].

### 3.3.1 La battaglia dei sessi

Nella battaglia dei sessi sorge un conflitto di interessi tra una coppia di marito e moglie. Analizziamo in dettaglio il problema.

Due persone, marito e moglie, decidono di incontrarsi per uscire, ma non si ricordano dove dovevano andare: se all'opera o alla partita di calcio (si tenga presente che il fatto di non ricordarsi è comune ad entrambi). Il marito tra i due posti preferirebbe andare alla partita di calcio. La moglie invece vorrebbe andare all'opera. Inoltre entrambi preferirebbero andare nello stesso luogo piuttosto che in posti diversi. Dato che non possono comunicare, dove andranno?

		moglie	
		partita	opera
marito	partita	(3, 2)	(0, 0)
	opera	(0, 0)	(2, 3)

**Tabella 3.3:** Bi-matrice dell'esempio studiato.

Come si può notare dalla bi-matrice sono presenti due equilibri di Nash ottenibili quando i due giocatori scelgono la stessa strategia, ovvero lo stesso luogo dove andare. Se le strategie possibili fossero più di due troveremmo sempre equilibri di Nash sulla diagonale e tutti ricavi di valore nullo per tutti gli altri punti dove i giocatori scelgono strategie diverse.



In questo esempio è presente anche un equilibrio di Nash in strategie miste, dove i giocatori scelgono con probabilità maggiore l'evento preferito rispetto all'altro. Con i ricavi presenti nell'esempio sopra, ogni giocatore sceglie la riga o colonna preferita con probabilità 3/5 [11, 25].

### 3.3.2 Gioco di coordinamento per il controllo d'errore

Dopo aver suddiviso in classi i PDU che formano frame video, possiamo modellare la qualità e il ritardo come un gioco di coordinamento dove, a seconda delle esigenze dell'utente, siamo in grado di determinare il numero  $n$  di ritrasmissioni che il protocollo di trasmissione SR-ARQ può effettuare per i pacchetti appartenenti alla classe uno.

Modellando il gioco di coordinamento con due giocatori: qualità e ritardo; la variabile del numero di ritrasmissioni  $n$  corrisponde alle possibili strategie giocate dai giocatori. Per determinare tutti i ricavi dei giocatori in funzione della strategia giocata, è necessario scegliere due funzioni che rappresentano qualità e ritardo in funzione di  $n$ .

Una possibile funzione ritardo potrebbe essere data dal tempo medio di invio pacchetto dato che possono avvenire  $n$  ritrasmissioni.

Dato  $t_p$  il tempo di trasmissione di un pacchetto, il tempo totale impiegato per la ritrasmissione di un pacchetto  $i$  volte risulta:

$$t_T = t_p + t_i = t_p(1 + i), \quad i \geq 0 \quad (3.5)$$

e il tempo medio in funzioni del numero  $n$  di ritrasmissioni è:

$$m_{t_T} = t_p + \sum_{i=0}^n t_i p^i (1-p) = t_p + t_p(1-p) \sum_{i=0}^n i p^i$$

$$m_{t_T} = t_p + \frac{t_p(1-p)p(np^{n+1} - (n+1)p^n + 1)}{(p-1)^2} \quad (3.6)$$

dove  $p$  è la probabilità d'errore del pacchetto.

Si consideri quindi  $m_{t_T}$  come la funzione ritardo per il modello in questa tesi [8]. Nel caso in cui il *round-trip time* (RTT) sia piccolo non è presente

una perdita di tempo per il riordino dei frame nel buffer di decodifica si parla quindi di *ideal* SR-ARQ [16]. Diversamente se il RTT non è piccolo lo studio del sistema diventa più complesso e la trattazione di questo caso è analizzabile in un eventuale lavoro successivo.

La seconda funzione impiegata nel modello è la funzione qualità, che deve tener traccia dei pacchetti I che possono essere trasmessi con successo sulla rete. Nel caso in cui la tx di un pacchetto non vada a buon fine, tutti i rimanenti pacchetti non possono essere codificati e quindi la loro trasmissione non porta alcuna informazione.

Data  $P_{bit}$  la probabilità d'errore sul singolo bit allora la probabilità di ricevere interamente un pacchetto di dimensioni  $L$  è:  $P_I = (1 - P_{bit})^L$ .

Per i pacchetti della prima classe dove sono possibili più ritrasmissioni la probabilità di ricevere il pacchetto di tipo I diventa:

$$\begin{aligned} P_{rI} &= (1 - P_{errI}) + (1 - P_{errI})P_{errI} + \dots + (1 - P_{errI})P_{errI}^n = \\ &= (1 - P_{errI}) \sum_{i=0}^n P_{errI}^i = (1 - P_{errI}) \frac{(1 - P_{errI}^{n+1})}{(1 - P_{errI})} = 1 - P_{errI}^{n+1} \end{aligned} \quad (3.7)$$

dove  $P_{errI} = 1 - P_I$ . Dato che un frame è composto da più pacchetti se definiamo la dimensione  $W$  come in numero di pacchetti per formare un frame allora la probabilità di ricevere correttamente un frame é:  $(1 - P_{errI}^{n+1})^W$ .

Di conseguenza la probabilità di non ricevere il frame I risulta:

$$P_{errI} = 1 - (1 - P_{errI}^{n+1})^W \quad (3.8)$$

Definendo  $P_{pI}$  la probabilità che il pacchetto sia di tipo I e  $P_{pP}$  la probabilità che il pacchetto sia di tipo P (quindi  $P_{pI} + P_{pP} = 1$ ); una possibile funzione qualità è la seguente:

$$Q = P_{pI} \cdot (1 - P_{errI}^{n+1}) + P_{pP} \cdot (1 - P_{errI}^{n+1}) \cdot (1 - P_{errP}) \quad (3.9)$$

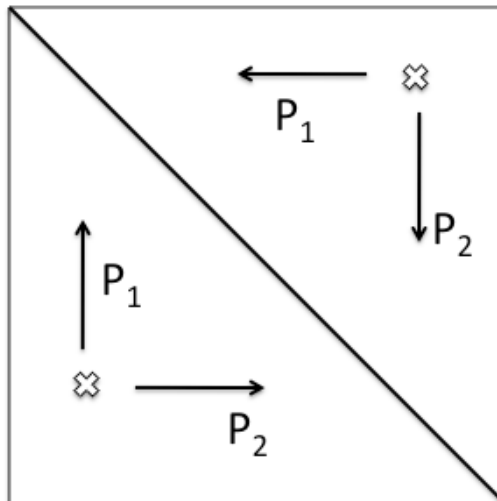
La prima parte dell'equazione 3.9 tiene conto della possibilità di ricevere il pacchetti I quando sto cercando di trasmetterlo mentre la seconda parte prende in esame la trasmissione di un pacchetto P. Dato che per poter ricevere

il pacchetto P devo aver ricevuto l'associato pacchetto I la funzione qualità  $Q$  ne tiene conto moltiplicando la probabilità di ricevere P dato che ho ricevuto I.

Modellando il gioco di coordinamento si ottiene la bi-matrice caratteristica che ha come guadagni i valori della funzioni qualità e ritardo.

Applicando un semplice algoritmo al gioco di coordinamento possiamo individuare il numero  $n$  di ritrasmissioni. Partendo da un generico punto sulla bi-matrice, in base alle esigenze dell'utente attribuiamo dei valori probabilistici a  $P_1$  e  $P_2$  in modo da raggiungere il valore  $n$  desiderato (con  $P_1 + P_2 = 1$ ).

Come si può vedere nella Fig. 3.1 l'algoritmo si muove verso la diagonale,



**Fig. 3.1:** Esempio di probabilità  $P_1$  e  $P_2$  su generica bi-matrice.

spostandosi con probabilità diversa a seconda delle esigenze dell'utente. Nel caso in cui  $P_1 > P_2$  il numero  $n$  tende ad essere minimo viceversa se  $P_1 < P_2$  allora  $n$  tende al valore massimo di  $n$  ovvero 5.

### 3.4 Related Work

Alcuni documenti studiati utilizzano la teoria dei giochi per modellare problemi di coordinamento o analizzare network wireless [4, 18, 29, 31].

Un modello di GT viene usato anche nel seguente documento per ottimizzare la gestione dello spazio allocato nel *downlink* di un sistema Long Term Evolution (LTE) [15], sia nel documento che nella tesi si tratta di modellare una situazione di conflitto per ottenere un risultato ottimo ma nel caso dell'elaborato in questione il compromesso si trova tra qualità e ritardo.

# Capitolo 4

## Risultati

### 4.1 Scenario completo

Considerando un video PAL in formato MPEG con risoluzione:  $(720 \times 576)$  a 25 Hz e 24 bpp (bit per pixel) ottengo un bit-rate non compresso di 248 Mbits/s.

Una volta compresso, con le varie tecniche di compressione precedentemente elencate, il bit-rate diventa: da 4 a 9 Mbits/s [6]. Una parte del bit-rate compresso è destinato alla codifica audio.

Per semplicità di simulazione consideriamo i frame P uguali ai B, ogni GoP è composto da 12 frame (uno soltanto di tipi I e undici di tipo P) e data la frequenza di 25 Hz, per ogni GoP i frame di tipo I sono l'8.33% mentre quelli di tipo P il restante 91.66% [7].

Con questa configurazione (trascurando la parte di bit-rate dedicata alla codifica audio), il bit-rate per GoP è  $5000 \times \frac{12}{25} = 2400$  kbit/GoP ed assumendo un rate di codifica di 4:2:0 rispettivamente per frame I,P,B si ottengono i seguenti formati:

- frame I  $\frac{4}{4+2 \times 11} \times 2400 = 369.23$  kbits;
- frame P  $\frac{2}{4+2 \times 11} \times 2400 = 184.62$  kbits.

Abbiamo così le dimensioni dei differenti tipi di frame che compongono il video MPEG in base al rate di codifica usato [13].

I pacchetti del formato MPEG hanno tutti dimensione di 188 bytes ovvero 1504 bit e sono formati da 4 bytes di header e 184 di payload. Con queste dimensioni per trasmettere un frame I sono necessari circa  $\frac{369.23 \cdot 10^3}{8 \cdot 184} = 250$  pacchetti e per trasmettere un frame P servono circa  $\frac{184.62 \cdot 10^3}{8 \cdot 184} = 125$  pacchetti [30].

Considerando una  $P_{bit} = 6 \cdot 10^{-8}$ , date le misure dei frame in pacchetti, ottengo che la  $P_{errI} = 0.0178$  e che la  $P_{errP} = 0.0089$  e applicando un coordination game con le funzioni definite nel capitolo due ottengo la seguente bi-matrice (Tabella 4.1).

		qualità					
		1	2	3	4	...	8
ritardo	1	$(0.99985; 0.943)$	(0;0)	(0;0)	(0;0)	(0;0)	(0;0)
	2	(0;0)	$(0.99983; 0.961)$	(0;0)	(0;0)	(0;0)	(0;0)
	3	(0;0)	(0;0)	$(0.9998276; 0.978)$	(0;0)	(0;0)	(0;0)
	4	(0;0)	(0;0)	(0;0)	$(0.9998271; 0.983)$	(0;0)	(0;0)
	...	(0;0)	(0;0)	(0;0)	(0;0)	...	(0;0)
	8	(0;0)	(0;0)	(0;0)	(0;0)	(0;0)	$(0.999827; 0.984)$

**Tabella 4.1:** Bi-matrice dell'esempio studiato.

Come si può vedere dalla bi-matrice del coordination game tutti gli elementi non appartenenti alla diagonale sono nulli, di fatto non è possibile fare contemporaneamente 1 e 5 ritrasmissioni.

Data la probabilità di errore non tanto elevata, risulta trascurabile la probabilità che il pacchetto non sia stato trasmesso con successo dopo più di quattro re-invi. Di conseguenza sopra le quattro ritrasmissioni le funzioni qualità e ritardo rimangono costanti.

Un'ulteriore considerazione riguarda il valore della funzione qualità per un elevato valore di  $n$ ; tale valore non raggiunge mai 1 poiché alcuni pacchetti

P, dato che vengono trasmessi una volta soltanto, possono anche essere persi compromettendo una piccola parte della qualità.

Tutti i punti sulla diagonale sono equilibri di Nash, infatti per ogni punto, a qualsiasi giocatore non conviene cambiare strategia altrimenti il guadagno ovvero il valore della funzione qualità o ritardo, che sia, risulterebbe nulla.

Sono stati simulati tre possibili casi dell'algoritmo e messe a confronto le prestazioni:

1. si determina il valore di  $n$  attraverso il gioco e lo si tiene fisso per l'invio dei pacchetti successivi;
2. ad ogni pacchetto da trasmettere si determina con il gioco di coordinamento il valore di  $n$ ;
3. ad ogni pacchetto da trasmettere si determina il valore di  $n$  ma tenendo in considerazione le performance dell'invio precedente dato il precedente valore di  $n$ ; in questo modo il sistema è retroazionato e diventa più stabile.

In seguito vengono riportate le curve della qualità e del ritardo in funzione della probabilità nelle tre varianti.

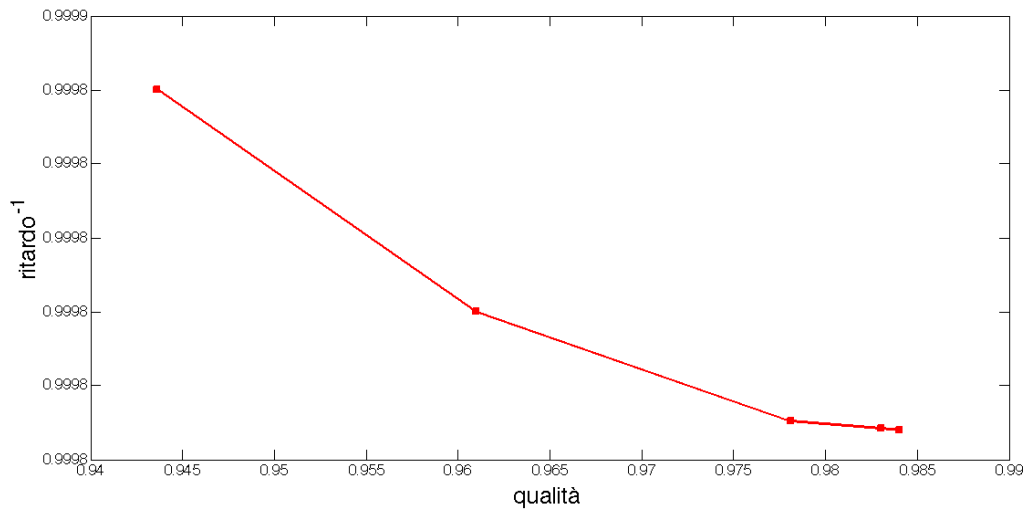
## 4.2 Figure

Il primo grafico (Fig. 4.1) mostra la curva di Pareto del gioco di coordinamento in funzione della qualità e dell'inverso del ritardo.

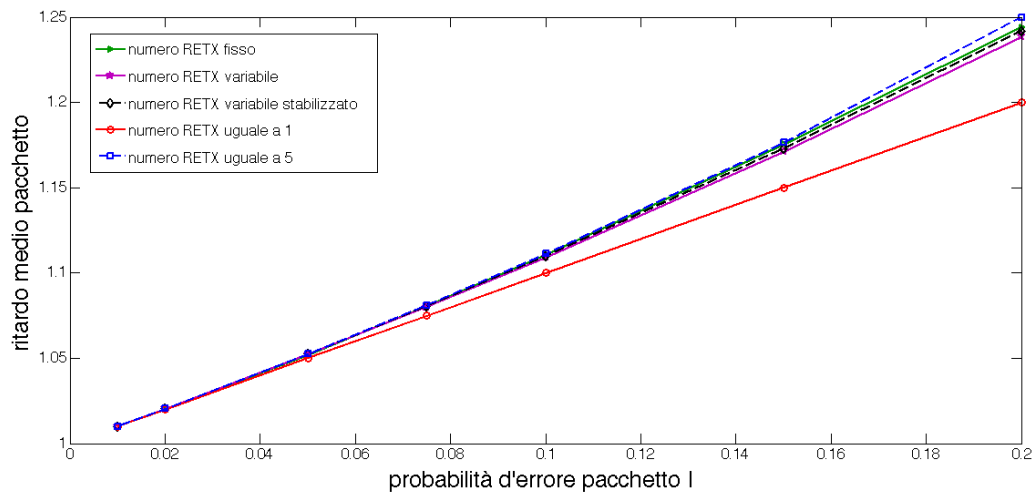
Partendo da sinistra verso destra ogni punto rappresenta un determinato valore di  $n$  che parte da 1 e cresce; tutti i punti superiori al valore  $n = 4$  sono fissi nel punto di coordinata: (0.999827, 0.984).

Scegliendo un qualsiasi punto sulla curva si determina il valore di ritrasmissioni da compiere e si trova un compromesso tra qualità e ritardo. Tale scelta fornisce un range di possibili valori di qualità, che variano da 0.94 a 0.98.

La coppia di curve (Fig. 4.2 e Fig. 4.3) che segue rappresenta l'andamento del ritardo e della qualità per i diversi algoritmi, precedentemente descritti.



**Fig. 4.1:** Curva di Pareto.

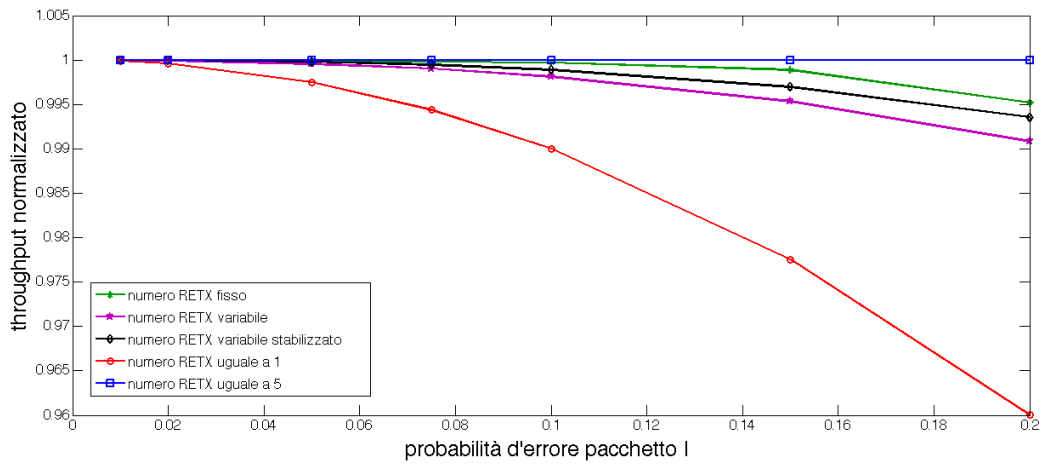


**Fig. 4.2:** Ritardo medio al variare della probabilità d'errore.

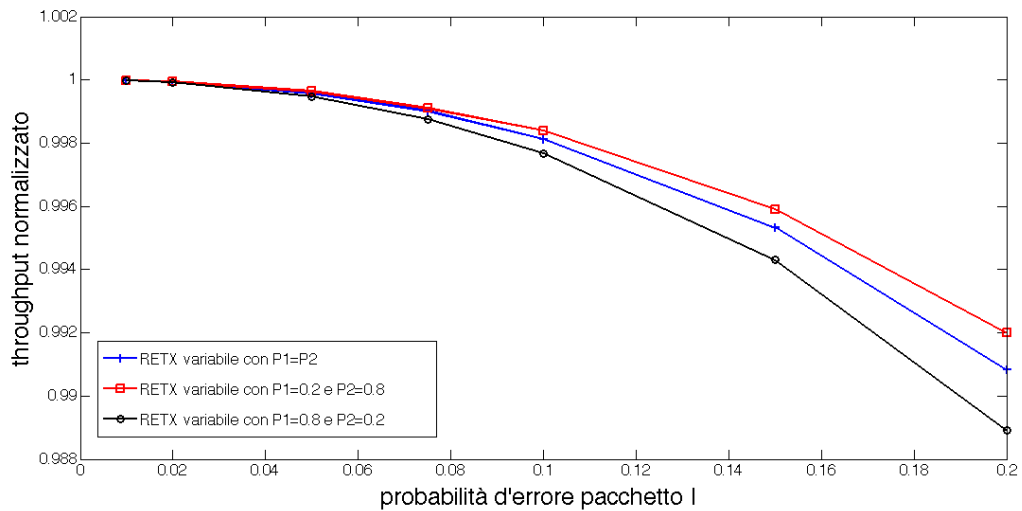
Vengono fatte più simulazioni d'invio di 10000 pacchetti, al variare della probabilità d'errore dei pacchetti di tipo I, e per ogni valore di probabilità viene rappresentata la media delle simulazioni.

Le curve rosse e blu su entrambi i grafici rappresentano i casi estremi del *trade-off*; in particolare la curva rossa è il caso in cui avvenga una sola ritrasmissione. In questo caso il ritardo è minimo ma se la probabilità d'errore





**Fig. 4.3:** Qualità al variare della probabilità d'errore.



**Fig. 4.4:** Qualità del caso 2 al variare delle probabilità P1 e P2.

è molto elevata la qualità ovvero il *throughput* normalizzato è molto basso.

In modo opposto la curva blu rappresenta il caso in cui il numero di ritrasmissioni è elevato e quindi la qualità è massima anche con un'elevata probabilità d'errore e il ritardo è ugualmente massimo poiché se un pacchetto non arriva posso necessitare di un'ulteriore ritrasmissione impiegando del tempo per effettuarla.

I rimanenti tre casi sono le varianti di gioco descritte precedentemente. Rappresentano scenari di *trade off* tra qualità e ritardo, con prestazioni comprese tra i casi limiti.

L'aspetto vantaggioso di questo modello di coordinamento è che non viene fissato un numero  $n$  di RETX a priori ma diversamente è un approccio adattativo che viene regolato con delle tecniche più vicine alla percezione dell'utente e questo vantaggio deriva dalla GT.

La Fig. 4.4 mostra la variazione di *throughput* normalizzato per diversi valori di  $P_1$  e  $P_2$  (definiti e mostrati in Fig. 3.1). È stato simulato il caso 2, ovvero il gioco in cui per ogni pacchetto da trasmettere si determina un diverso valore di  $n$ . Come avevamo ipotizzato la figura mostra che nel caso in cui  $P_1 < P_2$  (curva rossa), la qualità è migliore e l'algoritmo tende a convergere all'angolo in basso a destra della bi-matrice ovvero ad un elevato valore di  $n$ . Viceversa la qualità è minore nel caso in cui  $P_1 > P_2$  (curva nera) dove l'algoritmo tende a convergere all'angolo in alto a sinistra della bi-matrice.

# Capitolo 5

## Conclusioni e future implementazioni

In questo elaborato sono stati presentati alcuni concetti di codifica video e, con particolare riferimento allo standard MPEG, è stata evidenziata la struttura dei frame e le loro proprietà.

È stato descritto un protocollo di correzione d'errore che migliora la qualità del servizio sfruttando i diversi pacchetti nel formato video.

Attraverso un modello di gioco di coordinamento sono stati simulati tre diversi algoritmi che forniscono il numero di ritrasmissioni da effettuare per i pacchetti che compongono frame I.

I risultati delle simulazioni, come avevamo ipotizzato, mostrano il compromesso ottenuto tra qualità e ritardo in base alle esigenze dell'utente. Questo compromesso è maggiormente visibile nel caso in cui siano modificate le probabilità  $P_1$  e  $P_2$  che caratterizzano la direzione verso la diagonale nell'algoritmo (Fig. 4.4).

### 5.1 Sviluppi futuri

Molti sono gli sviluppi che si possono raggiungere partendo da questo modello di base.

Il sistema può essere reso più complesso nel caso venga analizzato un modello multiutente con probabilità d'errore Markov correlata; dove la probabilità di perdere un pacchetto dipende dal numero di utenti presenti nel sistema e da quello che stanno facendo. Ma anche in questo grazie all'adattamento che il gioco di coordinamento fornisce è possibile risolvere il compromesso con un valore di ritrasmissioni  $n$ .

Un'ulteriore implementazione potrebbe essere l'analisi dettagliata del ritardo prodotto dal buffer, sommato a quello delle ritrasmissioni, nel caso in cui il RTT non sia piccolo.

# Bibliografia

- [1] ISO/IEC 11172. Information technology. coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1.5 mbit/s. Nov 1993.
- [2] ISO/IEC 13818. Information technology. generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems. Nov 1994.
- [3] A. Agnetis. Introduzione alla teoria dei giochi. [www.dii.unisi.it/%7Eagnetis/introgiochi.pdf](http://www.dii.unisi.it/%7Eagnetis/introgiochi.pdf).
- [4] S.B. Wicker A.B. MacKenzie. Game theory and the design of self-configuring, adaptive wireless networks. *Communications Magazine, IEEE, vol 39, no. 11*, pages 126–131, Nov 2001.
- [5] Nasir Ahmed, Neeraj Magotra, Giridhar Mandyam, and Giridhar Mandyam. Lossless image compression using the discrete cosine transform, 1997.
- [6] Arun N. Netravali Barry G. Haskell, Atul Puri. *Digital video: an introduction to MPEG-2*. Chapman e hall, 1997.
- [7] H. Benoit. *Digital television MPEG-1, MPEG-2 and principles of the DVB system*. Arnold, 1997.
- [8] Nevio Benvenuto and Michele Zorzi. *Principles of Communications Networks and Systems*. John Wiley and Sons Ltd., 2011.
- [9] Cisco. Cisco visual networking index: Forecast and methodology, 2011-2016, 2012.

- [10] Russell W. Cooper. *Coordination Games*. Cambridge University Press, 1999.
- [11] Fudenberg D. and Tirole J. *Game Theory; 1.2.4 Multiple Nash Equilibria, Focal Points and Pareto Optimality*. MIT Press, 1983.
- [12] M. Yeung D.G. Sachs, I. Kozintsev and D.L. Jones. Hybrid arq for robust video streaming over wireless lans. *Information Technology: Coding and Computing, 2001*, pages 317–321, Apr 2001.
- [13] Mohammed Ghanbari. *Standard Codecs: Image Compression to Advanced Video Coding*. The Istitution of Electrical Engineers, London, 2003.
- [14] Felix Hartanto and Harsha R. Sirisena. Hybrid error control mechanism for video transmission in the wireless ip networks. *Local and Metropolitan Area Networks. 10th IEEE Workshop on, vol. 1*, pages 126–132, Nov 1999.
- [15] L. Anchora M. Zorzi L. Badia, L. Canzian. A characterization of resource allocation in lte systems aimed at game theoretical approaches. *Computer Aided Modeling, Analysis and Design of Communication Links and Networks (CAMAD), 2010 15th IEEE International Workshop on*, pages 47–51, Dec 2010.
- [16] L. Anchora M. Zorzi L. Badia, M. Rossi. Sr arq packet delay statistics on markov channels in the presence of variable arrival rate. *IEEE Transactions on wireless communications, vol. 5, no. 7*, pages 1639–1644, July 2006.
- [17] M. Levorato M. Zorzi L. Badia, N. Baldo. A markov framework for error control techniques based on selective retransmission in video transmission over wireless channels. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 28, no. 3*, pages 488–500, Apr 2010.

- [18] M. Zorzi L. Badia, L. Anchora. Joint scheduling and resource allocation for lte downlink using nash bargaining theory. *Proceedings IEEE CAMAD, Kyoto, Japan*, June 2011.
- [19] M. Zorzi L. Badia, M. Levorato. Analysis of selective retransmission techniques for differentially encoded data. *Proceedings IEEE ICC*, pages 1–6, June 2009.
- [20] S. Lin and D.J. Costello. *Error Control Coding: Fundamentals and Application*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1983.
- [21] Hairuo Ma and Magda El Zarki. Transmission of mpeg-2 encoded vod services over wireless access networks using type-ii hybrid arq schemes with rpsc codes. *System Sciences, 2000. Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on*, pages 1–10, Jan 2000.
- [22] John F. Nash. Equilibrium points in a n-person games. In *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol.36, No. 1, pages 48–49, 15 Jan 1950.
- [23] William Poundstone. *Prisoner's Dilemma*. Anchor Books, 1992.
- [24] Eric Rasmusen. *Teoria dei giochi e informazione*. Hoepli, 1993.
- [25] Luce R.D. and Raiffa H. *Games and Decisions: An Introduction and Critical Survey*. Wiley and Sons, 1957.
- [26] A.K. Sen. The impossibility of a paretian liberal. *Journal of Political Economy*, vol. 78, pages 152–157, 1970.
- [27] Harold Zheng Sherry Wang and John A. Copeland. An error control design for multimedia wireless networks. *Vehicular Technology Conference Proceedings. VTC 2000-Spring Tokyo. 2000 IEEE 51st*, vol. 2, pages 795–799, May 2000.
- [28] P.N. Tudor. Tutorial, mpeg-2 video compression. *Electronics and Communication Engineering Journal*, vol. 7, no. 6, pages 257–264, Dec 1995.

- [29] A.B. MacKenzie R. MEnon V. Srivastava, J. Neel. Using game theory to analyze wireless ad hoc networks. *Communications Surveys and Tutorials, IEEE, vol. 7, no. 4*, pages 46–56, Nov 2005.
- [30] John Watkinson. *The MPEG Handbook*. Focal Press, 2001.
- [31] Yong Ren Yongkang Xiao, Xiuming Shan. Game theory models for ieee 802.11 dcf in wireless ad hoc networks. *Communications Magazine, IEEE, vol. 43, no. 3*, pages 46–56, March 2005.