

Realizzazione di un commutatore ultraveloce
di flussi dati ottici basato su effetti non lineari
in fibra

Claudia Cantini

20 Luglio 2004

Ai miei genitori

Prefazione

La nostra vita di ogni giorno é sempre più dipendente dalle reti di comunicazione che ci permettono di scambiare informazioni, di commerciare e di accedere a migliaia di servizi in tempo reale. Il crescente traffico Internet richiede connessioni sempre più veloci. In questo scenario, le reti ottiche si presentano come la più promettente prospettiva per l'evoluzione delle reti Internet.

Oggi le reti a lunga distanza sono per lo più basate su sistemi WDM, a moltiplicazione di lunghezza d'onda. La capacità di questi sistemi, però, non è ancora sfruttata a pieno. La ricerca si sta muovendo sempre più verso lo spostamento di un numero sempre maggiore di funzionalità di nodo a livello ottico. Quante più funzionalità si riuscirà a trasferire direttamente in ottico, tanto più aumenterà la capacità della rete e migliorerà il suo sfruttamento. Un sistema WDM, di 80 canali a 10 Gb/s, può trasferire dati a velocità aggregata di 0.8 Tb/s. Aumentando la velocità di trasmissione di un singolo canale e il numero di canali sarà possibile arrivare a velocità di oltre 3 Tb/s [7]. Il problema, a questo punto, sarà dato dalla gestione di questo enorme flusso di dati che l'elettronica non potrà più essere in grado di gestire. Al momento attuale si può prevedere che l'elettronica potrà gestire velocità al più fino a 80 Gb/s. Per bande maggiori, l'unica soluzione consiste nell'elaborazione ottica dei segnali riducendo la necessità di conversione ottica-elettronica. La ricerca si sta muovendo in questa direzione. Dapprima con soluzioni ibride come la creazione di percorsi dedicati, *lightpath*, o con l'optical burst switching [13], poi con soluzioni completamente ottiche come

l'Optical Packet Switching, OPS.

L'OPS prevede la costruzione di reti a commutazione di pacchetto direttamente nel dominio ottico. I pacchetti provenienti da reti diverse sono etichettati con una corta etichetta ottica, label, e instradati nella rete OPS. I nodi di questa rete elaborano l'etichetta senza convertire in elettrico il pacchetto, consentendo un notevole incremento della velocità di elaborazione. Per quanto riguarda l'elaborazione della "label", ci sono due tendenze di ricerca, una punta all'elaborazione completamente ottica, l'altra alla conversione ottica-elettrica dell'etichetta e la conseguente elaborazione mediante circuiti elettronici. L'OPS è, tuttavia, ancora ad una fase di pura sperimentazione. Ci sono, principalmente, due aspetti da prendere in considerazione: uno, dal punto di vista tecnologico, riguarda la codifica della label e la conseguente elaborazione, l'altro, dal punto di vista retistico, riguarda la determinazione del protocollo di instradamento da utilizzare in queste reti. La tecnologia ottica non è ancora matura per una complessa elaborazione del pacchetto. Le funzionalità, cui deve soddisfare il nodo ottico, devono essere limitate e fondamentali, ad esempio l'instradamento, la commutazione e la rigenerazione del segnale. Per quanto riguarda il protocollo, questo deve essere interfacciabile con reti diverse, per la creazione dell'etichetta a partire dall'indirizzo, header, del pacchetto, e deve fornire delle tabelle di instradamento a ciascun nodo così che, in base ai pochi bit dell'etichetta, si possa instradare correttamente il pacchetto.

Questo lavoro, realizzato presso il CNIT (Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Telecomunicazioni), consiste nella realizzazione di un nodo di rete completamente ottico che soddisfa ad alcune delle funzionalità di base di un core-node¹. Le funzionalità prese in esame in questo lavoro sono la commutazione e l'instradamento. Nei prossimi capitoli verrà presentato un nodo fotonico 1×2 che riceve pacchetti a 10 Gb/s, ma è scalabile per bit-rate più elevati, legge l'etichetta associata al pacchetto, 1 bit della stessa durata del pacchetto, e commuta l'informazione su una delle due possibili uscite in

¹Nodo della rete di trasporto, non di interfacciamento con l'utente finale.

base al valore della label. Tutto ciò è effettuato direttamente nel dominio ottico.

Il primo capitolo riporta un'introduzione più dettagliata sulle reti a commutazione di pacchetto ottiche e sulle tecnologie necessarie alla loro realizzazione. Nella prima parte del secondo capitolo verrà descritto il formato del segnale trasmesso, la codifica utilizzata per l'etichetta ed la realizzazione sperimentale effettuata per la trasmissione. La seconda parte, invece, analizzerà il primo blocco funzionale del nodo ottico: il blocco di ricezione, destinato al riconoscimento dell'etichetta. Inoltre verrà analizzato il semplice blocco di controllo utilizzato per generare il segnale di comando per il commutatore e la sua realizzazione sperimentale. Il terzo capitolo tratterà il "cuore del dispositivo, il commutatore. In questo capitolo sarà presentato un commutatore ultraveloce basato su effetti non lineari in fibra. Spiegheremo in dettaglio il suo funzionamento e analizzeremo le sue prestazioni in termini di rapporto di estinzione e di commutazione. Il quarto capitolo riporta l'analisi delle prestazioni dell'intero sistema e le modifiche effettuate per la sua ottimizzazione. Infine, si riportano, nell'ultimo capitolo i risultati ottenuti e alcuni brevi cenni alle prospettive future portate da questo esperimento.

Indice

1	Introduzione alle Reti a Commutazione di Pacchetto	1
1.1	Architettura di un Optical Label Switching Router	3
2	Trasmissione e Ricezione	9
2.1	Trasmissione	9
2.1.1	Programma Labview	10
2.1.2	Generazione del Segnale	12
2.2	Ricezione	13
2.2.1	Riconoscimento dell'Etichetta e Generazione del Segnale di Controllo dello Switch	14
2.3	Conversione di Lunghezza d'Onda	16
2.3.1	Conversione di Lunghezza d'Onda utilizzando il NOLM	16
2.3.2	Conversione di Lunghezza d'Onda basata su FWM	18
3	Implementazione di un Commutatore Ottico	22
3.1	Principio di Funzionamento	22
3.2	Effetto Kerr Ottico	23
3.3	Esperimento di un Commutatore a Effetto Kerr utilizzando una Fibra HNF	25
3.4	Caratterizzazione del Commutatore	28
3.4.1	Prima Serie di Misure	29
3.4.2	Seconda Serie di Misure	31
3.4.3	Ottimizzazione del Commutatore	37

4	Implementazione di un Nodo Fotonico 1×2	41
4.1	Nodo Fotonico: Risultati Preliminari e Misure di Q	42
4.1.1	Configurazione utilizzando il Convertitore di Lunghezza d'Onda a FWM: Misure di Q	44
4.2	Realizzazione Sperimentale per Ottimizzare il Fattore di Qualità	47
5	Conclusioni	49
5.1	Risultati	49
5.2	Prospettive Future	50
A	Cross Phase Modulation	52
A.1	Effetti Non Lineari in Fibra	52
A.2	Accoppiamento tra Onde a Diversa Frequenza	53
A.3	Accoppiamento tra Componenti Polarizzate Ortogonalmente .	57
	Bibliografia	59
	Ringraziamenti	62