

PROGETTO RINGO: SPERIMENTAZIONE DI RETI WDM A COMMUTAZIONE DI PACCHETTO SU TOPOLOGIE AD ANELLO

A. Bianco, P. Carangelo, A. Carena, V. De Feo, V. Ferrero, R. Gaudino, P. Gigante,
E. Leonardi, F. Neri, P. Poggiolini

Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Torino; E-mail: *cognome@polito.it*

The paper describes the architecture and experimental demonstration of a WDM packet-switched network based upon a ring topology. The system is based on tunable optical transmitters and fixed optical receivers, with a distributed empty-slot MAC protocol.

Introduzione

L'utilizzo di tecnologie fotoniche nelle reti di telecomunicazione è oggi consolidato, anche se sovente il ruolo dell'ottica è confinato alla realizzazione di funzionalità trasmissive. Recentemente si è visto crescere repentinamente l'interesse verso architetture di rete in cui le tecnologie fotoniche sono utilizzate anche per la realizzazione di funzionalità di commutazione e di controllo [1]. Si parla in questo caso di reti (tutto) ottiche.

Oltre alla enorme disponibilità di banda sulla fibra, caratteristiche molto interessanti delle reti ottiche sono la possibilità di ridurre la dissipazione di potenza nei nodi della rete, la flessibilità nel progetto della connettività offerta da una infrastruttura di rete, e il fatto che il costo di commutazione di un canale ottico è, contrariamente a quanto avviene nel dominio elettronico, in larga misura indipendente dalla velocità di cifra (bit-rate) dei dati trasmessi su quel canale. D'altro canto le possibilità di elaborazione e di memorizzazione dell'informazione nel dominio fotonico sono attualmente limitate, soprattutto per la mancanza di dispositivi ottici di memorizzazione. Una vera commutazione ottica di pacchetti appare oggi di difficile realizzazione nel medio periodo, anche se alcuni autori propongono (si veda ad esempio [2]) architetture di dispositivi di commutazione ottici che emulano il comportamento di un commutatore a pacchetto in tecnologia elettronica, quale un router Internet. Una situazione intermedia tra commutazione veloce di circuiti ottici e commutazione ottica di pacchetto è offerta da reti di tipo diffusivo (broadcast-and-select) nelle quali l'informazione trasmessa da un nodo raggiunge tutti i nodi della rete, e ogni nodo seleziona l'informazione a lui destinata.

In quest'articolo si descrive l'attività teorica e sperimentale svolta all'interno del progetto RINGO (finanziato dal MURST, Cofin99). L'ambito di applicazione del progetto è quello delle reti di accesso metropolitane (MAN), dove oggi si riscontrano le più grosse limitazioni prestazionali nell'accesso alle infrastrutture di rete. L'architettura presa in considerazione prevede anelli ottici TDM/WDM, precedentemente studiati al Politecnico di Torino [3] dal punto di vista dei protocolli d'accesso e delle prestazioni di rete. La tecnica WDM partiziona la banda disponibile sulla fibra in un certo numero di canali di trasmissione, ognuno con velocità compatibile con la tecnologia elettronica, mentre le trasmissioni sui diversi canali avviene a pacchetto in divisione di tempo. Rispetto a reti con topologie generali, la linearità dell'anello presenta diversi vantaggi sia dal lato retistico, quali la relativa semplicità nella distribuzione di informazione di sincronismo e la possibilità di implementare un algoritmo distribuito di controllo dell'accesso, sia da quello trasmissivo, quali la possibilità di controllare più facilmente il punto di lavoro degli amplificatori ottici e l'eventuale compensazione della dispersione. Il progetto RINGO è volto a sviluppare un dimostratore che consenta di testare sperimentalmente i protocolli di accesso e i componenti chiave necessari per reti WDM a commutazione di pacchetto su topologie ad anello.

Architettura della rete RINGO

Si considera una rete in fibra ad anello comprendente N nodi che costituiscono la frontiera tra dominio elettronico e dominio fotonico: da una parte i nodi hanno interfacce verso terminali o dispositivi elettronici di interconnessione; dall'altra sono connessi all'anello WDM.

Internamente accodano (nel dominio elettronico) i pacchetti in attesa di accesso sull'anello WDM. La parte di controllo dell'accesso è pure realizzata nel dominio elettronico. Il numero dei canali logici ottenuti in WDM sulla fibra è pari al numero dei nodi della rete. Le caratteristiche principali della rete, schematicamente rappresentata in Fig. 1 sono:

- la trasmissione sull'anello è slottizzata e sincrona su tutti i canali; è quindi necessario distribuire un segnale di sincronismo;
- i pacchetti sono di dimensione fissa, tale da occupare uno slot; eventuali funzioni di adattamento da diversi formati elettronici (quali Ethernet, Frame Relay, PPP, HDLC) sono compito della parte elettronica dei nodi;
- l'interfaccia di ogni nodo verso l'anello ottico è dotata di un trasmettitore accordabile in lunghezza d'onda e di un ricevitore fisso; per raggiungere il nodo i di destinazione, si accorda il trasmettitore sulla lunghezza d'onda λ_i su cui il ricevitore del nodo i è predisposto a ricevere (Fig. 1);
- ogni nodo è in grado di controllare, mediante un meccanismo di ispezione dei canali (lambda-monitor) la disponibilità di uno slot su di una determinata lunghezza d'onda per la trasmissione di un pacchetto; in questo modo si evitano collisioni, ovvero trasmissioni contemporanee di pacchetti nello stesso slot, dando priorità ai pacchetti in transito sul canale;
- i pacchetti in attesa di essere trasmessi sono memorizzati in un'architettura VOQ (*Virtual Output Queueing*), ovvero immagazzinando in code di ingresso che separano i pacchetti destinati a destinazioni differenti.

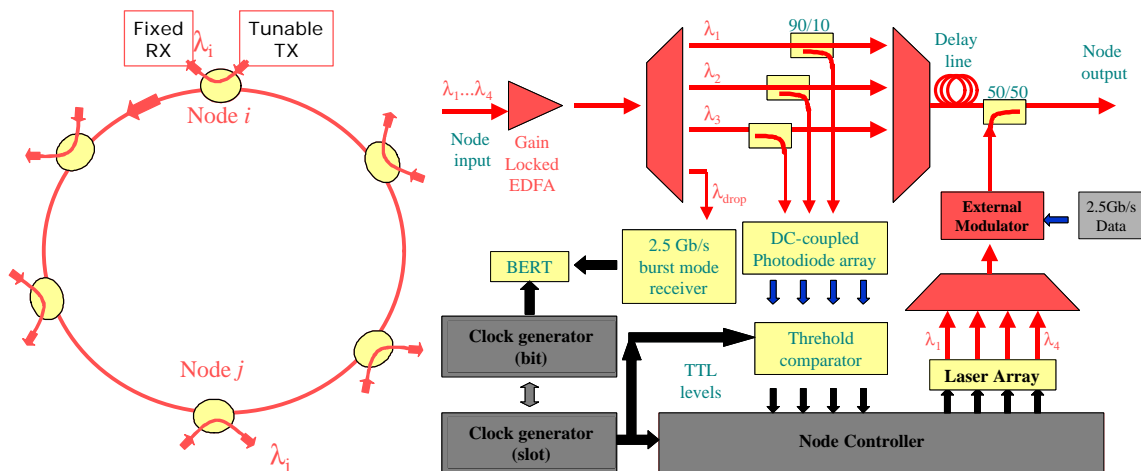


Figura 1: Topologia logica della rete (a sinistra) e struttura del nodo (a destra)

L'architettura considerata cerca di combinare in modo ottimale l'utilizzo di tecnologie fotoniche ed elettroniche: la banda aggregata della rete viene manipolata (ad esempio attraverso la selezione del canale su cui operare) nel dominio fotonico, mentre la moltiplicazione statistica sui singoli canali trasmissivi avviene nel dominio elettronico, attraverso il protocollo di accesso MAC.

Dimostratore sperimentale

Il dimostratore sperimentale della rete RINGO è costituito da due nodi basati sull'architettura rappresentata in Fig. 1, e utilizza 4 lunghezze d'onda in griglia ITU spaziate di 200GHz, attorno a 1550 nm. I pacchetti, della durata di $1\mu s$ e con tempi di guardia di $0.1\mu s$, contengono dati a 2.5 Gb/s. Il trasmettitore sintonizzabile in lunghezza d'onda è realizzato con un array di laser collegati ad un unico modulatore esterno in Niobato di Litio. I nodi sono controllati da logiche programmabili (FPGA) che ricevono in ingresso i segnali provenienti da un dispositivo di lambda-monitor, che determina la presenza di pacchetti per ogni λ e ogni slot, e, a seconda delle richieste di traffico e del protocollo di accesso implementato, generano opportuni segnali che, per ogni slot, accendono i laser alle lunghezze d'onda su

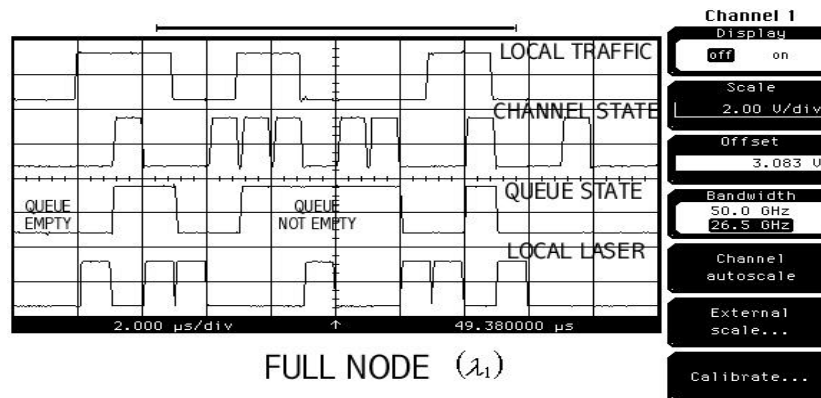


Figura 2: Dimostrazione del protocollo di gestione del traffico unicast su di una lunghezza d'onda.

cui si vuole trasmettere. Il trattamento ottico delle lunghezze d'onda è effettuato tramite una coppia di filtri mu-demultiplatori (basati su tecnica "arrayed waveguide" o AWG).

La struttura implementata presenta una notevole flessibilità dal punto di vista retistico in quanto:

- consente di implementare in modo efficiente la trasmissione "multicast", tramite accensione contemporanea di due o più laser nello stesso slot, senza richiedere un corrispondente aumento della banda elettronica del trasmettitore;
- consente la gestione di segnali di controllo e di sincronizzazione su una lunghezza d'onda dedicata, essendo possibile estrarli dalla rete tramite opportune connessioni dei filtri AWG.

Dal punto di vista trasmissivo, i principali vantaggi della struttura sono:

- controllo del livello dei crosstalk tra i segnali, grazie al passaggio tramite doppio AWG e ai risultanti notevoli rapporti di estinzione, superiori a 50 dB;
- efficiente filtraggio del rumore ASE;
- monitoraggio su ogni nodo del livello di ciascuno dei canali WDM, e possibilità di equalizzare dinamicamente i livelli di potenza tramite attenuatori inseriti tra i due AWG, in modo da compensare gli sbilanciamenti di potenza dovuti ai vari trasmettitori e agli EDFA.

In Fig. 2 sono mostrati i risultati sperimentali relativi alla implementazione del protocollo per la gestione del solo traffico unicast su di un prototipo a due nodi spazati da 50 km di fibra. Un nodo trasmettitore genera traffico unicast su entrambe le lunghezze d'onda mentre il nodo completo, controllato da una FPGA, controlla lo stato dei canali e soddisfa le richieste locali di traffico evitando le collisioni dei pacchetti. I segnali visualizzati in Fig. 2 sono tutti riferiti alla stessa lunghezza d'onda λ_1 . Il comportamento su λ_2 è analogo. Il segnale LOCAL TRAFFIC è la richiesta di trasmissione su λ_1 che deve essere confrontata con il CHANNEL STATE che indica la disponibilità della risorsa. Se il canale è occupato, si procede alla memorizzazione del pacchetto in una apposita coda e alla successiva trasmissione appena la risorsa si rende disponibile. Il segnale QUEUE STATE indica la presenza o meno di pacchetti nella coda relativa a questa lunghezza d'onda. Infine il segnale LOCAL LASER è il segnale di pilotaggio del laser alla lunghezza d'onda λ_1 , esso indica l'attivazione dello stesso per trasmettere le richieste di traffico locale su questa lambda.

La correttezza della implementazione del protocollo si può controllare osservando che:

- se il CHANNEL STATE è occupato il LOCAL LASER non viene attivato, neppure se vi è una contemporanea richiesta di trasmissione su LOCAL TRAFFIC;
- se il CHANNEL STATE è occupato e vi è una contemporanea richiesta di trasmissione su LOCAL TRAFFIC il pacchetto viene accodato;
- se il QUEUE STATE indica presenza di pacchetti in coda mentre il LOCAL TRAFFIC è assente e il CHANNEL STATE è libero viene attivato LOCAL LASER.

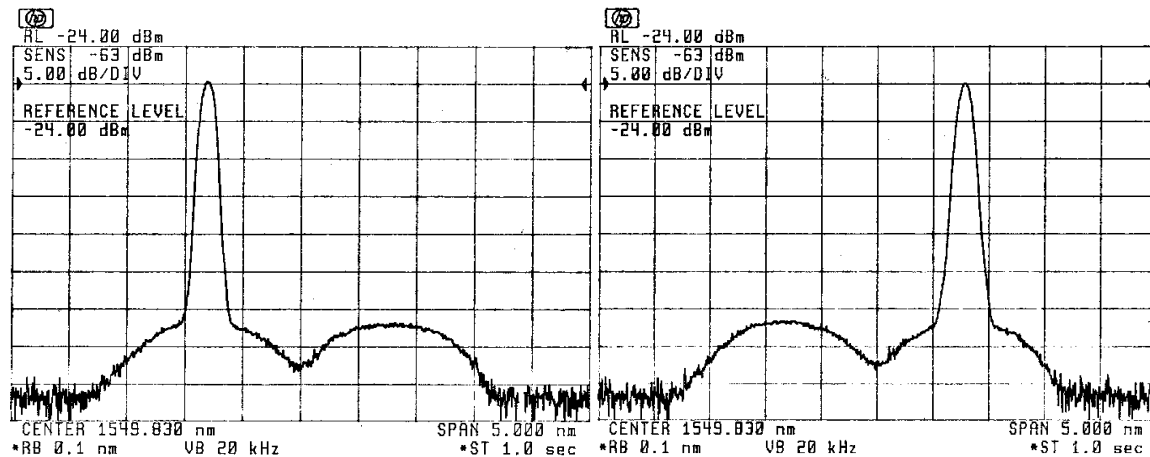


Figura 3: Spettri ottici all'uscita del nodo. a sinistra nel caso di traffico presente solo su $\lambda_1=1549.72$ nm, a destra solo su $\lambda_2=1551.32$ nm.

In Fig. 3 sono riportati gli spettri ottici all'uscita del nodo nel caso di slot temporale con traffico presente su di una sola λ , per entrambe le lunghezze d'onda utilizzate. Si può osservare alla lunghezza d'onda non attiva in quello slot, la funzione di trasferimento ottenuta con la cascata dei due AWG presenti nel nodo.

Sviluppi futuri

Il progetto RINGO si presenta come un testbed sperimentale dove sono e saranno testate varie tecnologie chiave per la dimostrazione della fattibilità di reti ottiche a commutazione di pacchetto. In particolare sono stati o saranno studiati i seguenti aspetti:

- effetti di accumulo e ricircolo di rumore ASE su una struttura ad anello ottico;
- effetti di accumulo di crosstalk tra canali WDM;
- effetti di self-filtering del segnale dopo l'attraversamento di vari filtri AWG;
- transitori nella risposta degli EDFA su costanti di tempo confrontabili con la durata dei pacchetto (1 μ s);
- problematiche di controllo e sincronizzazione della rete;
- protocolli avanzati per la gestione simultanea di traffico unicast e multicast;
- protocolli di accesso e interfacciamento dei nodi di accesso con gli strati superiori dei protocolli di rete (IP, Ethernet, etc);
- sintonizzazione veloce di laser DBR come alternativa all'array di laser del trasmettitore.

Ringraziamenti

Il progetto RINGO è interamente finanziato dal MURST (Ministero Università e Ricerca Scientifica) con i fondi Cofin99. Gli autori desiderano ringraziare LUCENT Technologies Italia, per aver fornito le fibre (Truewave RS) usate nell'esperimento, e ITALTEL, per i filtri AWG forniti per l'esperimento e CISCO Photonics per avere fornito driver e modulatori in Niobato di Litio ed un ricevitore a larga banda.

Bibliografia

- [1] R. Ramaswami, K. N. Sivarajan, *Optical Networks – A Practical Perspective*, Morgan Kaufmann, 1998
- [2] S. Yao, B. Mukherjee, S. Dixit, "Advances in Photonic Packet Switching: an Overview," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 38, No. 2, pp.84-94, February 2000
- [3] M. Ajmone Marsan, A. Bianco, E. Leonardi, M. Meo, F. Neri, "MAC Protocols and Fairness Control in WDM Multi-Rings with Tunable Transmitters and Fixed Receivers," *Joint Issue of IEEE JLT and IEEE JSAC*, Vol. 14, No. 6, pp. 1230-1244, June 1996