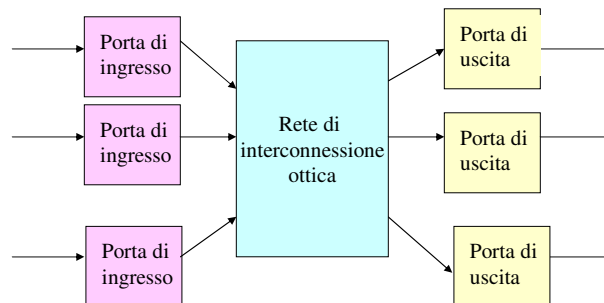


RETI DI INTERCONNESSIONE IN TECNOLOGIA OTTICA

Sistemi di commutazione M
2010-2011
Carla Raffaelli

MOTIVAZIONI

- La tecnologia ottica per le reti sta entrando in una fase matura
- Applicazioni e sistemi con requisiti di banda sempre più elevati
- Necessità di superare i colli di bottiglia della tecnologia elettronica

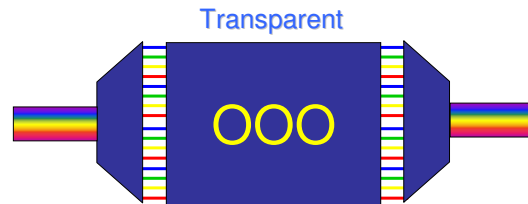


Commutazione ottica

- Si basa sull'utilizzo di cross-connect (OXC) ottici
 - Con conversione elettro-ottica



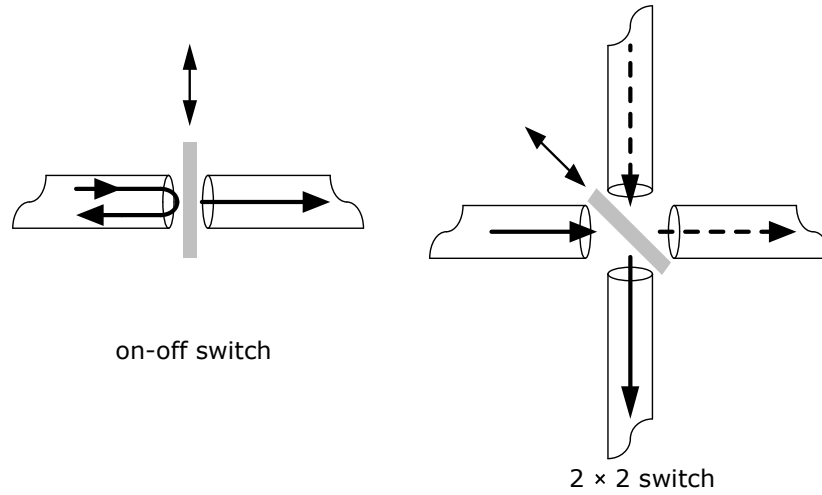
- Senza conversione elettro-ottica



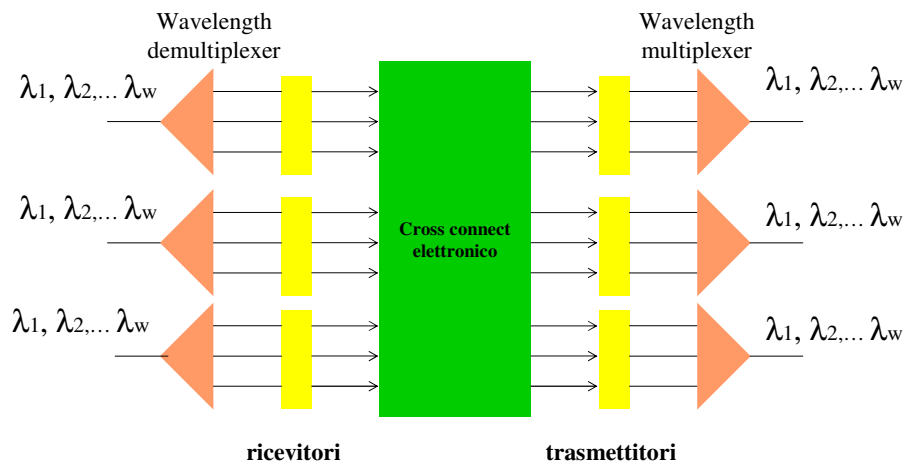
Tecnologie realizzative

- AWG – Arrayed Waveguide Gratings
 - Generalization of the Mach-Zehnder Interferometer
 - Two multiport couplers interconnected by an array of waveguides
 - Several copies of the same signal shifted in phase
 - The output port is selected depending on the wavelength used
- MEMS – Micro-Electro-Mechanical Systems
 - Miniature movable mirrors made in silicon
 - Mirrors are deflected from one position to another using a variety of electronic actuation techniques
 - Depending on the mirror position, the optical signal is transmitted or deflected (switching time: ca. 100 μ s)
- SOA – Semiconductor Optical Amplifier
 - Based on the principle of stimulated emission (same as LASER)
 - It may be used as an ON/OFF switch (switching time: ca. 1 ns)

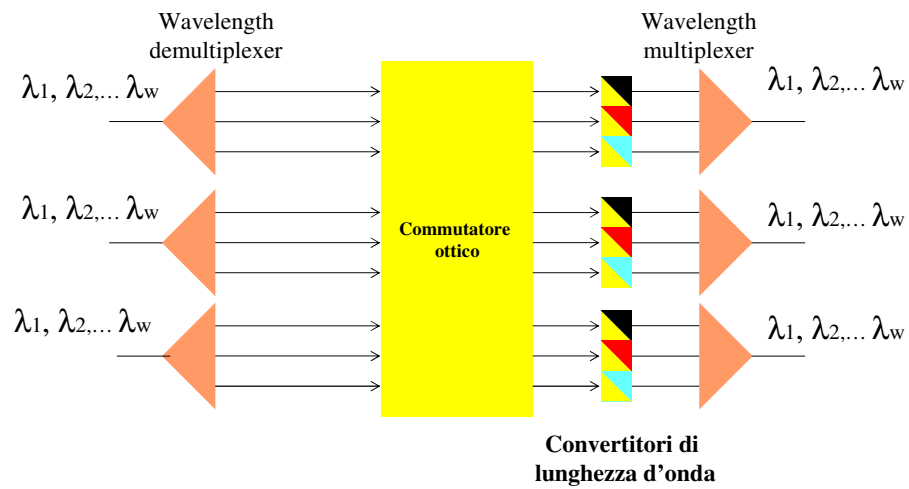
Different implementations and capacities of MEMS switches



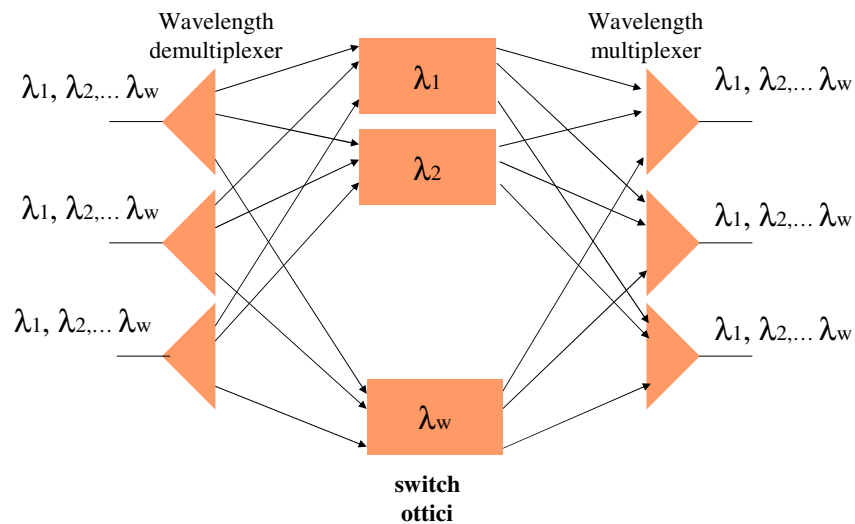
Cross-connect ottico per reti WDM con commutazione elettronica



Cross-connect tutto ottico con conversione di lunghezza d'onda



Cross-connect tutto ottico senza conversione di lunghezza d'onda

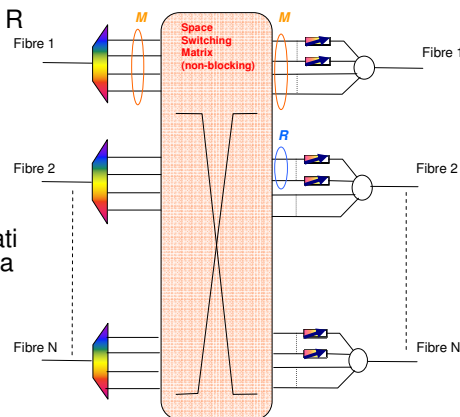


Modalita' di organizzazione dei convertitori

- Shared per output link
 - I convertitori sono condivisi dal traffico diretto alla medesima uscita
- Shared per node
 - I convertitori sono condivisi da tutti gli ingressi
- Shared per wavelength
 - I convertitori sono condivisi per lunghezza d'onda

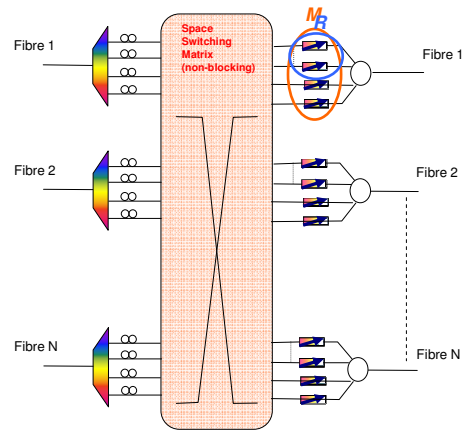
Shared per output link architecture

- Ogni fibra in uscita ha un insieme di R convertitori dedicati
- I convertitori dello stesso insieme possono essere utilizzati solo dai pacchetti diretti alla uscita corrispondente
- I pacchetti in ingresso vengono inviati possibilmente sulla stessa lunghezza d'onda su cui sono arrivati. Se cio' non e' possibile utilizzano i convertitori
- Occorre stabilire quanti convertitori sono realmente necessari



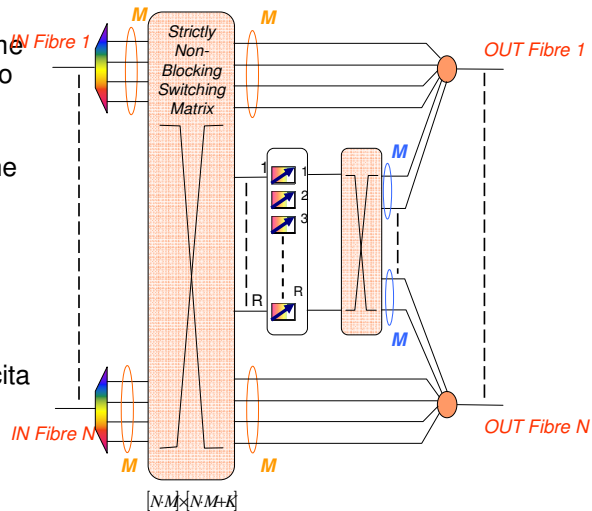
Full and partial wavelength conversion

- Full wavelength conversion:
 - Tutti i canali di uscita (M) hanno un convertitore
- Partial wavelength conversion:
 - Solo R canali di uscita hanno il convertitore
 - I canali senza convertitore possono trasmettere soltanto pacchetti sulla stessa lunghezza d'onda di ingresso



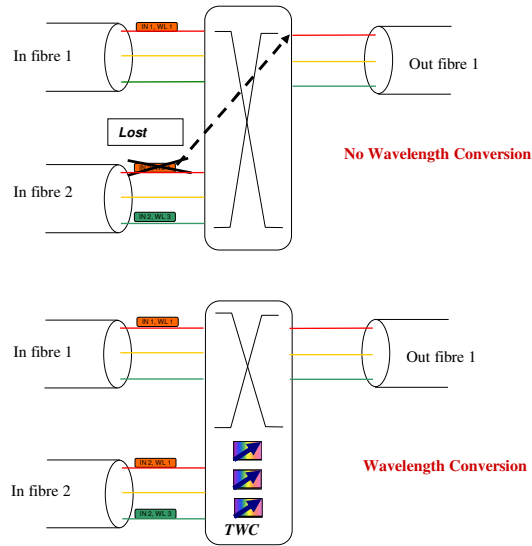
Architettura "shared per node"

- Esiste un unico insieme di convertitori utilizzato da tutti gli ingressi
- Solo i pacchetti che richiedono conversione vengono inviati ai convertitori.
- E' necessario un ulteriore stadio di commutazione per inviare i pacchetti convertiti al link di uscita appropriato



Conversione di lunghezza d'onda

- Pacchetti sulla stessa lunghezza d'onda diretti alla stessa fibra di uscita contendono per lo stesso canale
- Uno viene inoltrato direttamente, gli altri convertiti e poi inoltrati

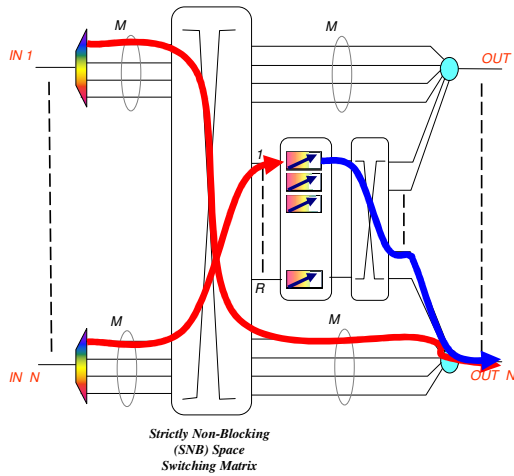


Convertitori di lunghezza d'onda

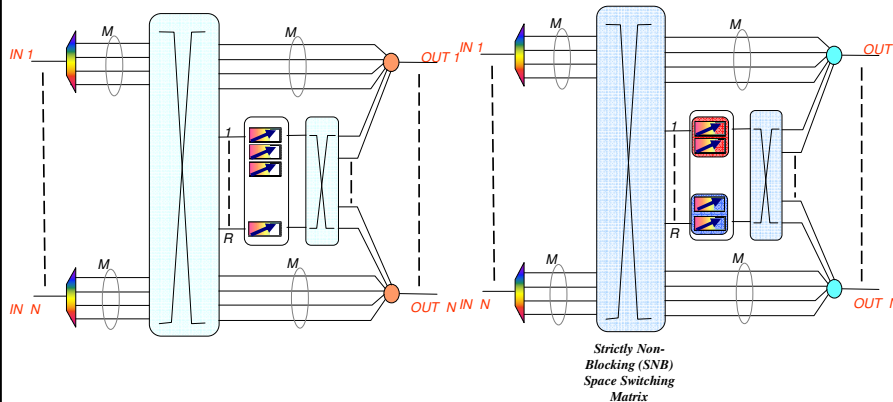
- TWCs (tunable wavelength converters):
 - FR-TWCs (Full Range wavelength converters), possono convertire una qualsiasi lunghezza d'onda verso ogni altra
 - LR-TWCs (Limited Range wavelength converters), possono convertire una lunghezza di ingresso verso un sub-set di lunghezze d'onda di uscita
- Convertitori di lunghezza d'onda sono componenti molto costosi
 - Specialmente FR-TWCs
- Sono state proposte architetture con numero ridotto di convertitori

Architettura Shared per Node con convertitori Full Range (ID-SPN)

- Architettura con numero limitato di FR-TWCs (R)
- N fibre di in/out con M lunghezze d'onda ognuna
- TWCs condivisi fra tutti i canali di ingresso
- Matrici spaziali strettamente non bloccanti
- Studiare le prestazioni in termini di probabilit  di perdita al variare del numero di TWCs (modello analitico)



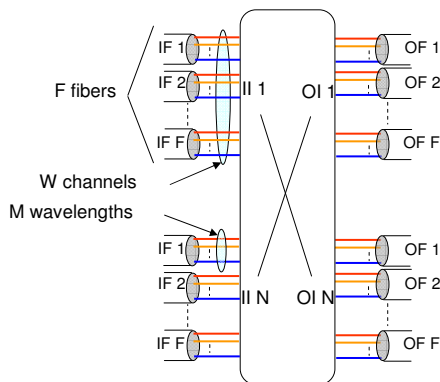
SPW architecture



- In SPN TWCs are completely shared among input and output interfaces
- SPW: TWCs are shared within channels on the same wavelength

Multi-fiber switch

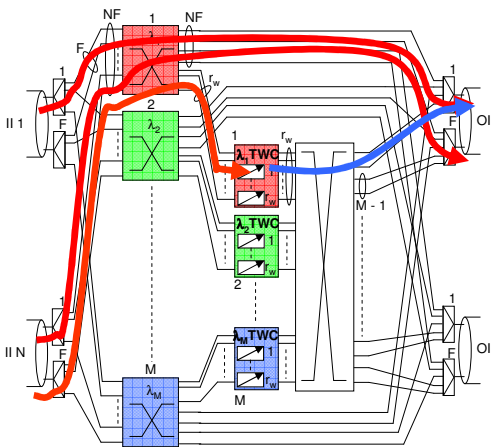
- An interface is equipped with F fibers carrying M channels ($FM=W$)
- Wavelengths can be repeated in different fibers
- TWC with tuning range $M=W/F$
 - Same performance as the mono-fiber one with lower number of TWCs with limited range



TWC tuning range reduction

Multi-Fiber Shared-Per-Wavelength

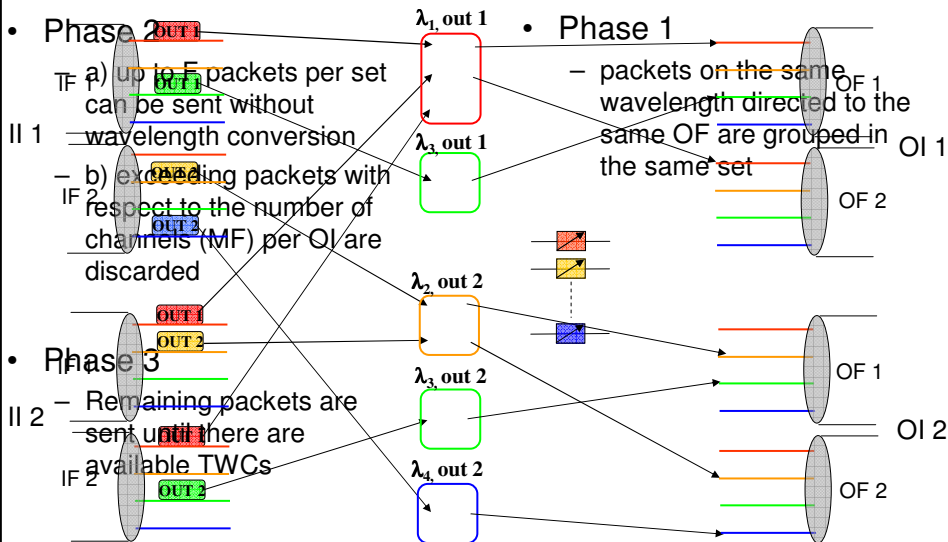
- MF-SPW switch
 - Jointly employs the shared per wavelength and the multi-fiber concepts
- Advantages of MF-SPW scheme
- Fixed-input/tunable-output TWCs are employed
 - Supposed easier to be realized
 - Up to F packets per OI can be sent without conversion
 - Lower number of TWCs needed
 - Tuning range M
 - Reduced with respect to W ($M=W/F$)
 - M small switching fabrics (one per wavelength) are used to connect IFs to the OFs and TWC pools
 - Easier to be implemented than a single big switching fabric



Scheduling algorithms

- Slotted environment
- 3 phases
 - Phase 1 and 2 are common to all architectures, phase 3 depends on TWC sharing model
- **phase 1**: group input packets on the same wavelength and with the same destination
 - Packets belonging to different groups are contention free
 - Computational complexity: $O(NM)$
- **phase 2**: one packet per group is forwarded without wavelength conversion
 - Computational complexity: $O(NM)$
- **phase 3**: additional packets are sent by wavelength conversion if free wavelength on output and wavelength converters are available
 - Computational complexity:
 - SPL: $O(N+Nr)$
 - SPN: $O(N+R)$
 - SPW: $O(NM+Mr_w)$

Scheduling algorithm MF-SPW: $N=2, F=2, M=2$



Esercitazione di laboratorio
DESCRIZIONE DELL'APPROCCIO SIMULATIVO E
UTILIZZO DEI SIMULATORI

Ing. Michele Savi
DEIS – Università di Bologna
michele.savi@unibo.it

Analisi delle prestazioni di un sistema

- La valutazione delle prestazioni di un sistema può essere trattata attraverso 3 metodologie:
 - **misure sperimentali**: necessitano della realizzazione del sistema o di alcune sue parti
 - **metodo analitico**: sviluppo di modelli matematici in grado di 'catturare' i principali fenomeni che avvengono nel sistema e quindi di descriverne il comportamento
 - **metodo simulativo**: sviluppo di strumenti software in grado di simulare il comportamento del sistema e restituire i dati di interesse in uscita
- Il metodo analitico e simulativo richiedono dei parametri in ingresso e restituiscono dei dati in uscita (output) che rappresentano le variabili di interesse per il sistema
- In queste lezioni di laboratorio verrà utilizzato il metodo simulativo
 - simulatori ad hoc realizzati in linguaggio C per la valutazione delle prestazioni di architetture di commutazione ottica

Scenario

- Tipologie di simulatori
 - event-driven: il tempo di simulazione avanza quando si verifica un dato evento
 - esempio -> simulazioni di reti asincrone
 - time slotted: il tempo è suddiviso in intervalli (slice) temporali di durata fissa indipendenti fra loro
 - la simulazione gestisce intervalli di tempo indipendenti consecutivi, il tempo di simulazione è legato al numero di questi intervalli
 - esempio -> simulazioni di reti sincrone

UTILIZZO DEI SIMULATORI

Comandi linux di base

- **cd** *nome_cartella* permette di accedere a *nome_cartella*
- **pwd** visualizza il percorso dalla radice alla cartella corrente
- **ls** visualizza il contenuto della cartella corrente
- **mv** *file1 file2* rinomina *file1* in *file2*
- **rm** *file* elimina il file
- **hostname** identifica il nome della macchina su cui state lavorando (utile se si lavora da remoto)

Come accedere alla cartella per l'esercitazione

- Aprire la cartella ***My Computer***
- Aprire la cartella ***c:***
- Aprire la cartella ***cygwin***
- Aprire la cartella ***lab_sist_comm10***
 - ***Questa e' la cartella di lavoro che utilizzeremo***
- Aprire la cartella ***esercitazione1***

Contenuto della cartella per l'esercitazione

- La cartella **esercitazione1** contiene:
 - Il file sorgente (**SPN_SYN.c**) del simulatore dell'architettura SPN in ambiente sincrono
 - Il file sorgente (**SPN_SYN_MOD.c**) del modello analitico che calcola la probabilità di perdita dell'architettura SPN in ambiente sincrono
 - La cartella che contiene gli eseguibili del programma per produzione grafici gnuplot (**gnupot**)
 - Uno shortcut all'eseguibile **gnuplot.exe** da utilizzare per produrre i grafici
 - Un file **SPN_N16_M16.plt** da utilizzare con gnuplot per graficare i risultati ottenuti
 - Una cartella **SPN_sample** che contiene un esempio dei file dei risultati prodotti dal simulatore e dal modello
 - Si può produrre un grafico utilizzando il file SPN_N16_M16.plt
 - Questa stessa presentazione

Come accedere ai simulatori da linea di comando

- Dal menu start -> tutti i programmi scegliere: **cygwin**
- Dalla linea di comando posizionarsi in **c:** con il comando:
 - **cd c:**
- Dalla linea di comando posizionarsi in **cygwin** :
 - **cd cygwin**
- Dalla linea di comando posizionarsi nella cartella **lab_sist_comm10**:
 - **cd lab_sist_comm10**
- Dalla linea di comando posizionarsi nella cartella
 - **cd esercitazione1**

Come compilare ed eseguire un programma

- Per compilare i programmi in C utilizzare il comando:
`g++ -o nome_file_eseguibile nome_file_sorgente.c`
 - es: `g++ -o SPN_SYN SPN_SYN.c`
- Per eseguire un file eseguibile (lanciare una simulazione) utilizzare il comando:
`./nome_file_eseguibile`
 - es: `./SPN_SYN`

File dei risultati: probabilita' di perdita

- Il simulatore SPN salva le probabilita' di perdita in un file `PLP_SPN_SYN_BER.txt` (BER ste per traffico Bernoulliano)
- Questi 2 file hanno questo aspetto

#WC	conv. ratio	p=0.9	p=0.8	p=0.7	p=0.6
0	0	3.55806e-01	3.28876e-01	3.00284e-01	2.69514e-01
16	0.125	2.45229e-01	2.10247e-01	1.73953e-01	1.39023e-01
32	0.25	1.71642e-01	1.33734e-01	9.80222e-02	6.72471e-02
48	0.375	1.41074e-01	1.02858e-01	6.85937e-02	4.19049e-02
64	0.5	1.35257e-01	9.66046e-02	6.37026e-02	3.71980e-02
80	0.625	1.35274e-01	9.60610e-02	6.35162e-02	3.70100e-02
96	0.75	1.34832e-01	9.64809e-02	6.30121e-02	3.67088e-02
112	0.875	1.35211e-01	9.66343e-02	6.31078e-02	3.70269e-02
128	1	1.35140e-01	9.66893e-02	6.32985e-02	3.71056e-02

Le colonne rappresentano diversi valori del carico
Le righe rappresentano il numero di convertitori utilizzati

Graficare i risultati con gnuplot (1)

- Per graficare i risultati, si utilizza il programma **gnuplot**
 - <http://www.gnuplot.info/>
- Per graficare i risultati, si utilizzano dei file predefiniti per il programma gnuplot (file .plt o .gnu)
- Nella cartella **SPN sample** (dentro **esercitazione1**) si puo' utilizzare il file **SPN_N16_M16.plt** per vedere come gnuplot grafica i risultati
- Si apre il programma gnuplot (**wgnuplot.exe**) dentro la cartella **esercitazione1**, e si sfogliano le cartelle e si sceglie il file gnuplot da lanciare
 - Si puo' anche utilizzare dalla linea di comando gnuplot il comando **load "SPN_N16_M16.plt"**

Graficare i risultati con gnuplot (2)

- **gnuplot** legge direttamente da file di testo i valori da graficare

#WC	conv. ratio	p=0.9	p=0.8	p=0.7	p=0.6
0	0	3.65806e-01	3.28876e-01	3.00284e-01	2.69514e-01
16	0.125	2.45229e-01	2.10247e-01	1.73953e-01	1.39023e-01
32	0.25	1.71642e-01	1.33734e-01	9.80222e-02	6.72471e-02
48	0.375	1.41074e-01	1.02858e-01	6.85937e-02	4.19049e-02
64	0.5	1.35257e-01	9.66046e-02	6.37026e-02	3.71980e-02
80	0.625	1.35274e-01	9.60610e-02	6.35162e-02	3.70100e-02
96	0.75	1.34832e-01	9.64809e-02	6.30121e-02	3.67088e-02
112	0.875	1.35211e-01	9.66343e-02	6.31078e-02	3.70269e-02
128	1	1.35140e-01	9.66893e-02	6.32985e-02	3.71056e-02

La prima colonna del file rappresenta di solito l'asse delle ascisse (puo' essere a seconda)

le colonne successive rappresentano le ordinate (ogni colonna viene graficata come una curva)

Graficare i risultati con gnuplot (3)

- Se si desiderano creare altri tipi di grafici, bisogna creare nuovi file gnuplot (.plt) partendo da quelli impostati
 - Una volta aperto un file .plt, è possibile modificare i file dei risultati da cui leggere sulla riga (alla fine del file)

plot "nome_file.txt" u 1:3 title "titolo_legenda", ...

- Es: "Ploss_SPN.txt" u 1:2 title "SPN", "Ploss_SPL.txt" u 1:3 title "SPL"

Questa riga va cambiata se si vuole leggere nuovi file di testo

- Si possono modificare le scale cambiando le righe

set xrange [0 : 256] noreverse nowriteback

set yrange [1e-4 : 1] noreverse nowriteback

Graficare i risultati con gnuplot (4)

- Per graficare i risultati, aprire wgnuplot:
 - *shortcut to wgnuplot.exe.lnk*
- Lanciare il comando:
load "nome_file.plt"
 - Es: load "SPN_N16_M16.plt"
- Compare una finestra con il grafico richiesto

Esercitazione di laboratorio

- Obiettivo:
 - Compilare ed eseguire i programmi
 - Parametri di ingresso:
 - Numero di ingressi N = 16
 - Numero di lunghezze d'onda M = 16
 - Carico p= 0.5, 0.7, 0.9
 - Traffico Bernoulliano
 - Numero di convertitori: da 0 a NM (256)
 - Utilizzare sia simulatore che modello analitico, per un confronto di risultati e di tempo necessario per ottenerli
 - A questo scopo, nel simulatore utilizzare anche l'intervallo di confidenza per valutare come cambia il tempo di simulazione a seconda dei parametri

Consigli...

- Per una corretta visualizzazione, aprire i file dei risultati (.txt) utilizzare il comando
 - apri con...
 - e scegliere **wordpad** (non notepad, programma di default)
- Per visualizzare un grafico, bisogna che nel file dei dati utilizzati dal programma .plt ci siano tutte le colonne richiamate

Come valutare l'affidabilità di una simulazione: Intervallo di confidenza

D.E.I.S. Università di Bologna

DEISNet

<http://deisnet.deis.unibo.it/>

Introduzione

- Una volta effettuata una simulazione, è necessario stimare la precisione e l'affidabilità dei risultati.
- Si supponga ad esempio di voler valutare il valore medio di un certo indice di prestazione x . x è una variabile aleatoria con valore medio μ e varianza σ^2 .
- Ripetendo n esperimenti di simulazione, per ipotesi statisticamente indipendenti tra loro, si ottengono n osservazioni indipendenti X_1, X_2, \dots, X_n .

Valore medio di una grandezza

- Una stima del valor medio μ è data dalla media campionaria

$$\bar{X}(n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

- Questo stimatore è anch'esso una variabile aleatoria: ripetendo più volte la simulazione $X(n)$ assume valori diversi
- In generale $X(n) \neq \mu$: è necessario valutare l'affidabilità della stima.

Il metodo dell'intervallo di confidenza consiste nel determinare un *intervallo* attorno al valore $X(n)$, in modo da prevedere con una certa probabilità (detta *confidenza*) che μ cada in questo intervallo.

- Si noti che $X(n)$ è uno stimatore non polarizzato di μ , cioè

Livello di confidenza dello stimatore

- In formule si esprime nel modo seguente

$$P\left\{ \left| \bar{X}(n) - \mu \right| < \delta \right\} = 1 - \alpha$$

dove δ è la semiampiezza dell'intervallo di confidenza:

$$[\bar{X}(n) - \delta; \bar{X}(n) + \delta]$$

Tipicamente $1 - \alpha$ vale 0,9 0,95 o 0,99 cioè affidabilità del 90, 95 o 99% rispettivamente.

Varianza campionaria

- Varianza di $X(n)$:

$$\text{Var} \{X(n)\} = \sigma^2/n$$

da cui si vede che all'aumentare del numero di campioni la stima della media migliora

- La varianza si può stimare mediante la varianza campionaria $S^2(n)$:

$$S^2(n) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [X_i - \bar{X}(n)]^2$$

Anch'essa è uno stimatore non polarizzato cioè $E\{S^2(n)\} = \sigma^2$

- sostituendo quindi σ^2 con $S^2(n)$ si ha

$$\text{Var}[\bar{X}(n)] = S^2(n)/n = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n [X_i - \bar{X}(n)]^2$$

Calcolo di δ

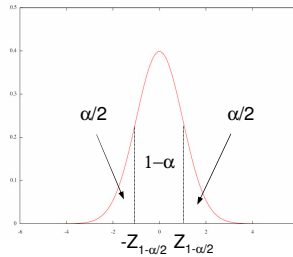
- Se il numero di osservazioni è elevato ($n > 30$) si può assumere che $X(n)$ abbia distribuzione gaussiana (Teo. Limite centrale)
- Si introduce la variabile aleatoria Z_n :

$$Z_n = [\bar{X}(n) - \mu] / \sqrt{\sigma^2/n}$$

La variabile Z_n ha valor medio nullo e varianza unitaria con distribuzione gaussiana (**variabile normale standard**).

Calcolo di δ

- Si riporta di seguito la distribuzione di Z_n



Il valore $z_{1-\alpha/2}$ è tale per cui l'integrale della curva fra $-z_{1-\alpha/2}$ e $z_{1-\alpha/2}$ vale $1-\alpha$. Ossia:

$$P\{-z_{1-\alpha/2} \leq z \leq z_{1-\alpha/2}\} = 1-\alpha$$

Calcolo di δ

- Poiché si suppone n abbastanza grande, si può sostituire nell'espressione di Z_n $S^2(n)$ al posto di σ^2 :

$$P\left\{-z_{1-\alpha/2} \leq \frac{\bar{X}(n) - \mu}{\sqrt{S^2(n)/n}} \leq z_{1-\alpha/2}\right\} = P\left\{\bar{X}(n) - z_{1-\alpha/2} \sqrt{S^2(n)/n} \leq \mu \leq \bar{X}(n) + z_{1-\alpha/2} \sqrt{S^2(n)/n}\right\}$$
$$\approx 1-\alpha$$

Il simbolo “ \approx ” indica che questa è un'approssimazione.

- Si ricava quindi la semiampiezza dell'intervallo di confidenza:

$$\delta = z_{1-\alpha/2} \sqrt{S^2(n)/n}$$

T-student

- Se i campioni X_i hanno distribuzione *normale* la variabile

$$t_n = [\bar{X}(n) - \mu] / \sqrt{S^2(n)/n}$$

ha una distribuzione detta *t di Student a n-1 gradi di libertà* e l'intervallo di confidenza è in questo caso *esattamente espresso da*

e prende il nome di intervallo di confidenza *t*.

- i valori della distribuzione t si trovano tabulati per i diversi valori di n
- in pratica raramente i campioni X_i hanno distribuzione *normale* per cui l'uso dell'intervallo di confidenza t è ancora una approssimazione
- per n tendente all'infinito i valori ottenuti con i due metodi coincidono

Tabella t-student

Si riporta qui a fianco i valori tabulati della distribuzione t-student in funzione del numero di gradi di libertà per un valore $1-\alpha=0.95$

n-1	$t_{1-\alpha/2}$
1	12.706
2	4.303
3	3.182
4	2.776
5	2.571
6	2.447
7	2.365
8	2.306
9	2.262
10	2.228
11	2.201
12	2.179
13	2.160
14	2.145
15	2.131
16	2.120
17	2.110
18	2.101
19	2.093
20	2.086
21	2.080
22	2.074
23	2.069
24	2.064
25	2.060
26	2.056
27	2.052
28	2.048
29	2.045
30	2.042
40	2.021
50	2.009
75	1.992
100	1.984
∞	1.960

Esempio

- Si supponga di aver effettuato 9 esperimenti di simulazione indipendenti da cui si sono misurate 9 stime della variabile casuale X : X_1, X_2, \dots, X_n . Sia:

$$\bar{X}(n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = 65$$

$$\sum_{i=1}^9 (X_i - \bar{X}(n))^2 = 3560$$

Si può determinare $S^2(n)$:

$$S^2(n) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [X_i - \bar{X}(n)]^2 = \frac{1}{8} \cdot 3560 = 445$$

Esempio

- Scegliendo di determinare l'intervallo di confidenza con livello di confidenza del 95%, cioè $1-\alpha = 0.95$ si ha:

$$t_{n-1, \frac{\alpha}{2}} = t_{8, 0.05} = 2.306$$

$$\delta = t_{n-1, \frac{\alpha}{2}} \sqrt{S^2(n)/n} = 2.306 \cdot \sqrt{445/9} = 16.12$$

- L'intervallo di confidenza risulta quindi:

$$[\bar{X}(n) - \delta; \bar{X}(n) + \delta] = [65 - 16.12; 65 + 16.12] = [48.88; 81.12]$$

cioè

$$P\{48.88 \leq E[X] \leq 81.12\} = 0.95$$

Considerazioni

- Guardando l'espressione dell'intervallo di confidenza:

$$A = 2\delta = 2t_{n-1, 1-\alpha/2} \sqrt{S^2(n)/n}$$

A parità di altre condizioni:

1. $A \downarrow$ se $n \uparrow$: maggiore è n , migliore è l'accuratezza della stima.
2. $A \uparrow$ se $\text{var}[X] = \sigma^2 \uparrow$: nella formula compare $S^2(n)$ che è una stima di σ^2 .
3. $A \uparrow$ se $1-\alpha \uparrow$: l'intervallo si allarga all'aumentare del livello di confidenza.

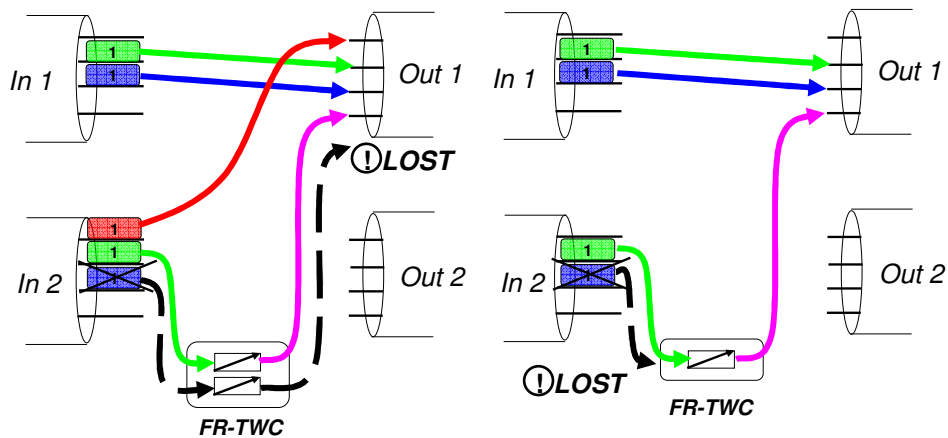
Modelli analitici

Sistemi di commutazione M
2010-2011
Carla Raffaelli

Probabilità di perdita

- Arrivi indipendenti di tipo bernoulliano (probabilità p) e uniformemente distribuiti sulle uscite
- La probabilità di perdita è valutata come probabilità che un dato pacchetto non possa essere spedito
- Due eventi possono condurre a perdita del pacchetto:
 - Fibra di uscita congestionata (più di M pacchetti diretti alla stessa fibra di destinazione); blocco esterno
 - Numero di convertitori insufficiente a soddisfare tutte le richieste di conversione; blocco interno

Probabilità di perdita: esempio



Modello analitico per architettura SPN: ipotesi e variabili

Ipotesi:

- Scenario sincrono (slotted);
- Lunghezza del pacchetto pari alla durata di uno slot ;
- Arrivi indipendenti di tipo Bernoulli nelle lunghezze d'onda di ingresso;
- Pacchetti indirizzati alle fibre di destinazione con probabilità uniforme (1/N);

Variabili:

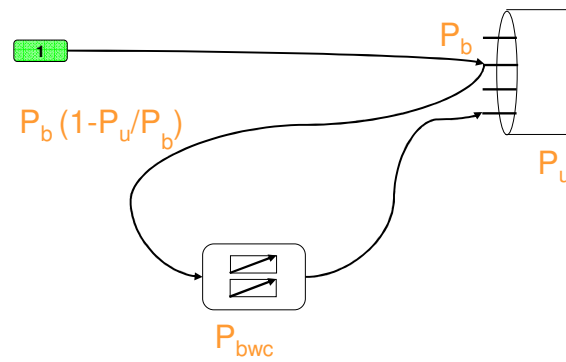
- p probabilità di arrivo su una lunghezza d'onda in un time slot;
- P_u probabilità che la fibra di uscita "j" sia congestionata e il pacchetto non sia scelto per la trasmissione (perdita "esterna");
- P_b probabilità che il pacchetto sia bloccato sulla propria lunghezza d'onda nella fibra di uscita "j";
- A_{wc} traffico offerto ai convertitori da una singola lunghezza d'onda di uscita;
- P_{bwc} probabilità che un pacchetto sia perso ai convertitori;
- P_{loss} probabilità di perdita totale;

Espressione della probabilità di perdita P_{loss}

$$P_{loss} = P_u + P_b \cdot \left(1 - \frac{P_u}{P_b}\right) \cdot P_{bwc}$$

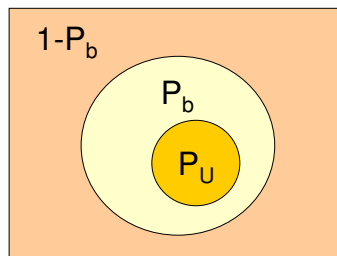
- Il primo termine rappresenta il blocco esterno, P_u ;
- Secondo termine rappresenta la probabilità congiunta che:
 - Pacchetto sia spedito al banco di TWC, data dal prodotto fra:
 - P_b (pacchetto bloccato sulla sua lunghezza d'onda);
 - $1 - (P_u/P_b)$ (pacchetto non bloccato nella fibra di uscita "j" dato che è bloccato nella sua lunghezza d'onda);
 - Pacchetto perso perchè non ci sono TWC disponibili, P_{bwc} ;

Probabilità di perdita: esempio



Considerations on P_u and P_b

- P_u : probability that the output fiber is congested and packet discarded (output blocking)
- P_b : probability that the packet is blocked on its wavelength (wavelength blocking)



$$P_U \subset P_b \quad P(U, b) = P_U$$

$$P(U, b) = P(U|b)P_b = P(b|U)P_U$$

$$P(b|U) = 1$$

$$P(U|b) = \frac{P_U}{P_b}$$

Espressione di P_u

- P_u è valutata sulla fibra di uscita "j";
- P_u è valutata assumendo piena capacità di conversione (full wavelength conversion);
- Ci sono fino a MN arrivi diretti alla fibra "j", solo M sono spediti;
- Perdita avviene quando si hanno $h > M$ arrivi e il pacchetto non è fra gli M spediti;

$$P_u = \sum_{h=M+1}^{N \cdot M} \left(1 - \frac{M}{h}\right) \binom{N \cdot M - 1}{h - 1} \left(\frac{p}{N}\right)^{h-1} \left(1 - \frac{p}{N}\right)^{N \cdot M - h}$$

- Probabilità di h arrivi è valutata come la probabilità di h-1 arrivi nelle altre $M \cdot N - 1$ fibre di ingresso;

Espressione di P_b

- P_b valutata considerando una singola lunghezza d'onda "k" nella fibra di uscita "j";
- Fino a N arrivi sulla lunghezza d'onda "k" e diretti alla fibra di uscita "j";
- Blocco sulla lunghezza d'onda "k" quando si hanno $h > 1$ arrivi e il pacchetto non è quello spedito senza conversione;

$$P_b = \sum_{h=2}^N \left(1 - \frac{1}{h}\right) \binom{N - 1}{h - 1} \left(\frac{p}{N}\right)^{h-1} \left(1 - \frac{p}{N}\right)^{N-h}$$

- Probabilità di h arrivi è valutata come probabilità di h-1 arrivi sulle altre N-1 lunghezze d'onda "k" nelle altre fibre di ingresso;

Traffico al banco di TWC

- E' necessario valutare il traffico offerto al banco di TWC da ogni lunghezza d'onda di uscita;
 - Probabilità che un pacchetto sia inviato al banco di TWC: $P_b \cdot \left(1 - \frac{P_u}{P_b}\right)$
 - Carico per lunghezza d'onda: p ;
- Traffico al banco di TWC: $A_{wc} = p \cdot P_b \cdot \left(1 - \frac{P_u}{P_b}\right)$

Espressione di P_{bwc}

- Assumendo arrivi indipendenti di tipo Bernoulli in ingresso al banco di TWC (solo una ipotesi, in realtà arrivi dipendenti), si hanno fino a MN possibili arrivi, ognuno con probabilità A_{wc} ;
- Ci sono $R \leq MN$ TWC nel banco;
- Perdita quando si hanno $h > R$ arrivi e il pacchetto non è scelto per la conversione;

$$P_{bwc} = \sum_{h=R+1}^{N \cdot M} \left(1 - \frac{R}{h}\right) \binom{N \cdot M - 1}{h - 1} (A_{wc})^{h-1} (1 - A_{wc})^{N \cdot M - h}$$

- Probabilità di h arrivi valutata come la probabilità di $h-1$ arrivi dalle altre $MN - 1$ lunghezze d'onda di uscita;

Probabilità di perdita: casi speciali

- Full wavelength conversion ($R=MN$):

- No perdita al banco di convertitori;

$$P_{bwc}=0 \Rightarrow P_{loss}=P_u;$$

- No wavelength conversion ($R=0$):

- Pacchetti che richiedono conversione sono persi;

$$P_{bwc}=1 \Rightarrow P_{loss}=P_u+P_b(1-P_u/P_b) \quad P_{bwc}=P_b;$$

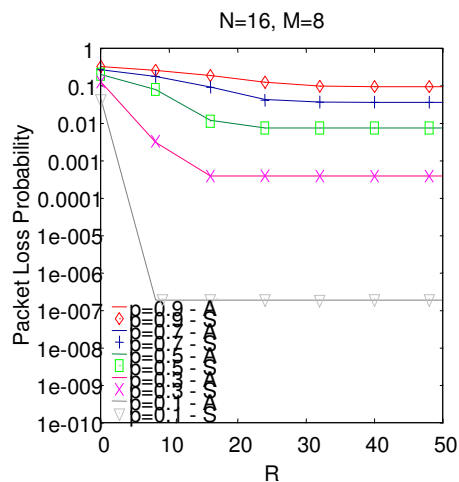
Probabilità di perdita: risultati

- Simulation set-up:

- $N=16, M=8$;

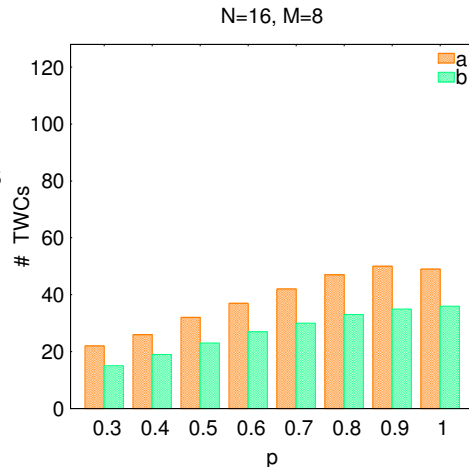
- Probabilità di perdita in funzione del numero di TWCs variando il carico per lunghezza d'onda p ;

- Perdita è molto elevata a causa della mancanza di buffer;

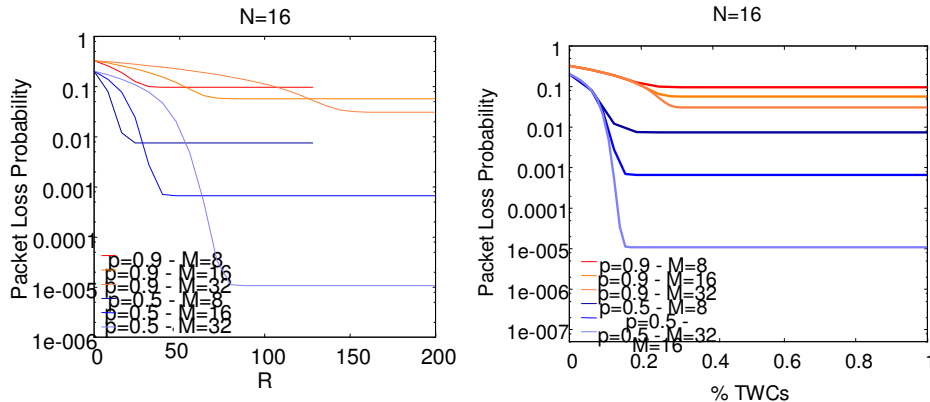


Risparmio di TWCs

- Simulation set-up:
 - $N=16, M=8$;
- Numero minimo di TWCs necessari per ottenere le stesse prestazioni del caso full conversion (a) per un incremento della perdita minore dell' 1% (b);



Probabilità di perdita: risultati



- Set-up: $N=16, M=8-16-32$;
- Probabilità di perdita in funzione del numero di TWCs variando il numero di lunghezze d'onda per fibra e il carico;
- Se il numero di lunghezze d'onda cresce, la perdita cala;