Simulatore di rete NS2

Roberto Petroccia
petroccia@di.uniroma1.it

Versione base delle slide fornite da: Prof.ssa Gaia Maselli

Riferimenti

- Architettura e utilizzo del Network Simulator NS2
  - http://www.isi.edu/nsnam/ns/
- Tutorials:
  - Marc Greis's tutorial
    http://www.isi.edu/nsnam/ns/tutorial/index.html
  - "NS for Beginners" di Altma e Jimenez
  - Ns Manual
  - "NS by Example" di J. Chung e M.Claypool
    http://nile.wpi.edu/

Installazione

http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-build.html

- All-in-one (Consigliata) Piattaforme supportate: Unix, Unix-like, Windows
- Ultima versione (17 Giugno, 2009)
  http://sourceforge.net/projects/nsnam/files/allinone/ns-allinone-2.34/
  Comprende diverse componenti:
  - *Tcl release 8.4.18 (necessaria)*
  - *Tk release 8.4.18 (necessaria)*
  - *Otcl release 1.13 (necessaria)*
  - *TclCL release 1.19 (necessaria)*
  - *Ns release 2.34 (necessaria)*
  - *Nam release 1.13 (opzionale)*
  - *Xgraph version 12 (opzionale)*
  - *Cweb version 3.4g (opzionale)*
  - *SGB version 1.0(?) (opzionale)*
  - *Gt-itm e sgb2ns 1.1 (opzionale)*
  - *Zlib version 1.2.3 (opzionale, necessaria se si usa Nam)*

- *Oppure...*
  Installazione e configurazione separata dei singoli componenti

Outline

- Architettura del Network Simulator NS2
- Utilizzo di NS2
- Esempi di utilizzo del simulatore (protocolli UDP e TCP)

Network Simulator NS2

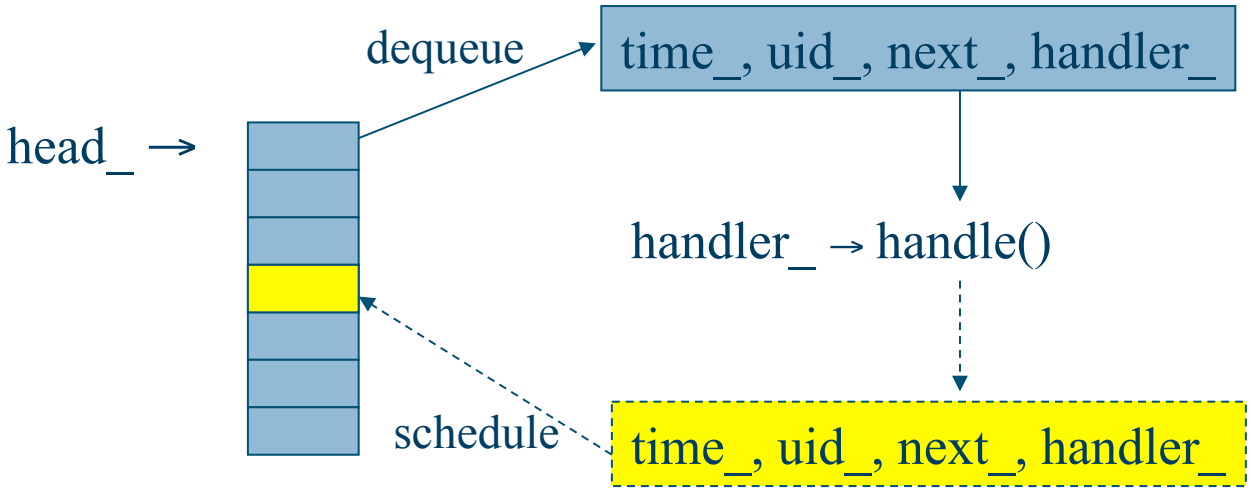
- Simulatore ad eventi discreti (sviluppato all'UC Berkley)
- Simulazione a livello di pacchetto
- Modellazione dal livello DataLink a livello Applicazione
  - Protocolli livello MAC
  - Algoritmi di routing: Dijkstra,etc...
  - Meccanismi di gestione delle code dei router: DropTail, Random Early Detection/Drop(RED) e(Class-Based Queueing) CBQ Protocolli di rete: TCP, UPD (over IP e IPv6)
  - Sorgenti di traffico: FTP, Telnet, Web, CBR e VBR
- Codice sorgente di **pubblico dominio (open source)**
- In continua evoluzione, aggiornato e modificato da ricercatori e studenti di tutto il mondo
- Sito ufficiale: http://www.isi.edu/nsnam/ns/

Network Simulator NS2

- Approccio **modulare**
- Implementato in ***tcl*** (Tool Command Language) e ***C++***
- Il linguaggio di scripting *tcl* è usato per eseguire i comandi dell'utente, ovvero per descrivere lo scenario simulativo
  - Configurare topologia, nodi, canale, e schedulare gli eventi
- Il linguaggio C++ è usato per implementare il simulatore
  - Implementazione dei protocolli di rete (mac, network, transport, application)

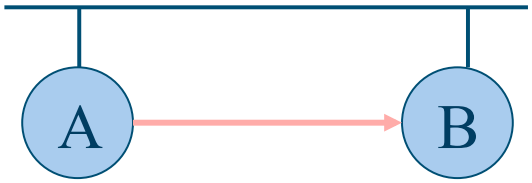
Implementazione di NS2

- Simulatore di rete
  - a eventi discreti (le variabili di stato assumono valori discreti)
  - con modello del tempo continuo (le variabili di stato sono sempre definite)
  - avanzamento del tempo event-driven
- Modellazione ad eventi
  - Lo scheduler
    - Mantiene la lista di eventi che devono essere eseguiti
    - Estrae il primo evento dalla coda e lo esegue invocando l'handler associato
    - Ogni evento è eseguito in un istante di tempo (simulato) virtuale, ma impiega una durata arbitaria di tempo reale
- NS usa un singolo thread di controllo



Esempio

Consideriamo due nodi A e B, con A che spedisce un pacchetto a B



modello CSMA/CD

t=1.0:
- A invia il pacchetto alla NIC
- NIC di A inizia il carrier sense

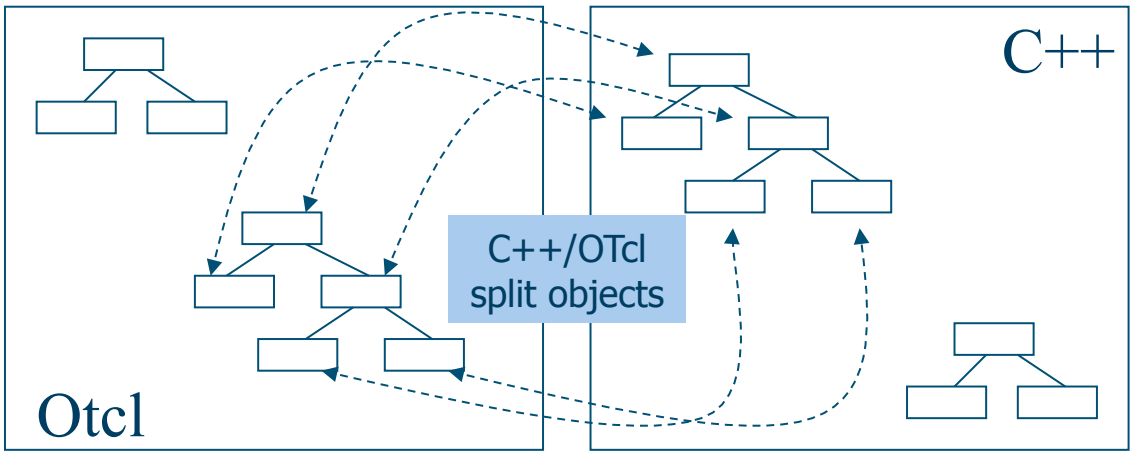
t=1.005:
- NIC di A conclude il cs, e inizia la trasmissione

t=1.006:
- NIC di B inizia a ricevere il pacchetto

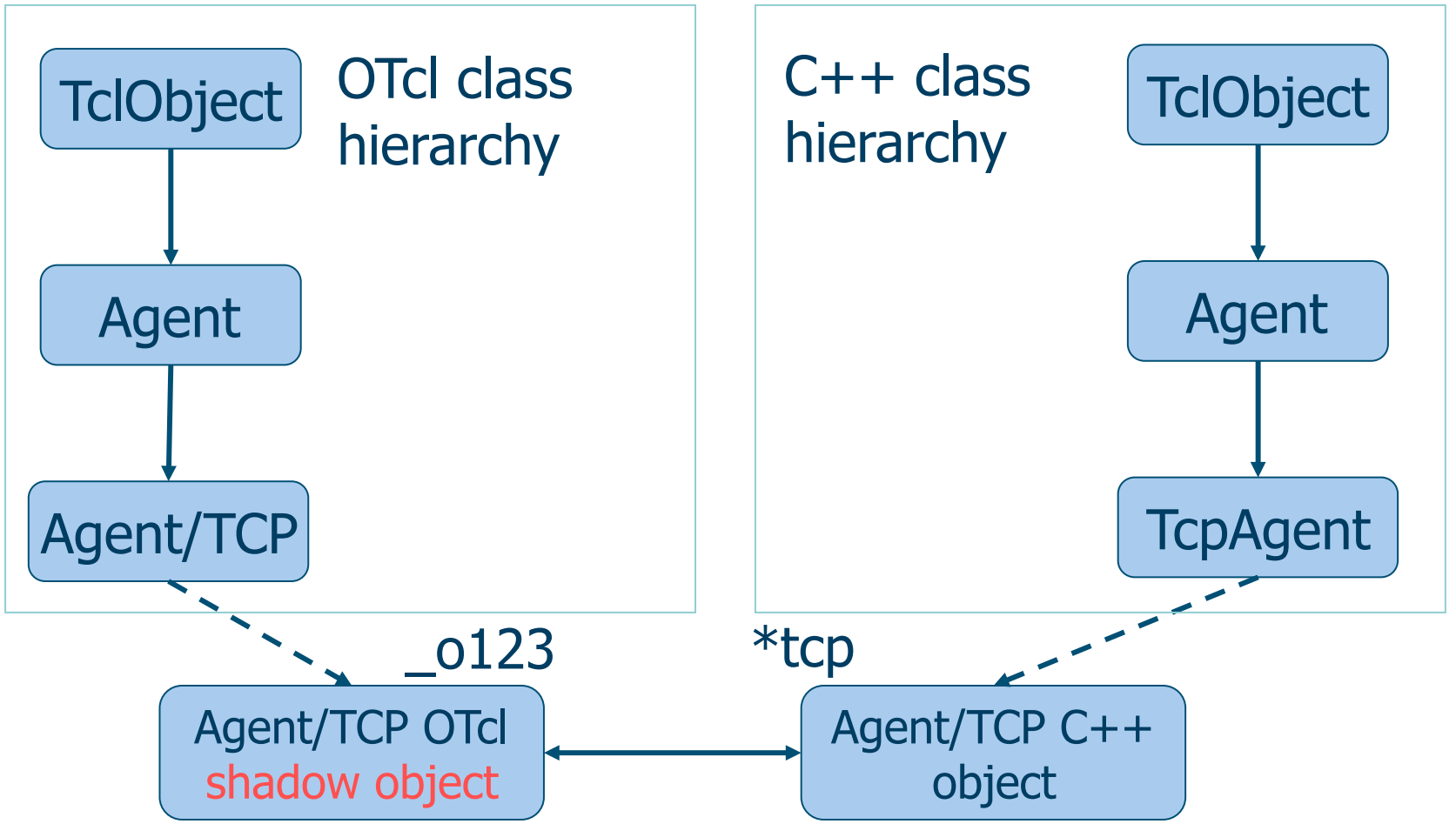
t=1.01:
- NIC di B conclude ricezione
- NIC di B passa il pacchetto all'applicazione

NS2: struttura orientata agli oggetti

- Il simulatore supporta una gerarchia di classi in C++ (*gerarchia compilata*), e una simile gerarchia di classi all'interno dell'interprete OTcl (*gerarchia interpretata*).
- Le due gerarchie sono strettamente legate l'una con l'altra; c'è una corrispondenza one-to-one tra una classe nella gerarchia interpretata e una nella gerarchia compilata.



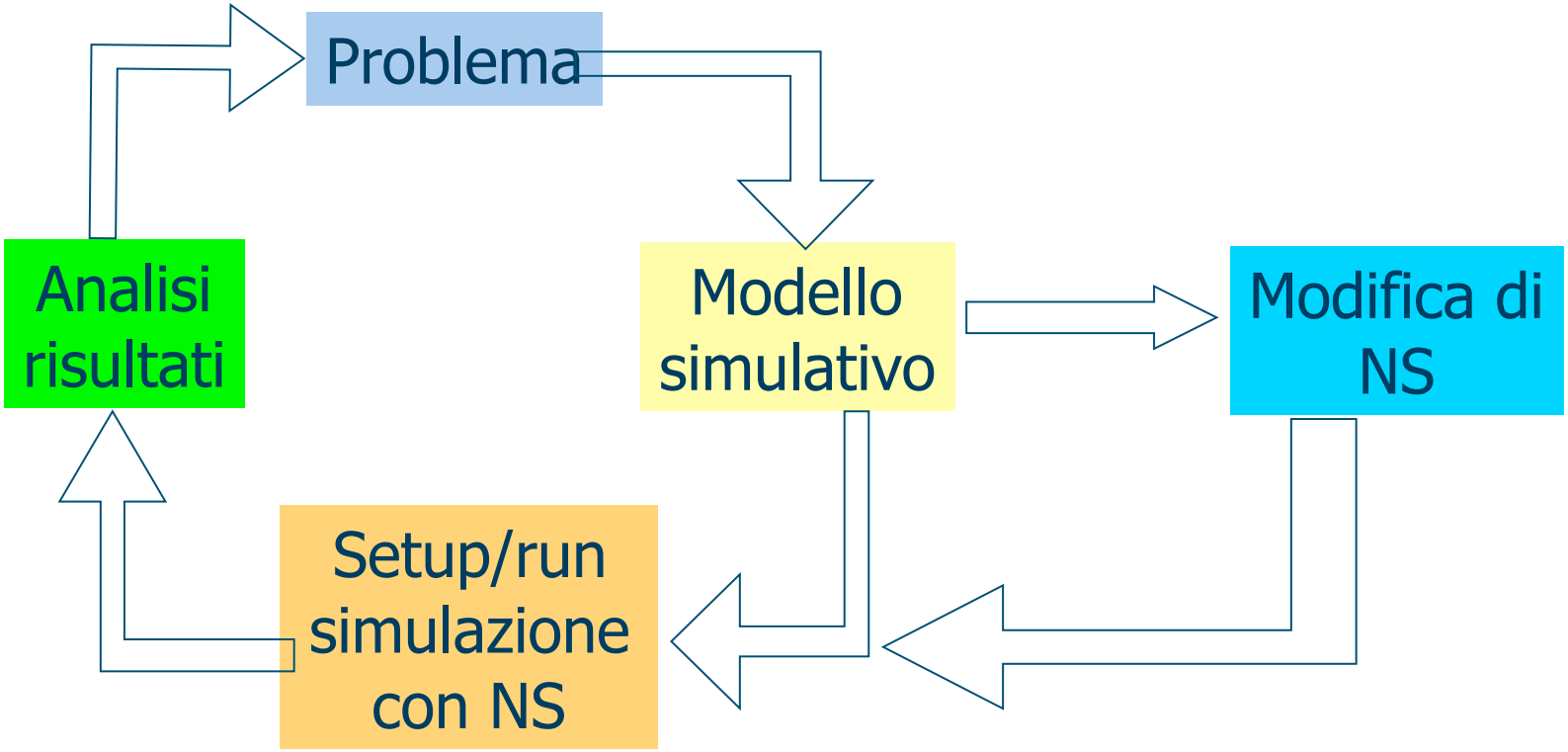
Esempio: split object



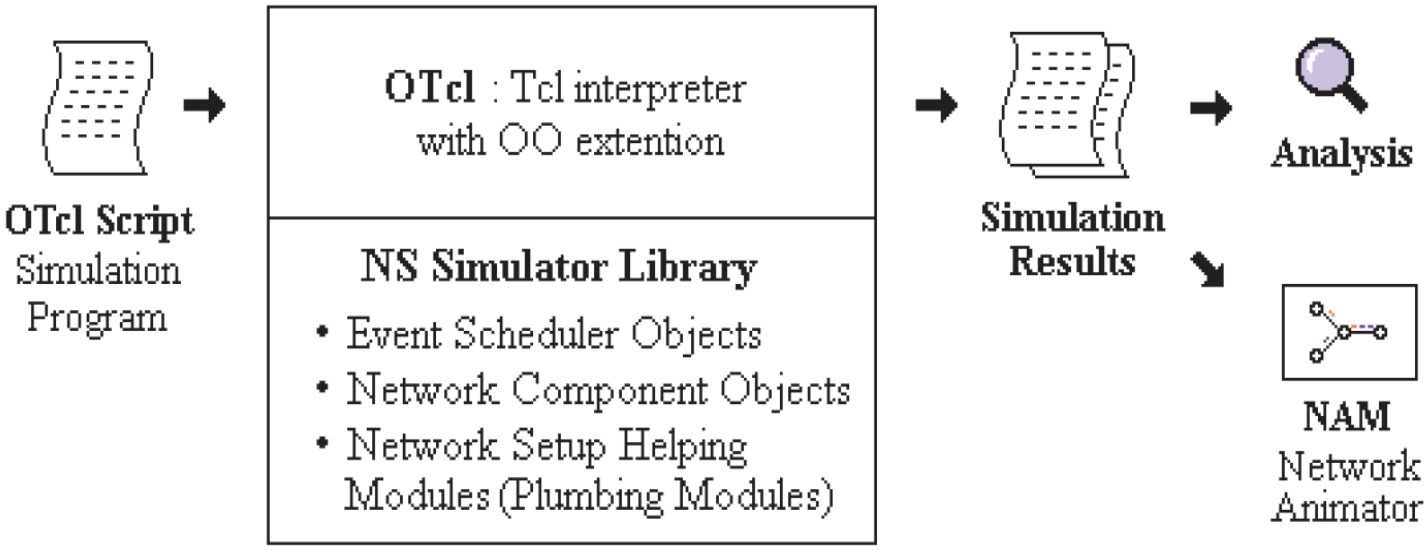
Outline

- Architettura del Network Simulator NS2
- Utilizzo di NS2
- Esempi di utilizzo del simulatore (protocolli UDP e TCP)

Usare NS2: fasi



Architettura di NS2



- Dove operare:
  - Tcl: script per costruire il modello di rete che si vuole simulare
  - C++: per implementare nuovi protocolli è necessario creare o modificare classi C++
- Due tipi di output
  - out.tr -> trace file per successiva elaborazione
  - out.nam -> file per visualizzazione grafica

Passi per eseguire la simulazione

1. Descrivere lo scenario simulativo in uno script tcl
   - Gestione del simulatore (inizializzazione e terminazione)
   - Definizione topologia (nodi, link)
   - Definizione degli agenti (TCP, UDP)
   - Definizione delle applicazioni (FTP, CBR)
   - Schedulazione degli eventi
   - Generazione file di trace
2. Eseguire la simulazione
   - NS interpreta lo script Otcl
3. Visualizzare e analizzare i risultati
   - Visualizzazione tramite "nam"
   - Analisi dei risultati (file di trace)

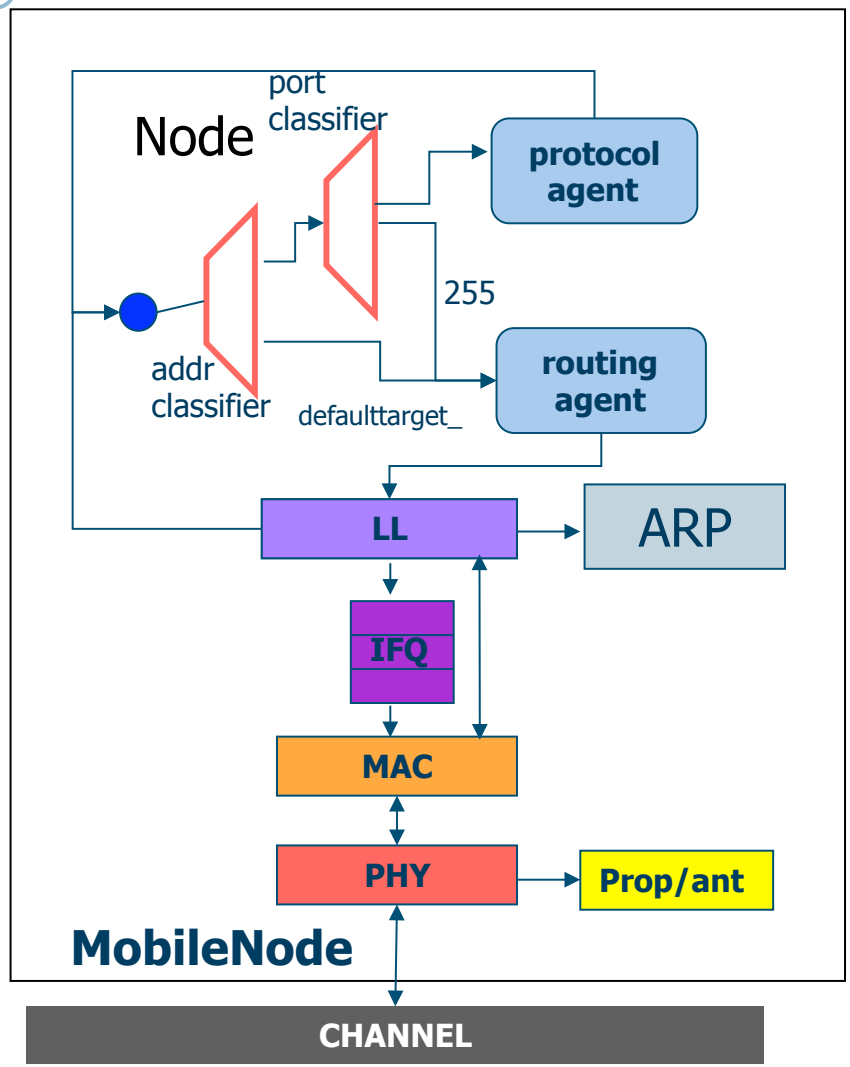
Descrivere lo scenario: TCL basics

`set b 0`	b=0
`set x $a`	x=a
`set x [expr $a+$b]`	x=a+b
`# comment`	Commento
`set file1 [open filename w]`	Crea il file "file1"
`puts`	Stampa output
`exec`	Esegue un comando Unix

`if {expression} {`
`  <execute some commands>`
`  } else {`
`  <execute some commands>`
`  }`
	Struttura comando if

`for {set i 0} {$i < 5} {incr i} {`
`  <execute some commands>`
`}`
	Ciclo for

Struttura di un nodo



Classifier: Forwarding

Agent: Protocol Entity

Node Entry

LL

LL: Link layer object

IFQ

IFQ: Interface queue

MAC

MAC: Mac object

PHY

PHY: Net interface

Prop/ant

Radio propagation/ antenna models

Configurazione e inizializzazione di una rete wireless

```
#-------------------------------------------------------------------------------
#                    --- Parametri del sistema di trasmissione ---
#-------------------------------------------------------------------------------
set val(chan)           Channel/WirelessChannel                 ;# Tipo di canale\\
set val(prop)           Propagation/TwoRayGround                ;# Mod. di propagazione\\
set val(netif)          Phy/WirelessPhy                         ;# Tipo di interfaccia\\
set val(mac)            Mac/802_11                              ;# Tipo di MAC \\
set val(ifq)            Queue/DropTail/PriQueue                 ;# Tipologia di coda \\
set val(ll)             LL                                      ;# Link Layer\\
set val(ant)            Antenna/OmniAntenna                     ;# Modello di antenna\\
set val(ifqlen)         50                                      ;# Num. di pacch. in IFQ\\
set val(nn)             200                                     ;# Numero di nodi\\
set val(adhocRouting)   AODV                                    ;# Protocollo di routing\\
#-------------------------------------------------------------------------------
#                    --- Configurazione dei nodi ---
#-------------------------------------------------------------------------------
$ns node-config
     -adhocRouting     $val(adhocRouting) \
     -llType           $val(ll) \
     -macType          $val(mac) \
     -ifqType          $val(ifq) \
     -ifqLen           $val(ifqlen) \
     -antType          $val(ant) \
     -propType         $val(prop) \
     -phyType          $val(netif) \
     -channel          $chan \
     -topoInstance     $topo \
     -agentTrace       OFF \
     -routerTrace      OFF \
     -macTrace         ON \
     -movementTrace    OFF
#-------------------------------------------------------------------------------
```

Definizione della topologia

- Creazione degli oggetti di base
  - Simulatore

    (creazione scheduler)

    ```
    set ns [new Simulator]
    ```

    (riferito come `$ns`)
  - Nodi

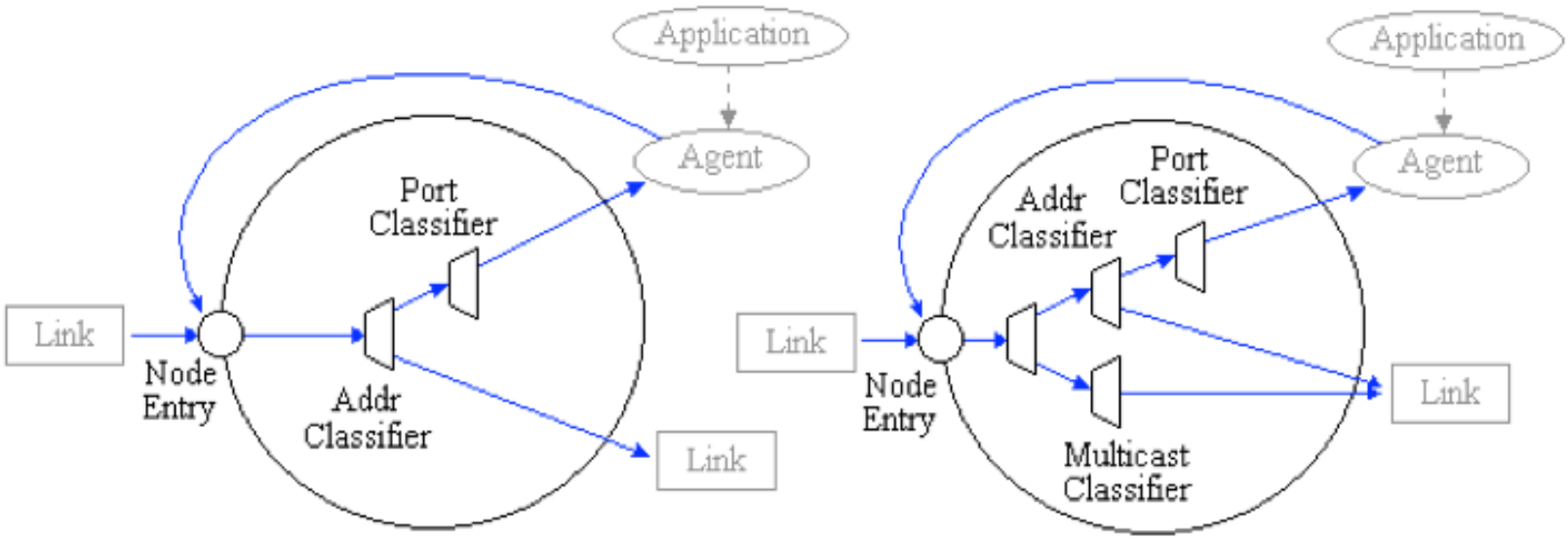
    ```
    set n0 [$ns node]
    set n1 [$ns node]
    ```

    (`node` è metodo di `Simulator`)

    (riferite come `$n0, $n1`)

  - Tipo di canale e quindi di link fa parte della definizione del nodo

Nodi e routing



Unicast Node **Multicast Node**

Unicast

- $ns rtproto type
  (type: Static, Session, Distance Vector, cost, multi-path)

Multicast

- $ns multicast (right after set $ns [new Scheduler])
- $ns mrtproto type
  (type: CtrMcast, DM, ST, BST)

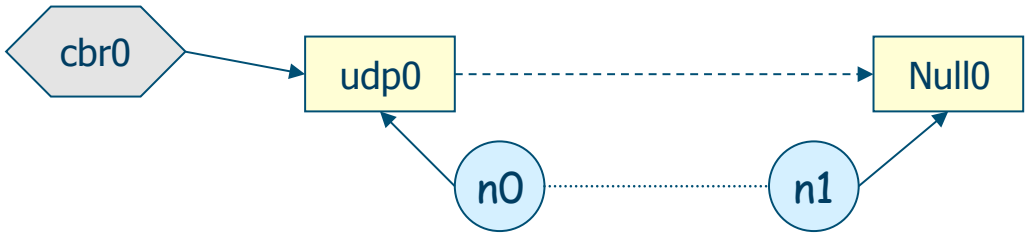
Definizione di agenti e applicazioni

- Agenti (entità che rappresentano il livello di trasporto)

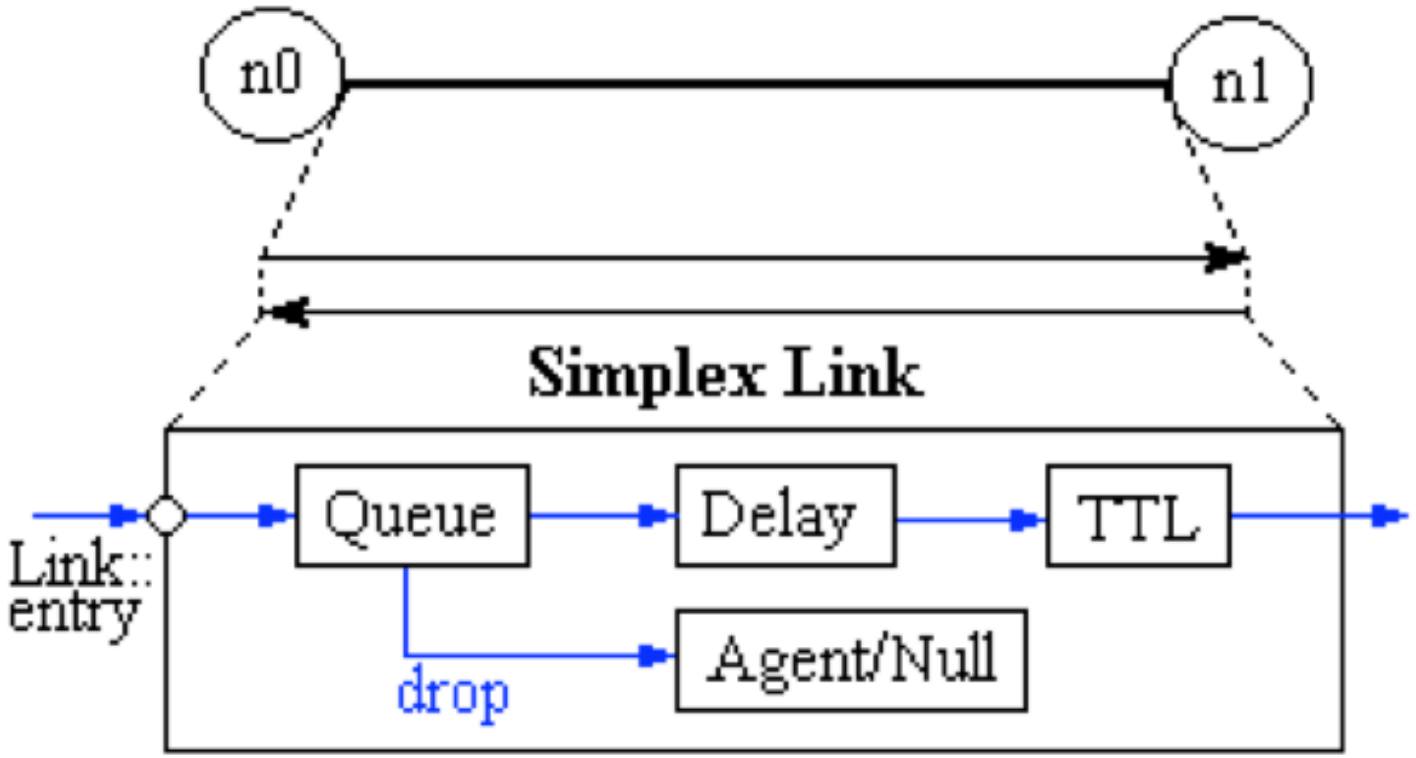
```
set udp0 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $n0 $udp0
set Null0 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $n1 $Null0
$ns connect $udp0 $Null0
```

- Applicazioni (entità che generano il traffico)

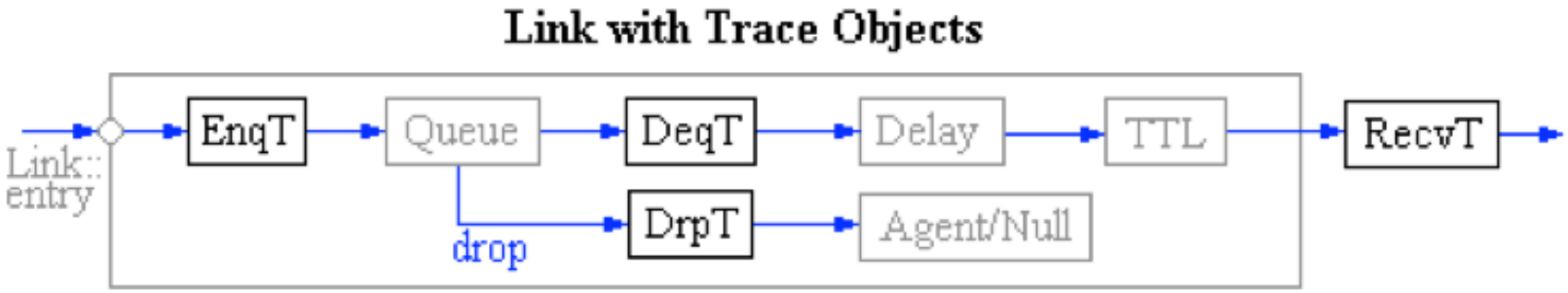
```
set cbr0 [new Application/Traffic/CBR]
$cbr0 attach-agent $udp0
```



Link


n0
n1
Simplex Link
Queue
Delay
TTL
Link::
entry
drop
Agent/Null

Link



- $ns trace-all file or
- $ns namtrace-all file
- $ns create-trace {type file src dst}

Schedulazione degli eventi

- Lo scenario simulativo definito (topologia, agenti, e applicazioni) deve essere "animato"
- Stabilire *quando* eseguire gli eventi
- La maggior parte degli eventi sono nascosti all'utente, poiché generati da altri eventi
- Gli eventi vengono schedulati usando il comando

```
$ns at <time> <event>
```

- Lo scheduler viene avviato tramite il comando

```
$ns run
```

Esempio di schedulazione degli eventi

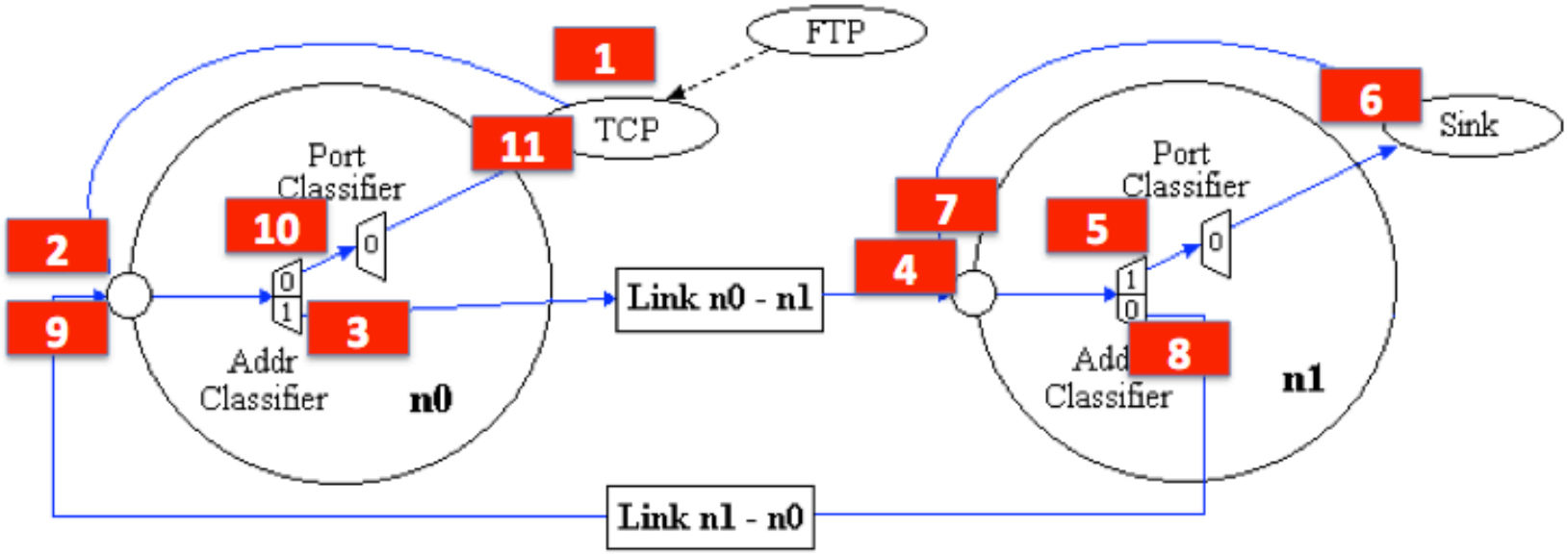
- Schedulazione dell'avvio e terminazione di una applicazione CBR

```
$ns at 0.5 "$cbr0 start"
$ns at 5.5 "$cbr0 stop"
```

- Schedulazione di una procedura "finish" definita dall'utente

```
$ns at 150.0 "finish"
```

Packet flow


FTP
1
TCP
11
Port
Classifier
10
0
0
1
2
9
3
Addr
Classifier
n0
Link n0 - n1
7
4
Port
Classifier
5
0
1
0
6
Sink
8
n1
Link n1 - n0

Generazione file di trace

```
#Open the Trace file
Set tracefile1 [open out.tr w]
$ns trace-all $tracefile1
```

Pointers to the trace files

Trace files

```
#Open the NAM trace file
Set namfile [open out.nam w]
$ns namtrace-all $namfile
```

`trace-all` e `namtrace-all` sono metodi della classe Simulator, per tracciare tutti gli eventi

Eseguire la simulazione

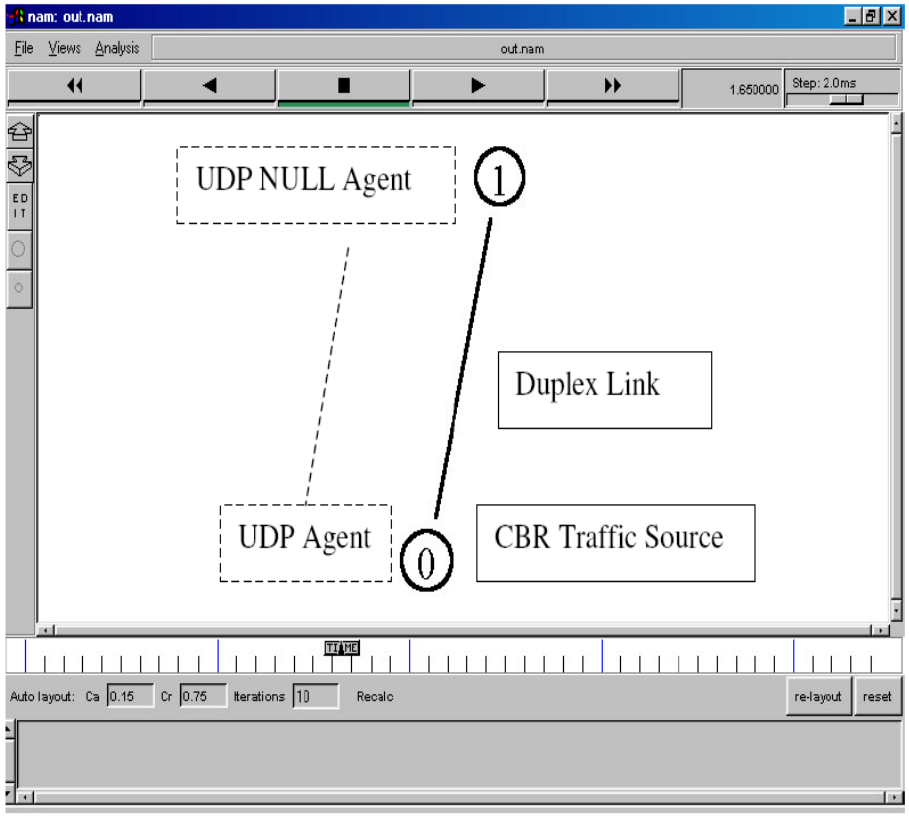
L'esecuzione della simulazione avviene facendo interpretare lo script Otcl a NS

```
ns mio_script.tcl
```

Visualizzare i risultati: NAM

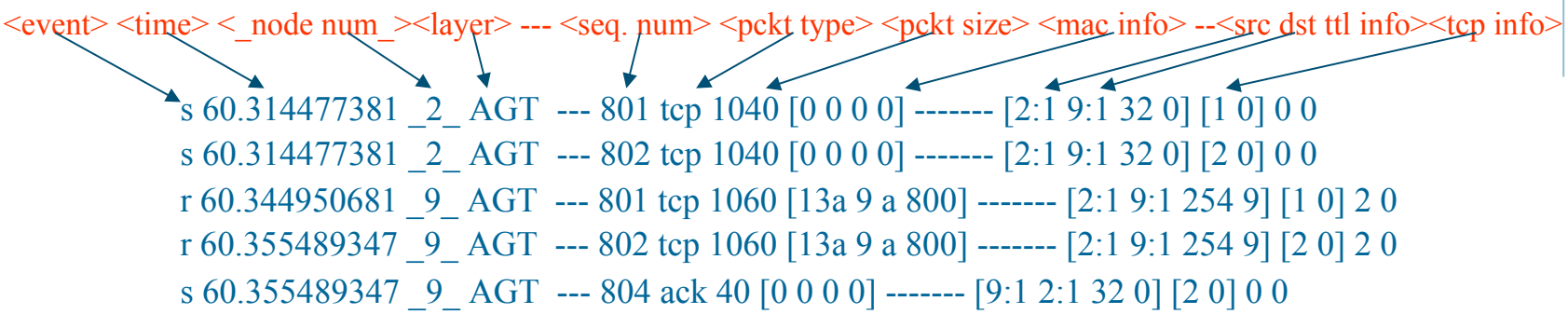
Animazione

- NS genera un file di trace (<nomefile>.nam) che permette di visualizzare un'animazione della simulazione mediante lo strumento NAM (Network Animator Module)



Analizzare i risultati

- NS produce file di trace contente righe con il seguente formato:



- Utilizzo
  - **grep**: il comando unix `grep` permette di filtrare un file, creandone uno nuovo che contiene solo le righe contenenti una particolare sequenza di caratteri

    ES. **`grep "_2_" trace1.tr > trace2.tr`**

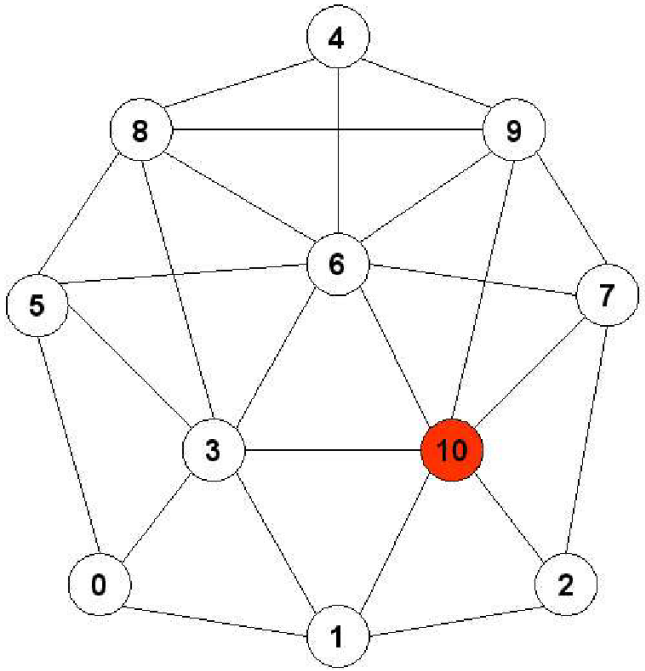
    produce un file contenente:

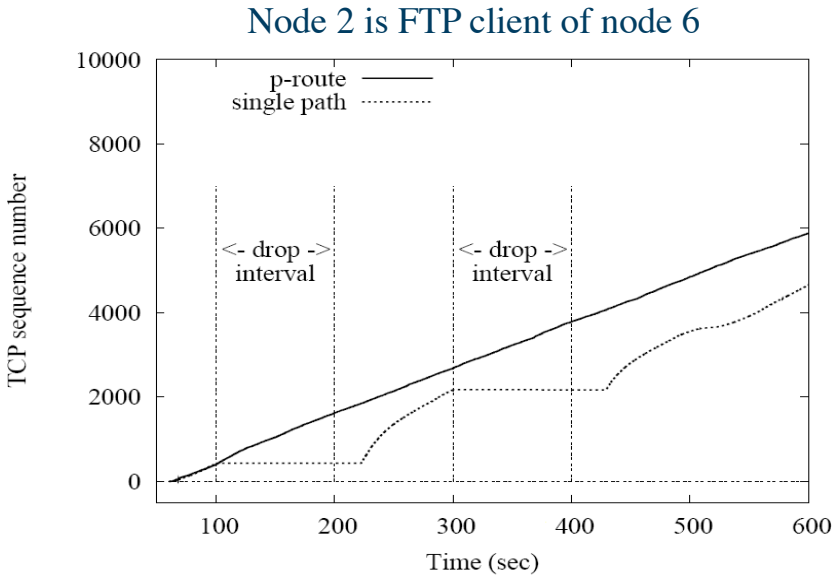
    s 60.314477381 _2_ AGT --- 801 tcp 1040 [0 0 0 0] ------- [2:1 9:1 32 0] [1 0] 0 0

    s 60.314477381 _2_ AGT --- 802 tcp 1040 [0 0 0 0] ------- [2:1 9:1 32 0] [2 0] 0 0
  - **perl**: linguaggio di scripting che permette una facile ricerca e estrazione dei dati dai file di trace

Rappresentare i risultati

- Una volta filtrati i file di trace è possibile costruire dei grafici con degli strumenti di plotting
  - gnuplot
  - xgraph
- Esempio





Outline

- Architettura del Network Simulator NS2
- Utilizzo di NS2
- Esempi di utilizzo del simulatore (protocolli UDP e TCP)

Esempio1.

Creazione di due nodi.

```
#Create a simulator object
set ns [new Simulator]
#Open the nam trace file
set nf [open out.nam w]
$ns namtrace-all $nf
#Define a 'finish' procedure
proc finish {} {
    global ns nf
    $ns flush-trace
    #Close the trace file
    close $nf
    #Execute nam on the trace file
    exec nam -a out.nam &
    exit 0
}
```

```
#Create two nodes
set n0 [$ns node]
set n1 [$ns node]
#Create a duplex link between the nodes
$ns duplex-link $n0 $n1 1Mb 10ms
DropTail
#Call the finish procedure after 5 seconds
of simulation time
$ns at 5.0 "finish"
#Run the simulation
$ns run
```

Esempio2.

Creazione traffico CBR su link UDP

```
#Create a UDP agent and attach it to node n0
set udp0 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $n0 $udp0

# Create a CBR traffic source and attach it to udp0
set cbr0 [new Application/Traffic/CBR]
$cbr0 set packetSize_ 500
$cbr0 set interval_ 0.005
$cbr0 attach-agent $udp0

#Create a Null agent (a traffic sink) and attach it to node n1
set null0 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $n1 $null0

#Connect the traffic source with the traffic sink
$ns connect $udp0 $null0

#Schedule events for the CBR agent
$ns at 0.5 "$cbr0 start"
$ns at 4.5 "$cbr0 stop"

#Call the finish procedure after 5 seconds of simulation time
$ns at 5.0 "finish"
#Run the simulation
$ns run
```

Esempio3.

Creazione traffico FTP su link TCP

```
#Create a TCP agent and attach
it to node n0
set tcp [new Agent/TCP]
$tcp set class_ 2
$ns attach-agent $n0 $tcp

set sink [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $n1 $sink
$ns connect $tcp $sink
$tcp set fid_ 1

#Setup a FTP over TCP
connection
set ftp [new Application/FTP]
$ftp attach-agent $tcp
$ftp set type_ FTP
```

```
#Schedule events for the CBR agent
$ns at 0.5 "$ftp start"
$ns at 4.5 "$ftp stop"

#Call the finish procedure after 5
seconds of simulation time
$ns at 5.0 "finish"
#Run the simulation
$ns run
```

Esempio4. 1/2

4 nodi con link UDP

```
#Create a simulator object
set ns [new Simulator]
#Define different colors for data flows
$ns color 1 Blue
$ns color 2 Red
#Open the nam trace file
set nf [open out.nam w]
$ns namtrace-all $nf
#Define a 'finish' procedure
proc finish {} {
        global ns nf
        $ns flush-trace
        #Close the trace file
        close $nf
        #Execute nam on the trace file
        exec nam -a out.nam &
        exit 0
}
#Create four nodes
set n0 [$ns node]
set n1 [$ns node]
set n2 [$ns node]
set n3 [$ns node]

#Create links between the nodes
$ns duplex-link $n0 $n2 1Mb 10ms DropTail
$ns duplex-link $n1 $n2 1Mb 10ms DropTail
$ns duplex-link $n3 $n2 1Mb 10ms DropTail
$ns duplex-link-op $n0 $n2 orient right-down
$ns duplex-link-op $n1 $n2 orient right-up
$ns duplex-link-op $n2 $n3 orient right

#Monitor the queue for the link between node 2 and node 3
$ns queue-limit $n2 $n3 10
$ns duplex-link-op $n2 $n3 queuePos 0.5
#Create a UDP agent and attach it to node n0
set udp0 [new Agent/UDP]
$udp0 set class_ 1
$ns attach-agent $n0 $udp0
```

Esempio4. 2/2

4 nodi con link UDP

```
# Create a CBR traffic source and attach it to udp0
set cbr0 [new Application/Traffic/CBR]
$cbr0 set packetSize_ 500
$cbr0 set interval_ 0.005
$cbr0 attach-agent $udp0

#Create a UDP agent and attach it to node n1
set udp1 [new Agent/UDP]
$udp1 set class_ 2
$ns attach-agent $n1 $udp1
# Create a CBR traffic source and attach it to udp1
set cbr1 [new Application/Traffic/CBR]
$cbr1 set packetSize_ 500
$cbr1 set interval_ 0.005
$cbr1 attach-agent $udp1
```

```
#Create a Null agent (a traffic sink) and attach it to node n3
set null0 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $n3 $null0
#Connect the traffic sources with the traffic sink
$ns connect $udp0 $null0
$ns connect $udp1 $null0
#Schedule events for the CBR agents
$ns at 0.5 "$cbr0 start"
$ns at 1.0 "$cbr1 start"
$ns at 4.0 "$cbr1 stop"
$ns at 4.5 "$cbr0 stop"
#Call the finish procedure after 5 seconds of simulation time
$ns at 5.0 "finish"
#Run the simulation
$ns run
```

Esempio5.

4 nodi con link TCP e UDP

```
#Setup a TCP connection
set tcp [new Agent/TCP]
$tcp set class_ 2
$ns attach-agent $n0 $tcp
set sink [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $n3 $sink
$ns connect $tcp $sink
$tcp set fid_ 1

#Setup a FTP over TCP connection
set ftp [new Application/FTP]
$ftp attach-agent $tcp
$ftp set type_ FTP
#Setup a UDP connection
set udp [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $n1 $udp
set null [new Agent/Null]
$ns attach-agent $n3 $null
$ns connect $udp $null
$udp set fid_ 2

#Setup a CBR over UDP connection
set cbr [new Application/Traffic/CBR]
$cbr attach-agent $udp
$cbr set type_ CBR
$cbr set packet_size_ 1000
$cbr set rate_ 1mb
$cbr set random_ false
#Schedule events for the CBR and FTP agents
$ns at 0.1 "$cbr start"
$ns at 1.0 "$ftp start"
$ns at 4.0 "$ftp stop"
$ns at 4.5 "$cbr stop”
#Detach tcp and sink agents (not really necessary)
$ns at 4.5 "$ns detach-agent $n0 $tcp ; $ns detach-agent $n3 $sink”
#Call the finish procedure after 5 seconds of simulation time
$ns at 5.0 "finish”

#Run the simulation
$ns run
```

Esempio6. 1/2

Più nodi con algoritmo di routing e guasto su link

```
#Create a simulator object
set ns [new Simulator]
#Tell the simulator to use dynamic routing
$ns rtproto DV
#Open the nam trace file
set nf [open out.nam w]
$ns namtrace-all $nf
#Define a 'finish' procedure
proc finish {} {
        global ns nf
        $ns flush-trace
        #Close the trace file
        close $nf
        #Execute nam on the trace file
        exec nam -a out.nam &
        exit 0
}
#Create seven nodes
for {set i 0} {$i < 7} {incr i} {
        set n($i) [$ns node]
}
```

```
#Create links between the nodes
for {set i 0} {$i < 7} {incr i} {
        $ns duplex-link $n($i) $n([expr ($i
+1)%7]) 1Mb 10ms DropTail
}
$ns duplex-link-op $n(0) $n(1) orient right-right-
down
$ns duplex-link-op $n(1) $n(2) orient down
$ns duplex-link-op $n(2) $n(3) orient down
$ns duplex-link-op $n(3) $n(4) orient left
$ns duplex-link-op $n(4) $n(5) orient left-up
$ns duplex-link-op $n(5) $n(6) orient up
$ns duplex-link-op $n(6) $n(0) orient right-right-up

#Create a UDP agent and attach it to node n(0)
set udp0 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $n(0) $udp0
# Create a CBR traffic source and attach it to udp0
set cbr0 [new Application/Traffic/CBR]
```

Esempio6. 2/2

Più nodi con guasto su link

```
$cbr0 set packetSize_ 500
$cbr0 set interval_ 0.005
$cbr0 attach-agent $udp0
#Create a Null agent (a traffic sink) and attach it to node n(3)
set null0 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $n(3) $null0
#Connect the traffic source with the traffic sink
$ns connect $udp0 $null0
#Schedule events for the CBR agent and the network dynamics
$ns at 0.5 "$cbr0 start"
$ns rtmodel-at 1.0 down $n(1) $n(2)
$ns rtmodel-at 2.0 up $n(1) $n(2)
$ns at 4.5 "$cbr0 stop"
#Call the finish procedure after 5 seconds of simulation time
$ns at 5.0 "finish"
#Run the simulation
$ns run
```

Esempio7.

Utilizzo di xgraph

```
#Create a simulator object
set ns [new Simulator]
#Open the output files
set f0 [open out0.tr w]
set f1 [open out1.tr w]
set f2 [open out2.tr w]
#Create 5 nodes
set n0 [$ns node]
set n1 [$ns node]
set n2 [$ns node]
set n3 [$ns node]
set n4 [$ns node]
#Connect the nodes
$ns duplex-link $n0 $n3 1Mb 100ms DropTail
$ns duplex-link $n1 $n3 1Mb 100ms DropTail
$ns duplex-link $n2 $n3 1Mb 100ms DropTail
$ns duplex-link $n3 $n4 1Mb 100ms DropTail
.....
.....
```

```
#Define a 'finish' procedure
proc finish {} {
        global f0 f1 f2
        #Close the output files
        close $f0
        close $f1
        close $f2
        #Call xgraph to display the results
        exec xgraph out0.tr out1.tr out2.tr
-geometry 800x400 &
        exit 0
}
```

Esempi

- Script con diverse tecniche di congestion control (Tahoe, New Reno, Vegas)

Domande?