Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Corso di Reti di Calcolatori
(a.a. 2010/11)

Roberto Canonico (roberto.canonico@unina.it)
Giorgio Ventre (giorgio.ventre@unina.it)

Il simulatore di reti ns2

15 dicembre 2010

I lucidi presentati al corso sono uno strumento didattico
che NON sostituisce i testi indicati nel programma del corso

Nota di copyright per le slide COMICS

Nota di Copyright

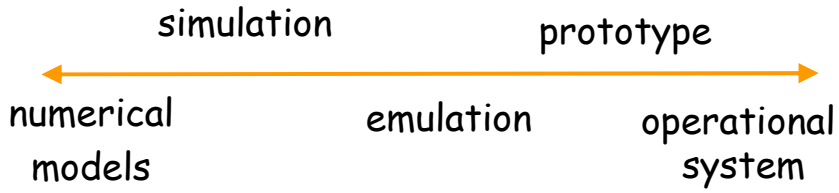
Simulazione di reti di calcolatori

Per valutare protocolli di comunicazione ed algoritmi distribuiti in reti di calcolatori sono possibili varie alternative:

1) Setup sperimentali su piccola scala (in laboratorio)
2) Testbed sperimentali su media scala (*wide area*), PlanetLab
3) Sistemi di network emulation
4) Ambienti di simulazione generali per reti di calcolatori
   - ns-2, GLOMOSIM, OPNET, NCTUns, …
5) Strumenti di simulazione sviluppati *ad hoc*
6) Modelli matematici del sistema

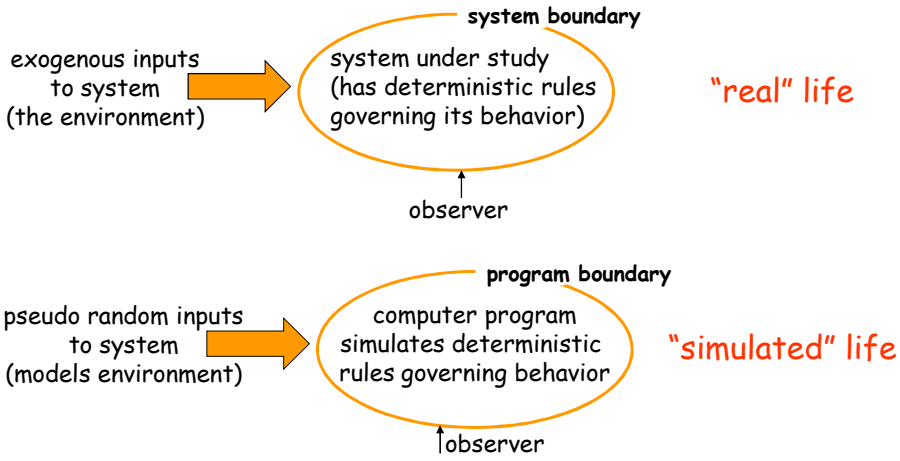
roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

The evaluation spectrum



roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

What is simulation?



roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Why Simulation?

- *goal:* study system *performance, operation*
- real-system not *available, is complex/costly or dangerous* (eg: space simulations, flight simulations)
- quickly evaluate design *alternatives* (eg: different system configurations)
- evaluate *complex functions* for which closed form formulas or numerical techniques not available

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Requisiti per un simulatore di reti

- ✓ Astrazione
- ✓ Generazione di scenari e topologie
- ✓ Programmabilità
- ✓ Estendibilità
- ✓ Disponibilità di un'ampia gamma di moduli di protocolli riutilizzabili, affidabili e validati
- ✓ Possibilità di modificare protocolli esistenti
- ✓ Visualizzazione dei risultati
- ✓ Emulazione

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Programming a simulation

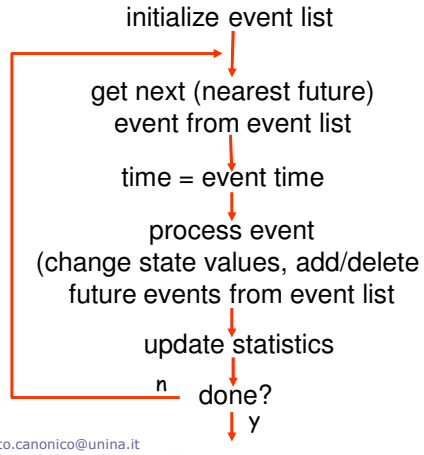
What 's in a simulation program?

- *simulated time:* internal (to simulation program) variable that keeps track of simulated time
- *system "state":* variables maintained by simulation program define system "state"
  - e.g., may track number (possibly order) of packets in queue, current value of retransmission timer
- *events:* points in time when system changes state
  - each event has associated *event time*
    - e.g., arrival of packet to queue, departure from queue
    - precisely at these points in time that simulation must take action (change state and may cause new future events)
  - model for time between events (probabilistic) caused by external environment

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Discrete Event Simulation

- simulation program maintains and updates list of future events: event list
- simulator structure:



Need:

- well defined set of events
- for each event: simulated system action, updating of event list

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Things to remember about Discrete Event Simulation

- The programming model revolves around "events" (eg: packet arrivals):
  - Events trigger particular sub-routines
    - Huge "switch" statement to classify events and call appropriate subroutine
    - The subroutine may schedule new events! (cannot schedule events for past, I.e., events are causal)
    - Rarely you might introduce new event *types*
- Events have associated with them:
  - Event type, event data structures (eg: packet)
  - Simulation time when the event is scheduled
- Key event operations: *Enqueue* (I.e. schedule a event)
  - Dequeue is handled by the simulation engine

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

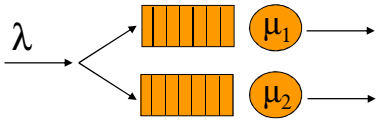
Discrete Event Simulation: Scheduler

- Purpose: maintain a notion of simulation time, schedule events. A.k.a: "simulation engine"
- Simulation time ≠ Real time
  - A simulation for 5 sec of video transmission *might* take 1 hour!
- Events are sorted by simulation time (not by type!): priority queue or heap data structure
  - After all subroutines for an event have been executed, control is transferred to the simulation engine
  - The simulation engine schedules the next event available at the same time (if any)
  - Once all the events for current time have been executed, simulation time is advanced and nearest future event is executed.
  - Simulation time = time of currently executing event

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Simulation: example

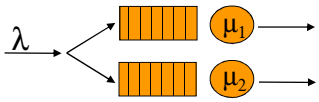
- packets arrive (avg. interrarrival time: $1/\lambda$) to router (avg. execution time $1/\mu$) with two outgoing links
- arriving packet joins link i with probability ϕ_i



- state of system: size of each queue
- system events:
  - packet arrivals
  - service time completions

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Simulation: example

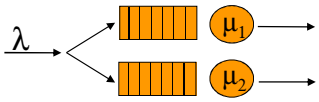


Simulator actions on *arrival* event

- choose a link
  - if link idle {place pkt in service, determine service time (random number drawn from service time distribution) add future event onto event list for pkt transfer completion, set number of pkts in queue to 1}
  - if buffer full {increment # dropped packets, ignore arrival}
  - else increment number in queue where queued
- create event for next arrival (generate interarrival time) stick event on event list

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Simulation: example



Simulator actions on *departure* event

- remove event, update simulation time, update performance statistics
- decrement counter of number of pkts in queue
- If (number of jobs in queue > 0) put next pkt into service – schedule completion event (generate service time for put)

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Un simulatore generale di reti: ns

- ✓Simulatore di reti sviluppato ad ISI/USC (University of Southern California)
- ✓Codice sorgente di pubblico dominio
- ✓http://www.isi.edu/nsnam/
- ✓Versione attuale: **ns-2** *(**ns-2.30** - September 26, 2006)*
- ✓Tipologia: **simulatore ad eventi discreti**
- ✓Il pacchetto è l'entità logica di base della simulazione
  - NON il più adatto a simulare il livello fisico

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

"ns" components

- ns, the simulator itself
- nam, the Network AniMator
  - visualize ns (or other) output
  - GUI input simple ns scenarios
- pre-processing:
  - traffic and topology generators
- post-processing:
  - simple trace analysis, often in Awk, Perl, or Tcl

- tutorial: http://www.isi.edu/nsnam/ns/tutorial/index.html
- ns by example: http://nile.wpi.edu/NS/

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Un simulatore generale di reti: ns

Adatto per simulazione di protocolli a livello:

- ✓ Data-link
  - *Schemi MAC in reti wired/wireless*
- ✓ Rete
  - *Routing, Scheduling, Multicast*
- ✓ Trasporto
  - *Congestion control*
- ✓ Applicazione
  - *Caching, Streaming*

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

ns-2: piattaforme supportate

Sistemi UNIX o UNIX-like:

- Linux
- Sistemi con supporto POSIX

Microsoft Windows

- Richiede Cygwin
- Versioni vecchie stand-alone

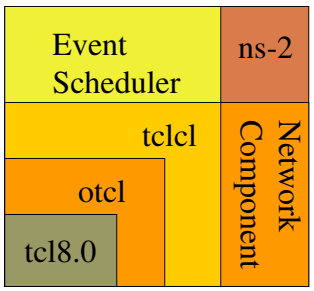
roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

ns-2: architettura software

- ✓Basato su un'architettura sw modulare
- ✓*Object-oriented* sia nella struttura interna che nella interfaccia di programmazione
- ✓Motore di simulazione ad eventi in C++
- ✓Linguaggio di simulazione interpretato: Tcl ad oggetti – OTcl
- ✓OTcl per il controllo della simulazione
- ✓C++ per gestire gli eventi legati al trattamento dei pacchetti

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

ns-2: architettura software (2)



roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Separazione C++/OTcl

- Il motore della simulazione è scritto in C++ e gestisce la coda degli eventi e le elaborazioni da eseguire per pacchetto
- Maggior parte dei protocolli implementata in OTcl
- L'utente di solito scrive codice OTcl
- Solo se si vogliono implementare politiche di trattamento dei pacchetti particolari è necessario creare o modificare classi C++

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

C++ and OTcl Separation

- "data" / control separation
  - C++ for "data":
    - per packet processing, core of *ns*
    - fast to run, detailed, complete control
  - OTcl for control:
    - Simulation scenario configurations
    - Periodic or triggered action
    - Manipulating existing C++ objects
    - fast to write and change
- \+ running vs. writing speed
- – Learning and debugging (two languages)

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

I linguaggi Tcl ed OTcl

I linguaggi Tcl ed OTcl

- Tcl (***T**ool **C**ommand **L**anguage*) è un linguaggio di scripting di tipo general-purpose
- Tcl è spesso utilizzato congiuntamente a Tk
  - Tk è un insieme di librerie e comandi che consentono di creare con facilità interfacce grafiche
- OTcl è un insieme di estensioni del linguaggio Tcl che consentono di implementare un ambiente di programmazione di tipo OO

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Tcl: variabili

Variabili:

- In Tcl le variabili non devono essere dichiarate prima di essere utilizzate
- Le variabili Tcl vengono create automaticamente all'atto della prima assegnazione:
  - `set month 2`
  - `set day 3`
  - `set year 97`
- Per referenziare le variabili Tcl è necessario utilizzare il simbolo $:
  - `set date "$month:$day:$year"`

Espressioni:

- In Tcl è possibile valutare espressioni di tipo differente (matematiche, logiche, ...) utilizzando la parola chiave expr:
  - `expr 0 == 1`
  - `expr 4 + 5`

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Tcl: Controllo di Flusso

Tcl supporta i classici costrutti per il controllo di flusso:

- **If-else:**

```
if {$temp < 21} {
  puts "It's a little chilly."
} else {
  puts "Warm enough for me."
}
```

- **If-elseif:**

```
if {$my_planet == "earth"} {
  puts "I feel right at home."
} elseif {$my_planet == "venus"} {
  puts "This is not my home."
} else {
  puts "I am neither from Earth, nor from Venus."
}
```

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Tcl: Controllo di Flusso (2)

- **switch:**

```
switch $num_legs {
  2 {puts "It could be a human."}
  4 {puts "It could be a cow."}
  6 {puts "It could be an ant."}
  8 {puts "It could be a spider."}
  default {puts "It could be anything."}
}
```

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Tcl: cicli

- **for:**

```
for {set i 0} {$i < 10} {incr i 1} {
  puts "In the for loop, and i == $i"
}
```

- **while:**

```
while {$i < 10} {
  puts "In the while loop, and i == $i"
  incr i 1
}
```

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Tcl: procedure

- In Tcl la semantica delle procedure è simile a quella del C

```
proc magnitude {num} {
  if {$num > 0} {
   return $num
  }
  set num [expr $num * (-1)]
  return $num
}
```

- Per eseguire una funzione è sufficiente scriverne il nome seguito dalla lista dei parametri:

```
set abs [magnitude -3]
```

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

OTcl: concetti di programmazione OO

- **Definizione di una Classe:**

```
class MyNode -superclass Node
```

- **Creazione di un Oggetto:**

```
set mynodevar [new MyNode]
```

- **Definizione di un metodo:**

```
MyNode instproc memberfn1 {} {
  puts "in member function 1"
}
```

- **Attributi (o dati-membro):**
  - definiti all'interno delle funzioni membro con la direttiva **instvar**:

```
MyNode instproc memberfn2 {} {
  $self instvar datamember1
  set datamember1 "data member - memberfn2"
}
```

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

OTcl: concetti di programmazione OO (2)

- **Invocazione di un metodo:**

```
$mynodevar memberfn1
```

- **Costruttore:**
  - Il costruttore in OTcl ha il nome **init**
  - Per invocare il costruttore della superclass è necessario utilizzare la parola chiave **next**

```
MyNode instproc init {} {
  $self next
  $self instvar datamember1
  set datamember1 0
}
```

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Esempi di programmazione OTcl – (1)

```
Class movie
movie instproc showInfo {} {
  $self instvar title_
  puts "Titolo del film: $title_"
}
```

- Definisce una classe OTcl *movie*
- Crea un metodo *showInfo*
- Crea un attributo *title_*

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Esempi di programmazione OTcl – (2)

```
set a [new movie]
$a set title_ "Great Expectations"
$a showInfo
```

- Crea un oggetto *a* di classe *movie*
- Assegna un valore alla variabile *title_*
- Invoca il metodo *showInfo* su *a*

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Esempi di programmazione OTcl – (3)

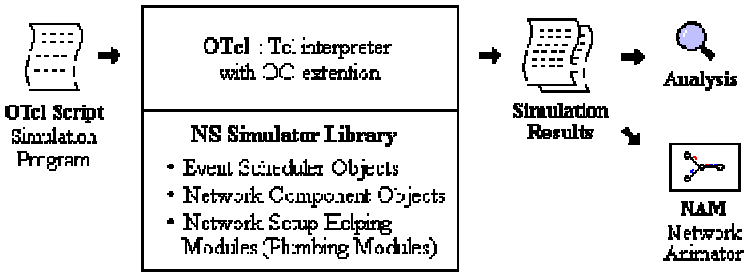
```
Class thriller –superclass movie
thriller instproc showInfo {} {
  $self next_
  puts "Genere del film: thriller"
}
set b [new thriller]
$b set title_ "Psycho"
$b showInfo
```

- Deriva la classe *thriller* da *movie*
- Ridefinisce *showInfo*

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Programmazione in ns-2

ns: come si usa



Output tipico:

- out.tr → per post-elaborazione
- out.nam → per visualizzazione con nam

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Scenario di simulazione

In generale, uno scenario di simulazione consiste di tre categorie di componenti:

- ✓ **Topologia** (*Routed Topology*)
- ✓ **Elementi attivi nei terminali**
  - Sorgenti di Traffico (*Application*)
  - Entità di protocollo di trasporto (*Agent*)
  - Connessioni tra entità di protocollo
- ✓ **Eventi esterni e guasti**

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Topologia

- ✓ Definisce il numero di nodi e le loro connessioni
- ✓ Per ciascun link è specificata la banda, il ritardo di propagazione, la disciplina di gestione della coda di trasmissione dei pacchetti, ecc.
- ✓ Sono definiti i protocolli che determinano i percorsi di instradamento dei pacchetti (*routing*)
- ✓ E' possibile usare *generatori di topologie* (es. GT-ITM) per ottenere scenari realistici

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Topology Generation

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

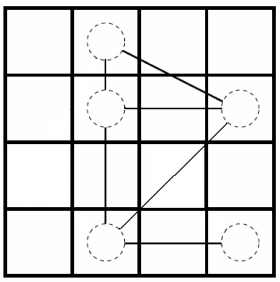
Packages	Graphs	Edge Method
NTG	n-level	probabilistic
RTG	Flat random	Waxman
GT-ITM	Flat random, n-level, Transit-stub	various
TIERS	3-level	spanning tree

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Metodi per la generazione di topologie di rete

Modelli flat

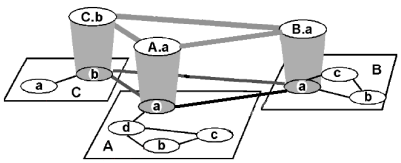
- Random $P(u,v) = \alpha$
- Waxman 1 $P(u,v) = \alpha \cdot e^{\frac{-d}{(\beta \cdot L)}}$
- Waxman2 $P(u,v) = \alpha \cdot e^{\frac{-rand(0,L)}{(\beta \cdot L)}}$
- Doar-Leslie $P(u,v) = \alpha \frac{k \cdot \varepsilon}{m} \cdot e^{\frac{-d}{(\beta \cdot L)}}$
- Esponenziale $P(u,v) = \alpha \cdot e^{\frac{-d}{(L-d)}}$
- Locale $P(u,v) = \begin{cases} \alpha & se \quad d < L \cdot raggio \\ \beta & se \quad d \geq L \cdot raggio \end{cases}$

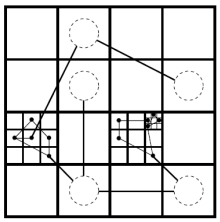


roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

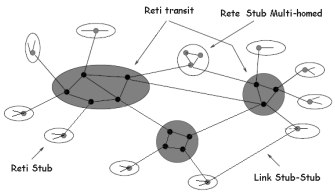
Modelli gerarchici

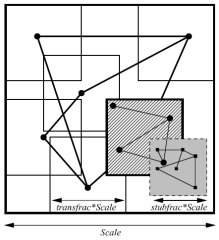
Modello ad n-livelli





Modello Transit-stub





roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Elementi attivi nei terminali

- ✓ Agent
  - sono entità di protocolli di comunicazione che vengono istanziate negli *end-system* (terminali)
    - TCP, UDP (livello trasporto)
    - Ftp, Telnet (livello applicativo)
- ✓ Traffic source
  - *Constant bit rate* (CBR)
  - Stocastiche di assegnata distribuzione (es. Poisson)
  - Deterministiche definite da un *trace file*
- ✓ Connection
  - Associazioni tra Agent
    - TCP sender e TCP receiver
    - gruppi di ricevitori multicast

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Eventi esterni e guasti

- ✓ Eventi esterni:
  - start / end di una connessione TCP
  - join / leave di un ricevitore ad un gruppo mcast
  - movimento di un nodo mobile (reti wireless)
- ✓ Guasti (deterministici o probabilistici):
  - Guasto di un link
  - Pattern di perdita di pacchetti
  - Pattern di congestione

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Network dynamics

- Link failures
  - route changes reflected automatically
  - can emulate node failure
- Commands:
  - $ns rtmodel-at <time> <up|down> $n0 $n1
  - $ns rtmodel Trace <config_file> $n0 $n1
  - $ns rtmodel <model> <params> $n0 $n1
    - <model>: Deterministic, Exponential
    - <params>: [<start>] <up_interval> <down_interval> [<finish>]

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Ns programming: logical steps

- Create the event scheduler
- Turn on tracing
- Create network
- Setup routing
- Insert errors
- Create transport connection
- Create traffic
- Transmit application-level data

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

ns: programmazione degli eventi

```
set ns [new Simulator]
$ns at 1.0 {puts "Hello world!"}
$ns at 1.5 exit
$ns run
```

- Inizializza uno schedulatore di eventi
- Inserisce 2 eventi esterni nello schedulatore
- Fa partire la simulazione

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

La prima simulazione in ns - (0)

```
set ns [new Simulator]

set f  [open sim.tr w]
$ns trace-all $f
set nf [open sim.nam w]
$ns namtrace-all $nf
```

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

La prima simulazione in ns - (1)


```
set n0 [$ns node]
set n1 [$ns node]
$ns duplex-link $n0 $n1 10Mb 10ms DropTail
```

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

La prima simulazione in ns - (2)


```
set tcp  [new Agent/TCP]
set sink [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $n0 $tcp
$ns attach-agent $n1 $sink
$ns connect $tcp $sink
```

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

La prima simulazione in ns - (3)


```
set src [new Application/FTP]
$src attach-agent $tcp
```

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

La prima simulazione in ns - (4)

```
$ns at 0.1 "$src start"
$ns at 2.0 finish
proc finish {} {
  global ns f nf
  $ns flush-trace
  close $nf
  close $f
  exit 0
}
$ns run
```

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Tracing and Monitoring I

- Packet tracing:
  - On all links: $ns trace-all [open out.tr w]
  - On one specific link: $ns trace-queue $n0 $n1$tr

```
<Event> <time> <from> <to> <pkt> <size> -- <fid> <src> <dst> <seq> <attr>
    + 1 0 2 cbr 210 ------- 0 0.0 3.1 0 0
    - 1 0 2 cbr 210 ------- 0 0.0 3.1 0 0
    r 1.00234 0 2 cbr 210 ------- 0 0.0 3.1 0 0
```

  - We have new trace format
- Event tracing (support TCP right now)
  - Record "event" in trace file: $ns eventtrace-all

```
E 2.267203 0 4 TCP slow_start 0 210 1
```

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Tracing and Monitoring II

- Queue monitor

set qmon [$ns monitor-queue $n0 $n1 $q_f $sample_interval]

  - Get statistics for a queue

    $qmon set pdrops_

  - Record to trace file as an optional

```
29.000000000000142 0 1 0.0 0.0 4 4 0 1160 1160 0
```

- Flow monitor

set fmon [$ns_ makeflowmon Fid]

$ns_ attach-fmon $slink $fmon

$fmon set pdrops_

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Tracing and Monitoring III

- Visualize trace in nam

  $ns namtrace-all [open test.nam w]

  $ns namtrace-queue $n0 $n1

- Variable tracing in nam

  Agent/TCP set nam_tracevar_ true

  $tcp tracevar srtt_

  $tcp tracevar cwnd_

- Monitor agent variables in nam

```
$ns add-agent-trace $tcp $tcp
$ns monitor-agent-trace $tcp
$srm0 tracevar cwnd_
.....
$ns delete-agent-trace $tcp
```

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

ns: formato del trace file out.tr

```
+ 0.1       0 1 tcp 1000 ------- 0 0.0 1.0 0 0
- 0.1       0 1 tcp 1000 ------- 0 0.0 1.0 0 0
r 0.1108    0 1 tcp 1000 ------- 0 0.0 1.0 0 0
+ 0.1108    1 0 ack 40   ------- 0 1.0 0.0 0 1
- 0.1108    1 0 ack 40   ------- 0 1.0 0.0 0 1
r 0.120832  1 0 ack 40   ------- 0 1.0 0.0 0 1
```

timestamp

trx

rcv

dim

seq

dst

src

flowid

+ pacchetto inserito nella coda del link
- pacchetto estratto dalla coda del link
r pacchetto ricevuto

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

ns: formato del trace file out.tr (2)

event	time	from node	to node	pkt type	pkt size	flags	fid	src addr	dst addr	seq num	pkt id

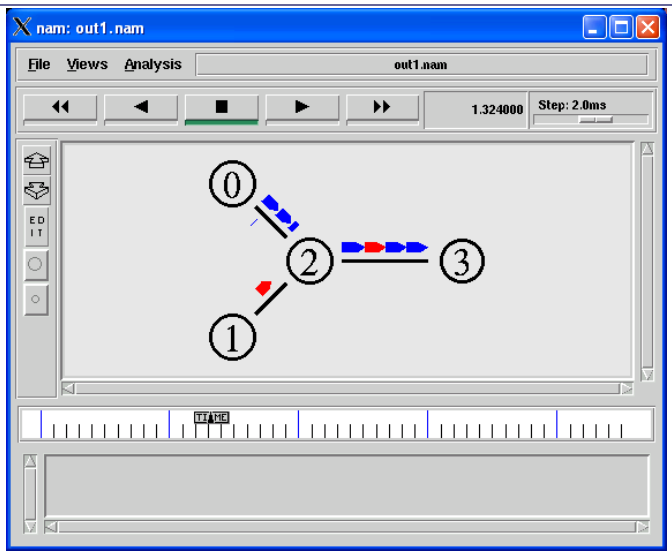
```
r : receive  (at to_node)
+ : enqueue  (at queue)
- : dequeue  (at queue)
d : drop     (at queue)

src_addr : node.port (3.0)
dst_addr : node.port (0.0)
```

```
r 1.3556 3 2 ack 40 ------- 1 3.0 0.0 15 201
+ 1.3556 2 0 ack 40 ------- 1 3.0 0.0 15 201
- 1.3556 2 0 ack 40 ------- 1 3.0 0.0 15 201
r 1.35576 0 2 tcp 1000 ------- 1 0.0 3.0 29 199
+ 1.35576 2 3 tcp 1000 ------- 1 0.0 3.0 29 199
d 1.35576 2 3 tcp 1000 ------- 1 0.0 3.0 29 199
+ 1.356 1 2 cbr 1000 ------- 2 1.0 3.1 157 207
- 1.356 1 2 cbr 1000 ------- 2 1.0 3.1 157 207
```

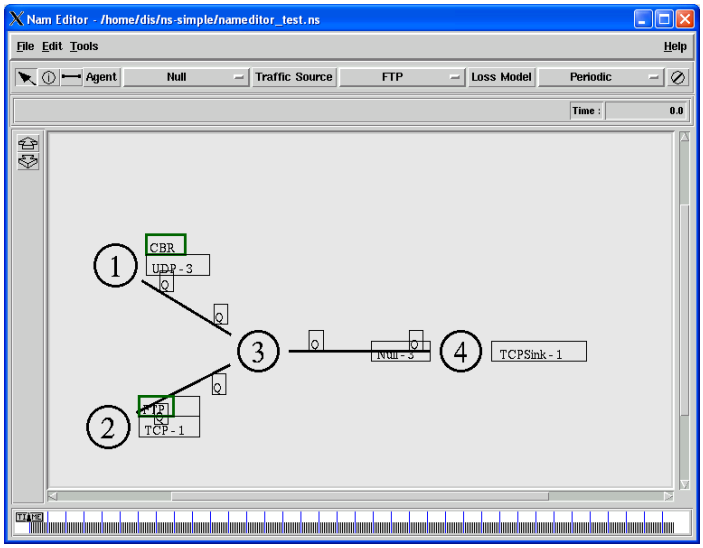
roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

nam: Network Animation tool



roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Creazione di scenari con Nam Editor



roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

NAM Input: out.nam

- Can define events for nodes, links, queues, packets, agents
- Define a node event

```
n -t * -s 69 -v circle -c grey -z 0.177110
```

- Define a link event

```
l -t * -s 66 -d 67 -r 512000.000000 -D 0.010000    -c
grey -o 236.6deg -l 0.012432
```

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

nam Interface: Color

- Color mapping

```
$ns color 40 red
$ns color 41 blue
$ns color 42 chocolate
```

- Color ↔ flow id association

```
$tcp0 set fid_ 40    ;# red packets
$tcp1 set fid_ 41    ;# blue packets
```

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

nam Interface: Nodes

- Color
  ```
  $node color red
  ```
- Shape (can't be changed after sim starts)
  ```
  $node shape box    ;# circle, box, hexagon
  ```
- Marks (concentric "shapes")
  ```
  $ns at 1.0 "$n0 add-mark m0 blue box"
  $ns at 2.0 "$n0 delete-mark m0"
  ```
- Label (single string)
  ```
  $ns at 1.1 "$n0 label \"web cache 0\""
  ```

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

nam Interfaces: Links

- Color
  ```
  $ns duplex-link-op $n0 $n1 color "green"
  ```
- Label
  ```
  $ns duplex-link-op $n0 $n1 label "abced"
  ```
- Dynamics (automatically handled)
  ```
  $ns rtmodel Deterministic {2.0 0.9 0.1} $n0 $n1
  ```
- Asymmetric links not allowed

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

nam Interface: Topology Layout

- "Manual" layout: specify everything

```
$ns duplex-link-op $n(0) $n(1) orient right
$ns duplex-link-op $n(1) $n(2) orient right
$ns duplex-link-op $n(2) $n(3) orient right
$ns duplex-link-op $n(3) $n(4) orient 60deg
```

- If anything missing → automatic layout

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

nam Interface: Misc

- Annotation
  - Add textual explanation to your simulation

```
$ns at 3.5 "$ns trace-annotate \"packet drop\""
```

- Set animation rate

```
$ns at 0.0 "$ns set-animation-rate 0.1ms"
```

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

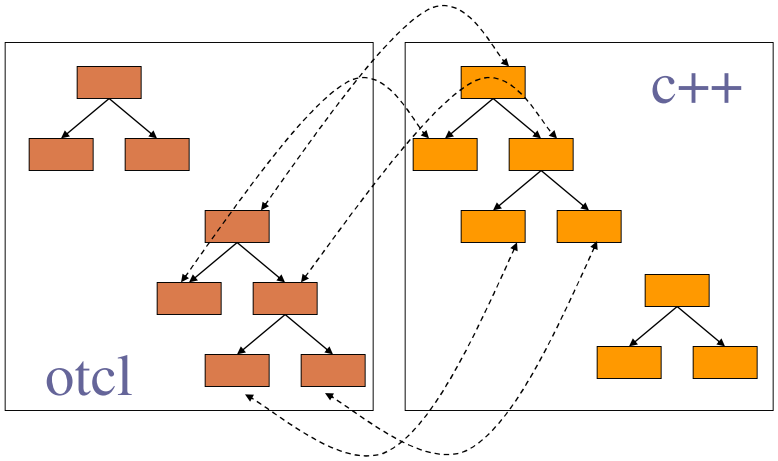
NS-2 internals

Gestione del tempo nel simulatore

- Il motore di simulazione è ad eventi discreti
- Il tempo non avanza autonomamente
- Gli eventi sono caratterizzati dall'istante di simulazione ed inseriti in una *lista degli eventi*
- Il simulatore agisce sulla lista eventi
  - inserisce un nuovo evento nella lista
  - processa l'evento attuale estraendolo dalla lista
  - esegue le azioni associate all'evento
  - elimina l'evento processato
- L'accesso alla lista è gestito da uno *scheduler*

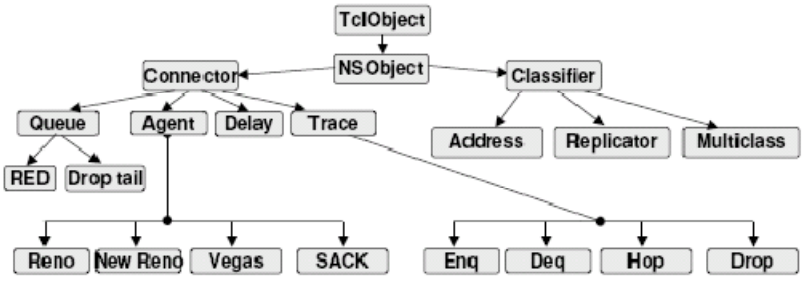
roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Corrispondenza tra oggetti OTcl e C++



roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

C++: gerarchia delle classi



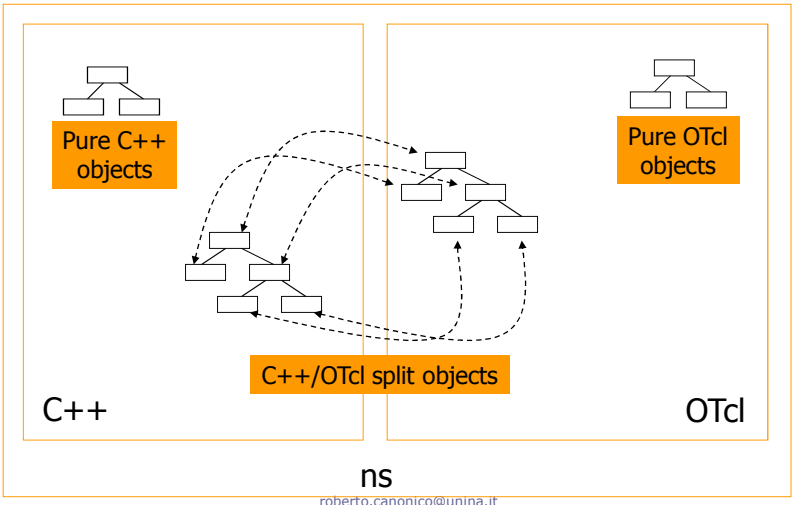
roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Interazioni tra classi C++ e classi OTcl

- Le ***classi C++*** che costituiscono ns-2 implementano l'insieme dei protocolli disponibili
- L'ambiente OTcl :
  - permette la definizione di ***classi OTcl*** direttamente connesse alle ***classi C++*** *(linkage)*
  - Consente di creare anche classi OTcl che non hanno corrispondente in C++
  - fornisce i metodi per l'utilizzo delle classi
- Il programmatore di script di simulazione può lavorare solo con classi OTcl oppure può sviluppare nuovi protocolli mediante nuove classi C++ da rendere accessibili in OTcl

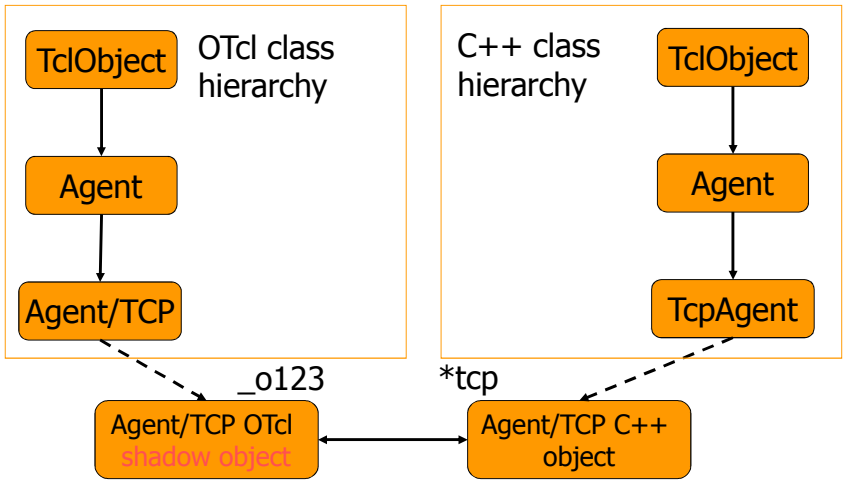
roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

OTcl and C++: The Duality



roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

TclObject: Hierarchy and Shadowing



roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Creating New Components

- Extending ns in Otcl
- Extending ns in C++

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Extending ns in OTcl

- If you don't want to compile
  - source your changes in your sim scripts
- Modifying existing code
  - Recompile
- Adding new files
  - Change Makefile (NS_TCL_LIB),
  - Update tcl/lib/ns-lib.tcl
  - Recompile

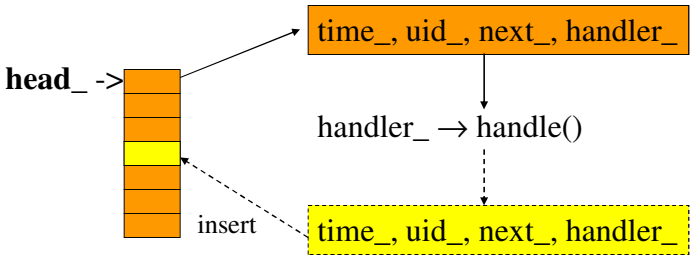
roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Extending ns in C++

- Modifying code
  - `make depend`
  - Recompile
- Adding code in new files
  - Change Makefile
  - `make depend`
  - Recompile

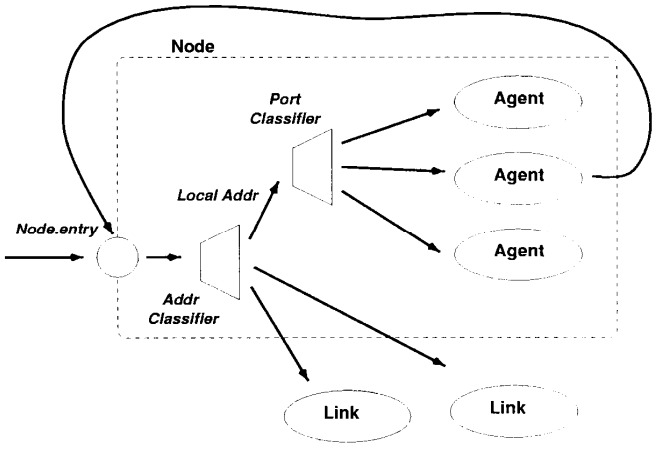
roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Gestione degli eventi dello schedulatore



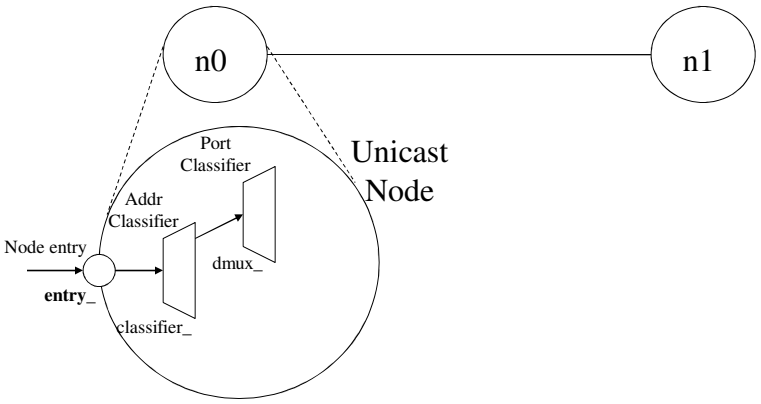
roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

ns: struttura interna di un nodo



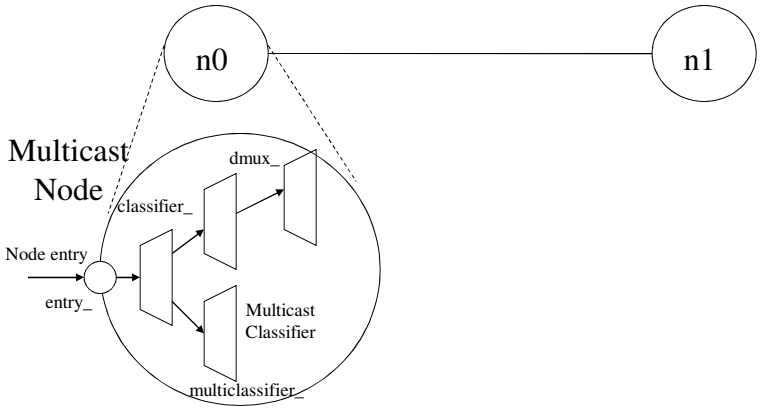
roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Nodo: struttura interna



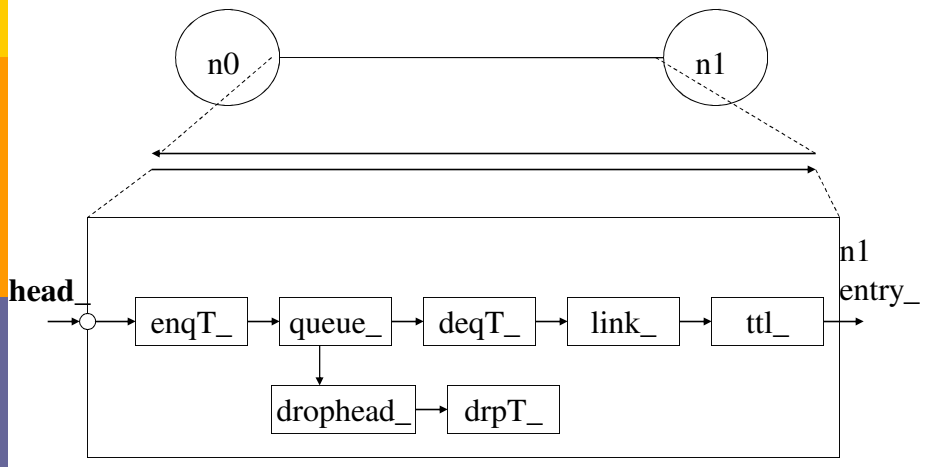
roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Nodo multicast



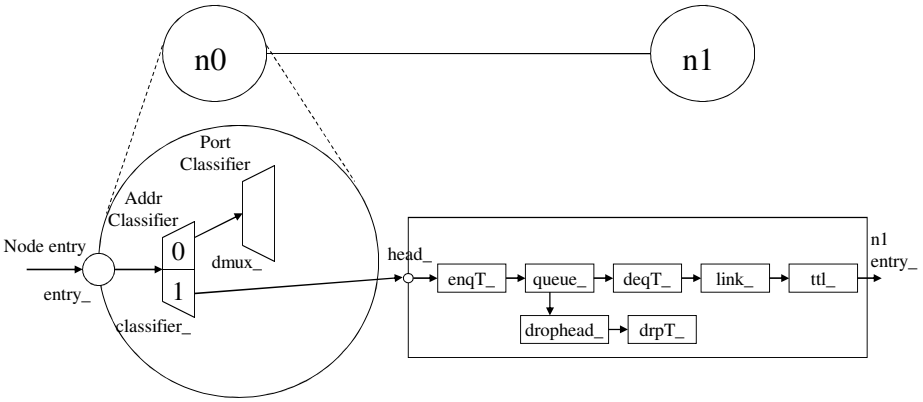
roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Link: struttura interna



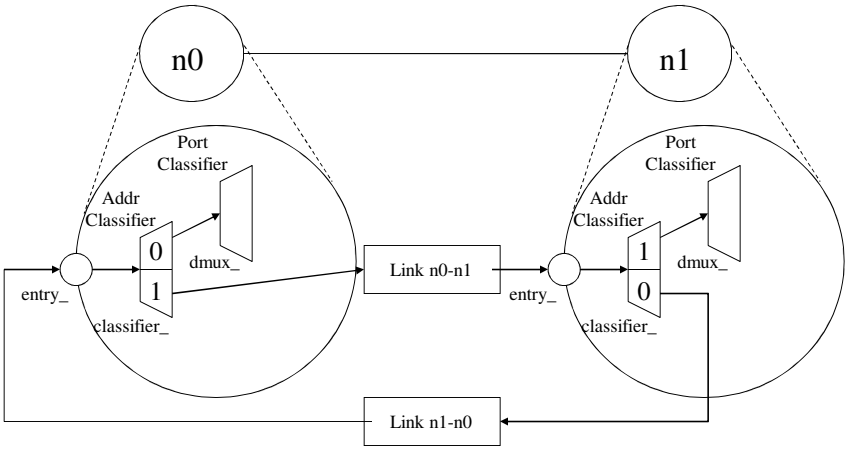
roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Collegamento nodo-link



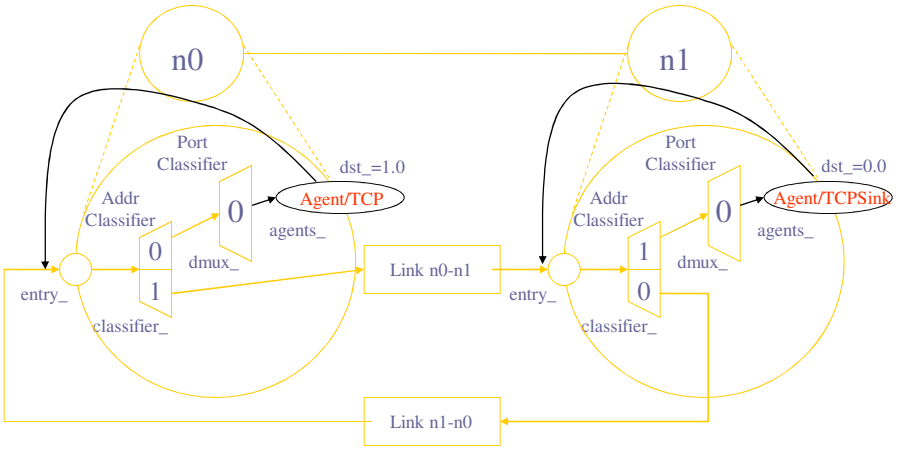
roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Collegamento nodo-link (2)



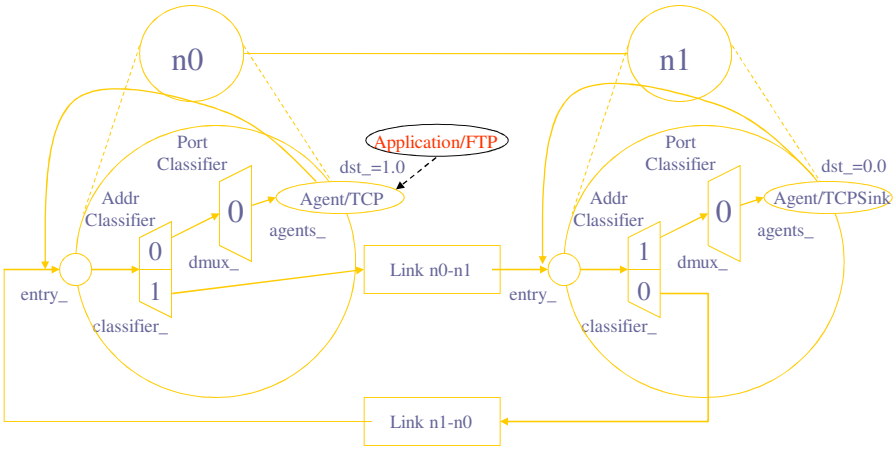
roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Agenti di trasporto



roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Applicazione



roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

La classe Agent

- L'agent non riceve realmente dati dall'applicazione ma solo la dimensione dell'unità informativa (bytes)
- Diversi tipi di agent per gestire diversi tipi di protocolli di trasporto (es. TCP, UDP,…)
- Per ogni protocollo di trasporto è definito:
  - Un agent ***trasmettore***
  - Un agent ***ricevitore***
- Al nodo ricevitore i pacchetti vengono "scartati" dall'agent ricevitore (libera la memoria associata alla struttura dati del pacchetto)
  - AGENT NULL (scarto)
  - AGENT TCPSink (scarto +ACK)

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

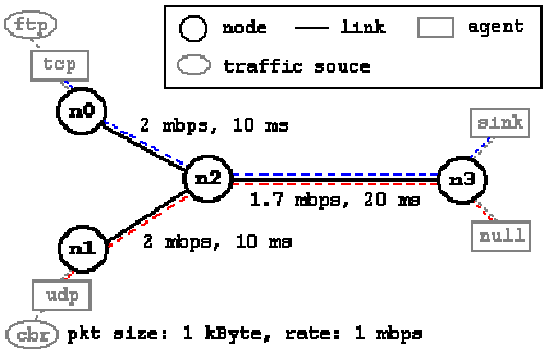
La classe Application

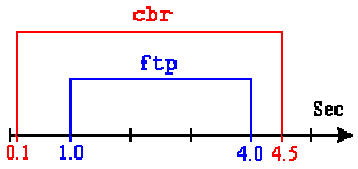
- Ha lo scopo di emulare le applicazioni più comuni e le caratteristiche di profili di traffico noti
- Le unità dati generate da oggetti application sono passati all'oggetto agent tramite funzioni di interfaccia
- Possibilità di:
  - Generare traffico tipico di applicazioni del mondo reale (FTP, WEB)
  - Configurare le caratteristiche dell'applicazione
- In ns2 l'applicazione non genera veri dati ma solo delle dimensioni di file
- I byte generati vengono incapsulati in segmenti TCP o pacchetti UDP dall'agent corrispondente

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

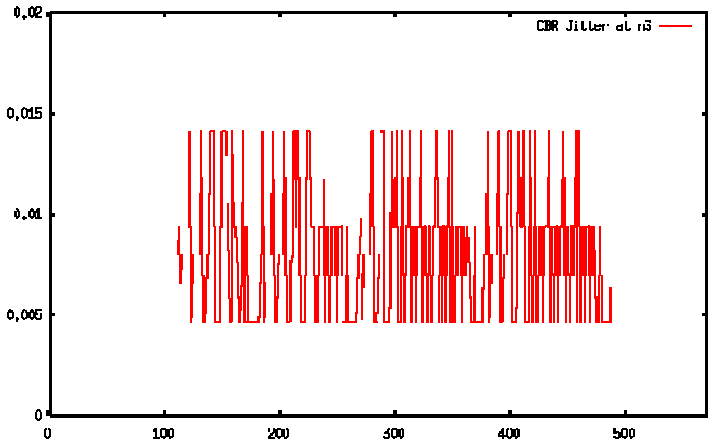
Esempi di script di simulazione

ns-simple.tcl





ns-simple-trace.tcl



roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

bwxd.tcl

Questo file illustra il comportamento degli schemi di trasmissione a “finestra scorrevole” mediante una connessione TCP

- ns bwxd.tcl 10Mb 4ms 1 0.5
  - Finestra = 1 (Stop-and-Wait)
  - Throuhput = 1*500*8 / 0.008 = 500 kb/s
- ns bwxd.tcl 10Mb 4ms 10 0.5
  - Throuhput = 10*500*8 / 0.008 = 5 Mb/s
- ns bwxd.tcl 10Mb 4ms 40 0.5
  - Throughput = 10 Mb/s

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Esempio

- Animazione nam

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Estensione del simulatore: un nuovo agent

OTcl Linkage

- Let's create a new agent "MyAgent"
  - Dummy agent
  - Derived from the "Agent" class

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Step 1: Export C++ class to OTcl

```
class MyAgent : public Agent {
public:
        MyAgent();
protected:
        int command(int argc, const char*const* argv);
private:
        int    my_var1;
        double my_var2;
        void   MyPrivFunc(void);
};
```

```
static class MyAgentClass : public TclClass {
public:
        MyAgentClass() : TclClass("Agent/MyAgentOtcl") {}
        TclObject* create(int, const char*const*) {
                return(new MyAgent());
        }
} class_my_agent;
```

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Step 2 : Export C++ class variables to OTcl

```
MyAgent::MyAgent() : Agent(PT_UDP) {
        bind("my_var1_otcl", &my_var1);
        bind("my_var2_otcl", &my_var2);
}
```

- set the default value for the variables in the "ns-2/tcl/lib/ns-lib.tcl" file

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Step 3: Export C++ Object Control Commands to OTcl


```
int MyAgent::command(int argc, const char*const* argv) {
        if(argc == 2) {
                if(strcmp(argv[1], "call-my-priv-func") == 0) {
                        MyPrivFunc();
                        return(TCL_OK);
                }
        }
        return(Agent::command(argc, argv));
}
```

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Step 4: Execute an OTcl command from C++.


```
void MyAgent::MyPrivFunc(void) {
        Tcl& tcl = Tcl::instance();
        tcl.eval("puts \"Message From MyPrivFunc\"");
        tcl.evalf("puts \"      my_var1 = %d\"", my_var1);
        tcl.evalf("puts \"      my_var2 = %f\"", my_var2);
}
```

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Step 5: Compile

- Save above code as "**ex-linkage.cc**"
- Open "**Makefile**", add "**ex-linkage.o**" at the end of object file list.
- Re-compile NS using the "**make**" command.

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Step 5: Run and Test "MyAgent"

ex-linkage.tcl

```
# Create MyAgent (This will give two warning messages that
# no default vaules exist for my_var1_otcl and my_var2_otcl)
set myagent [new Agent/MyAgentOtcl]


# Set configurable parameters of MyAgent
$myagent set my_var1_otcl 2
$myagent set my_var2_otcl 3.14

# Give a command to MyAgent
$myagent call-my-priv-func
```

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Step 5: Run and Test "MyAgent"

result

```
warning: no class variable Agent/MyAgentOtcl::my_var1_otcl
        see tcl-object.tcl in tclcl for info about this warning.
warning: no class variable Agent/MyAgentOtcl::my_var2_otcl

Message From MyPrivFunc
     my_var1 = 2
     my_var2 = 3.140000
```

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II

Riferimenti

- The Netwok Simulator ns-2 Home Page:
  www.isi.edu/nsnam/ns
- The Network Simulator ns-2 Manual:
  www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html
- Tutorial:
  www.isi.edu/nsnam/ns/tutorial/index.html
  nile.wpi.edu/NS

roberto.canonico@unina.it
Università degli Studi di Napoli FEDERICO II