Introduzione alla simulazione

Gaia Maselli
maselli@di.uniroma1.it

Outline

- Concetti generali di valutazione delle prestazioni di un sistema
- Introduzione alla simulazione
- Architettura del Network Simulator NS2
- Utilizzo di NS2

Riferimenti

- Valutazione delle prestazioni di un sistema e Introduzione alla simulazione
  - R. Jain, "*The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation, and Modeling*", Wiley-Interscience, New York, NY, April 1991.

    Capitoli 2, 3, 24
- Architettura e utilizzo del Network Simulator NS2
  - http://www.isi.edu/nsnam/ns/

Valutazione delle prestazioni

- Offrire le migliori prestazioni al minor costo
- Confrontare delle soluzioni alternative e trovare la migliore
- Capire quale sistema si comporta meglio per uno specifico insieme di applicazione (scenario)
- Utile in qualsiasi fase del ciclo di vita di un sistema (progettazione, realizzazione, utilizzo, upgrade)

Approccio sistematico alla valutazione delle prestazioni (1/3)

- **Specificare l'obiettivo e definire il sistema**
  - Definire i limiti del sistema, in base all'obiettivo dello studio
- **Elencare i servizi e i risultati**
  - Esempi:
    - rete permette di spedire pacchetti verso specifiche destinazioni
    - una base di dati risponde a query
  - Ogni servizio presenta un numero di possibili esiti
  - La lista dei servizi e degli esiti è utile per selezionare le metriche e il carico di lavoro
- **Selezionare le metriche**
  - Selezionare i criteri (metriche) per confrontare le prestazioni (es. velocità, accuratezza, disponibilità)
- **Elencare i parametri che influenzano le prestazioni**
  - Parametri di sistema (dipendono dall'hardware e il software del sistema)
  - Parametri di workload (dipendono dalle richieste dell'utente)
- **Individuare i fattori da studiare**
  - Alcuni parametri variano durante la valutazione (fattori) e assumono diversi valori (livelli)

Approccio sistematico alla valutazione delle prestazioni (2/3)

- **Selezionare una tecnica di valutazione**
  - Modello analitico
    - tecniche di valutazione delle prestazioni per catturare il comportamento dinamico del sistema (vari strumenti: teoria delle code, reti di code, processi di markov,…)
    - Ottimizzazione di problemi per determinare limiti e soluzioni ottime per un sistema
  - Simulazione
    - Strumento software che consente di riprodurre il funzionamento della rete con un unico programma, e studiarne il comportamento, i vari eventi che accadono nel tempo (e.g. trasmissione e ricezione dei pacchetti), seguendo nel dettaglio il comportamento dello stack protocollare
  - Test-bed reale
    - Esperienza diretta con i dispositivi di rete

Approccio sistematico alla valutazione delle prestazioni (3/3)

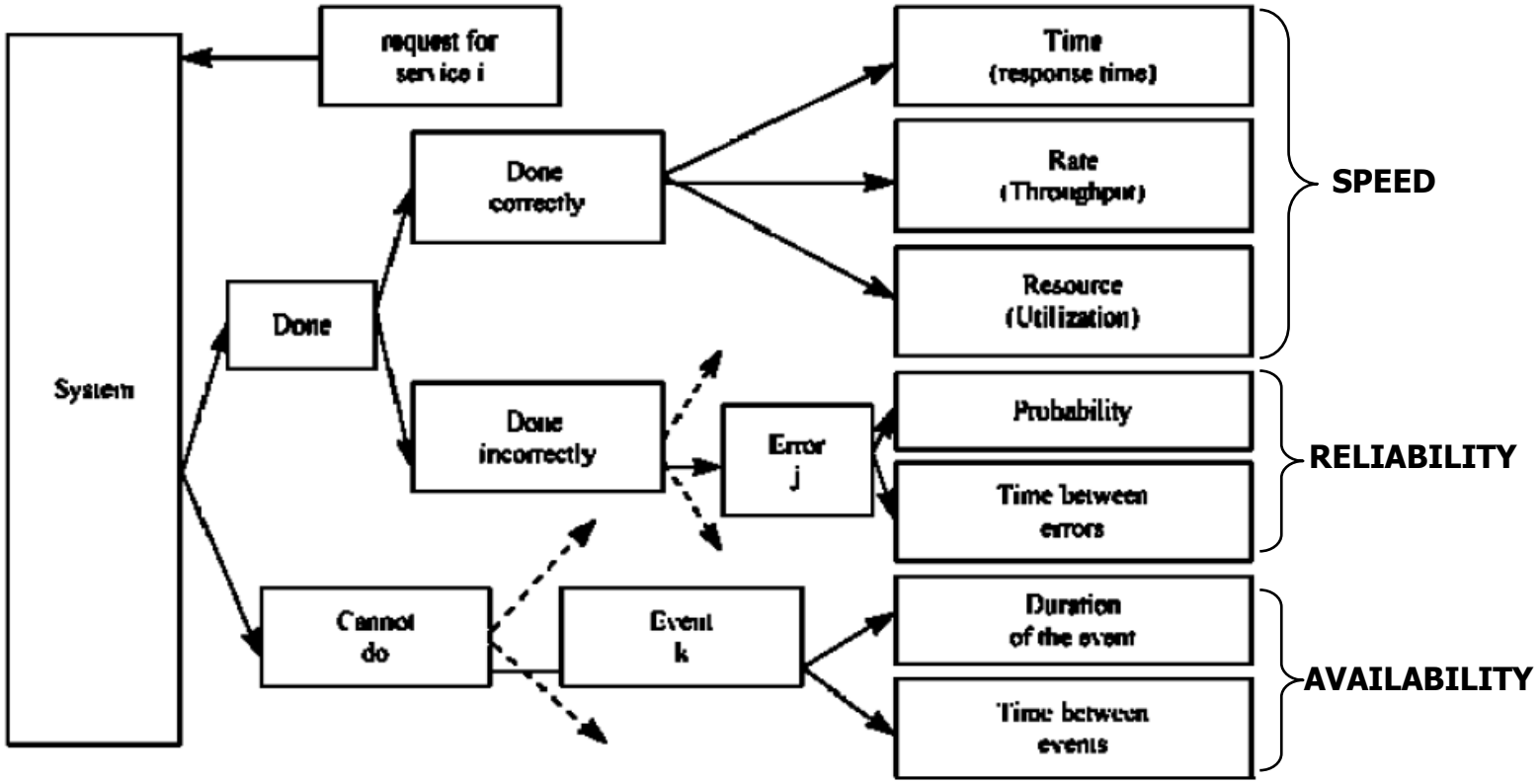
- **Selezionare il carico di lavoro**
  - Insieme di richieste di servizio al sistema, che rappresenti l'utilizzo reale del sistema
  - Esempi:
    - Modello analitico: probabilità di varie richieste
    - Simulazione: trace di sistemi reali, o generatori di traffico (network simulation)
    - Script utenti eseguiti sul sistema
- **Progettare gli esperimenti**
  - Decidere una sequenza di esperimenti, in cui si variano fattori e livelli, per determinarne l'effetto sulle prestazioni
- **Analizzare e interpretare i dati**
  - L'analisi produce risultati, che possono essere diversi per ogni esperimento, e devono essere interpretati per arrivare a una conclusione
- **Presentare i risultati**
  - Facili da comprendere (es. grafici)
  - Spesso si deve tornare al primo punto (la valutazione consiste di diversi cicli)

Criteri per selezionare una tecnica

Criterion	Analytical Modeling	Simulation	Measurement
1. Stage	Any	Any	Postprototype
2. Time required	Small	Medium	Varies
3. Tools	Analysts	Computer languages	Instrumentation
4. Accuracy[a]	Low	Moderate	Varies
5. Trade-off evaluation	Easy	Moderate	Difficult
6. Cost	Small	Medium	High
7. Saleability	Low	Medium	High

[a] In all cases, result may be misleading or wrong.

Selezionare le metriche (criteri di valutazione)



- Metriche globali: riflettono l'utilità del sistema
- Metriche individuali: riflettono l'utilità del singolo utente

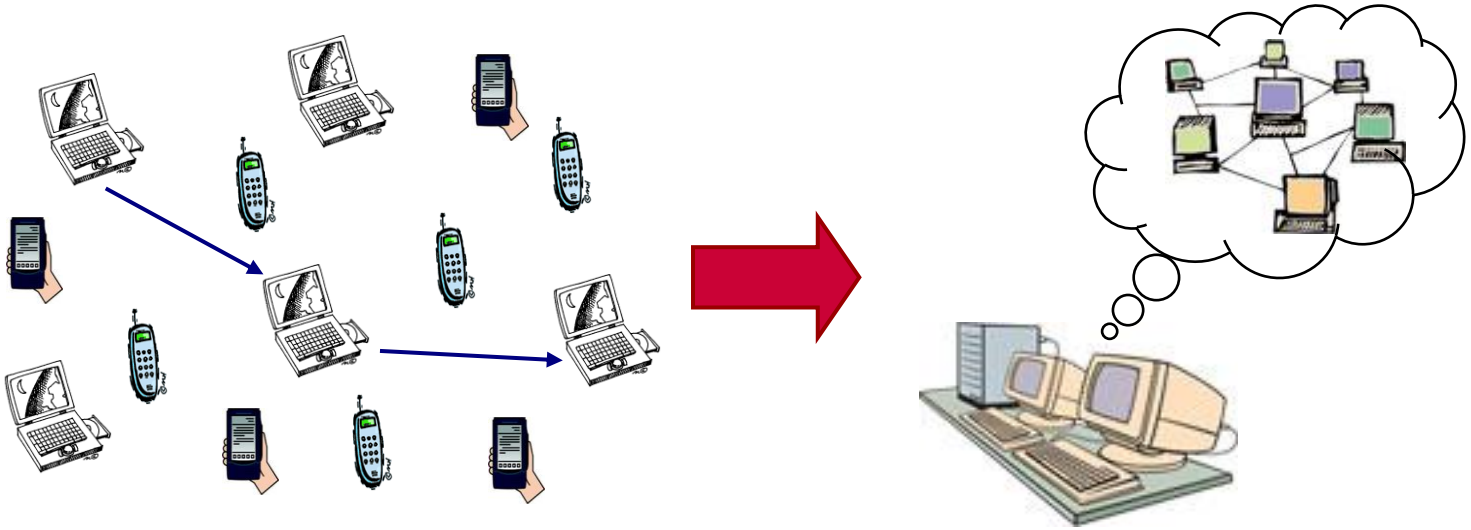
Metriche globali e individuali

- Globali
  - Resource utilization, reliability, availability, throughput
- Individuali
  - Response time, throughput
- Ci sono casi in cui la decisione che ottimizza le metriche individuali è diversa dalla quella che ottimizza la metrica di sistema
  - Esempio: throughput totale e dei singoli nodi
    - Throughput costante per la rete, incrementando il throughput di un nodo, diminuisce quello di qualcun altro (impattando la fairness)
- Le metriche vengono selezionate in base a
  - Bassa variabilità (per ridurre il numero di ripetizioni)
  - Non ridondanza (metriche equivalenti sono inutili)
  - Completezza (tutti i possibili esiti devono essere catturati)

Outline

- Valutazione delle prestazioni di un sistema
- Introduzione alla simulazione
- Architettura del Network Simulator NS2
- Utilizzo di NS2

Introduzione alla simulazione



- Cosa è un simulatore di rete
  - Strumento software per la modellazione dei protocolli di rete (wired and wireless)
- Scopo:
  - Ricostruire un sistema che evolve come il sistema reale secondo alcuni aspetti, basandosi su un modello

Quando simulare

- Studio e sperimentazione delle interazioni interne di un sistema complesso (per es. TCP in sistemi wireless)
- Valutazione delle prestazioni di un sistema prima della costruzione del prototipo
- Verifica di soluzioni analitiche
- Largamente diffuso in ambienti di ricerca
  - progettazione di nuovi protocolli
  - analisi del traffico
  - confronto tra protocolli
- Uso della simulazione per scopi didattici (comprendere meglio un sistema)

Perchè simulare

- Una sola workstation è necessaria per eseguire una simulazione
- Il simulatore permette di esaminare facilmente una ampia *varietà di scenari* in un tempo relativamente breve
- E' possibile simulare *topologie* di rete *complesse*, difficili e costose da realizzare in un test-bed
  - Ad-hoc o sensor networks di larga scala
  - Mobilità dei nodi
- Facile testare l'impatto di *modifiche* nei protocolli simulati

Pro e contro della simulazione

- Pro
  - Verifica del funzionamento di un nuovo sistema prima della costruzione del prototipo
  - Possibilità di eseguire un facile debugging del protocollo simulato
  - Possibilità di analizzare la scalabilità di un sistema
  - Identificazione delle vulnerabilità del sistema
  - Flessibilità nello studio del comportamento del sistema
- Contro
  - La creazione del modello e la sua validazione richiedono una comprensione dello strumento di simulazione
  - Non è possibile catturare svariati aspetti del sistema simulato (es. in NS2, prestazioni locali ai singoli nodi)

Terminologia della simulazione

- **Variabili di stato**
  - Variabili i cui valori definiscono lo stato del sistema
  - Network simulation: lista dei nodi, coda di trasmissione dei pacchetti, mac e routing utilizzati
- **Evento**
  - Un cambiamento nello stato del sistema
  - Network simulation: trasmissione di un pacchetto, ricezione di un pacchetto, introduzione di un nuovo nodo
- **Modelli di *tempo* continuo e discreto**
  - Continuo: il sistema è definito per ogni istante di tempo
  - Network simulation: il numero di nodi, la comunicazione tra nodi è definita in ogni istante di tempo
  - Discreto: il sistema è definito solo in alcuni istanti di tempo
  - Lezioni: con incontri settimanali
- **Modelli di *stato* continuo e discreto**
  - Continuo: le variabili di stato assumono valori continui
  - Lezioni: tempo speso dagli studenti sul corso di reti wireless ☺
  - Discreto: le variabili di stato assumono valori discreti
  - Network simulation: numero di nodi, o la lunghezza della coda di trasmissione dei pacchetti

N.B. la continuità del tempo non implica la continuità dello stato e viceversa!

Terminologia

- **Modelli deterministici e probabilistici**
  - Deterministico: si può predire il risultato con certezza
  - Probabilistico: ogni ripetizione sullo stesso insieme di parametri di input produce un diverso risultato
- **Modelli statici e dinamici**
  - Statico: il tempo non è una variabile
  - Dinamico: lo stato del sistema cambia in funzione del tempo
- **Modelli lineari e non lineari**
  - Lineare: i parametri di output sono una funzione lineare dei parametri di input
  - Non lineare: altrimenti
- **Modelli aperti e chiusi**
  - Aperto: l'input è esterno al modello e indipendente da esso
  - Chiuso: non c'è input esterno
- **Modelli stabili e non stabili**
  - Stabile: il comportamento del sistema è stabile, indipendentemente dal tempo
  - Instabile: il comportamento del modello cambia continuamente

Computer system models: tempo continuo, stato discreto, probabilistico, dinamico e non lineare. Aperti o chiusi, stabili o instabili.

Tipi di simulazione

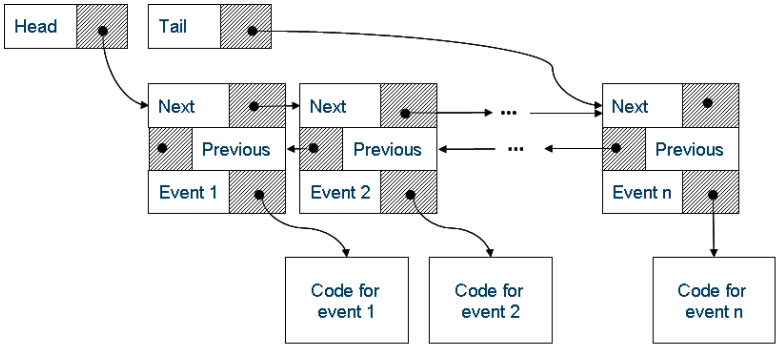
- Monte Carlo
  - Simulazione statica, senza l'ascissa temporale
  - Modelli di fenomeni probabilistici che non cambiano caratteristiche al variare del tempo
- Trace-driven
  - Simulazione che prende in input una traccia di un sistema reale (lista di eventi ordinati nel tempo)
- A eventi discreti
  - Simulazione con modello di stato discreto
  - Network simulation: numero di pacchetti nella coda di trasmissione
  - Il modello del tempo può essere discreto o continuo

Simulatore a eventi discreti: componenti

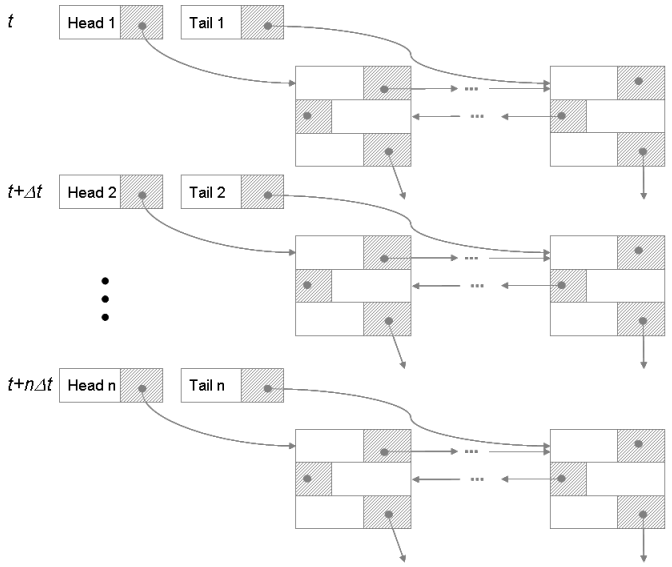
- **Scheduler degli eventi**
  - Mantiene una lista di eventi che devono essere eseguiti
    - Schedula evento x al tempo T
    - Mantiene un evento x per un intervallo dt
    - Cancella un evento precedentemente schedulato
- **Simulazione del tempo**
  - Ogni simulazione ha una variabile globale che rappresenta il tempo simulato (diverso dal tempo reale del simulatore)
  - Lo scheduler è responsabile dell'avanzamento del tempo
    - Unità di tempo: incremento unitario, con controllo degli eventi che devono essere eseguiti
    - Event-driven: l'incremento del tempo dipende dal prossimo evento da eseguire
- Variabili di stato del sistema
- **Routine dell'evento (ogni evento è simulato da una routine)**
  - Routine che viene eseguita quando deve essere eseguito l'evento
- Routine di input, inizializzazione, trace
- Programma principale: collega tutte le routine

Implementazione dello scheduler degli eventi

- Ordered linked list



- Indexed linear list



- Tree structures
  - Heap

Variation:

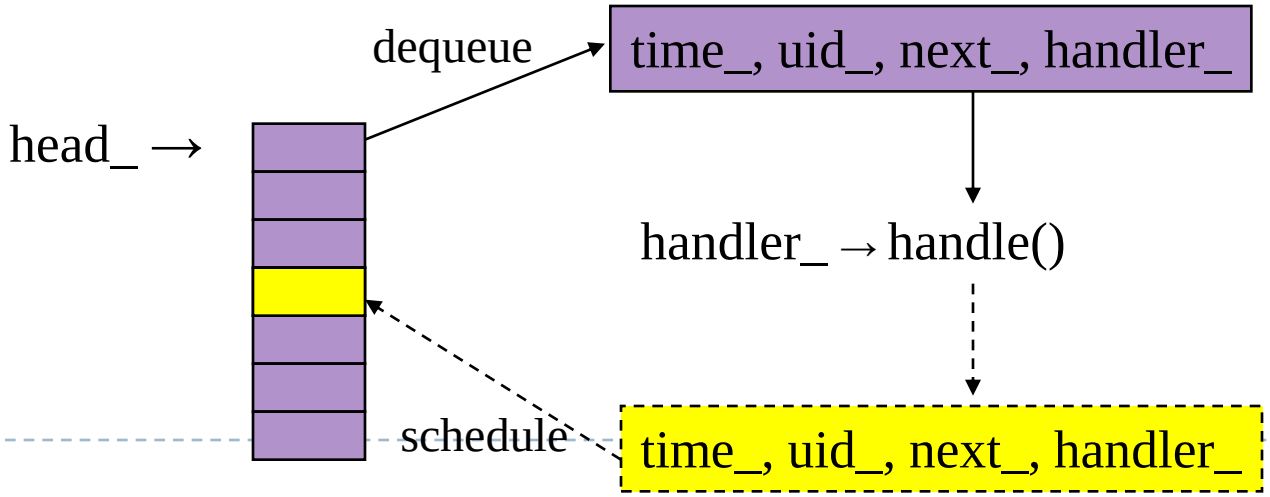
Calendar queue

Outline

- Valutazione delle prestazioni di un sistema
- Introduzione alla simulazione
- Architettura del Network Simulator NS2
- Utilizzo di NS2

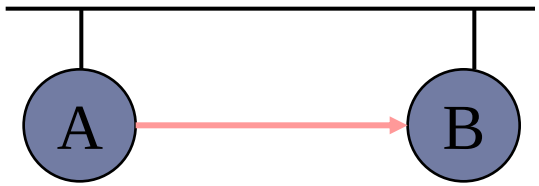
Network Simulator NS2

- 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: trasmissione reale di un pacchetto

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

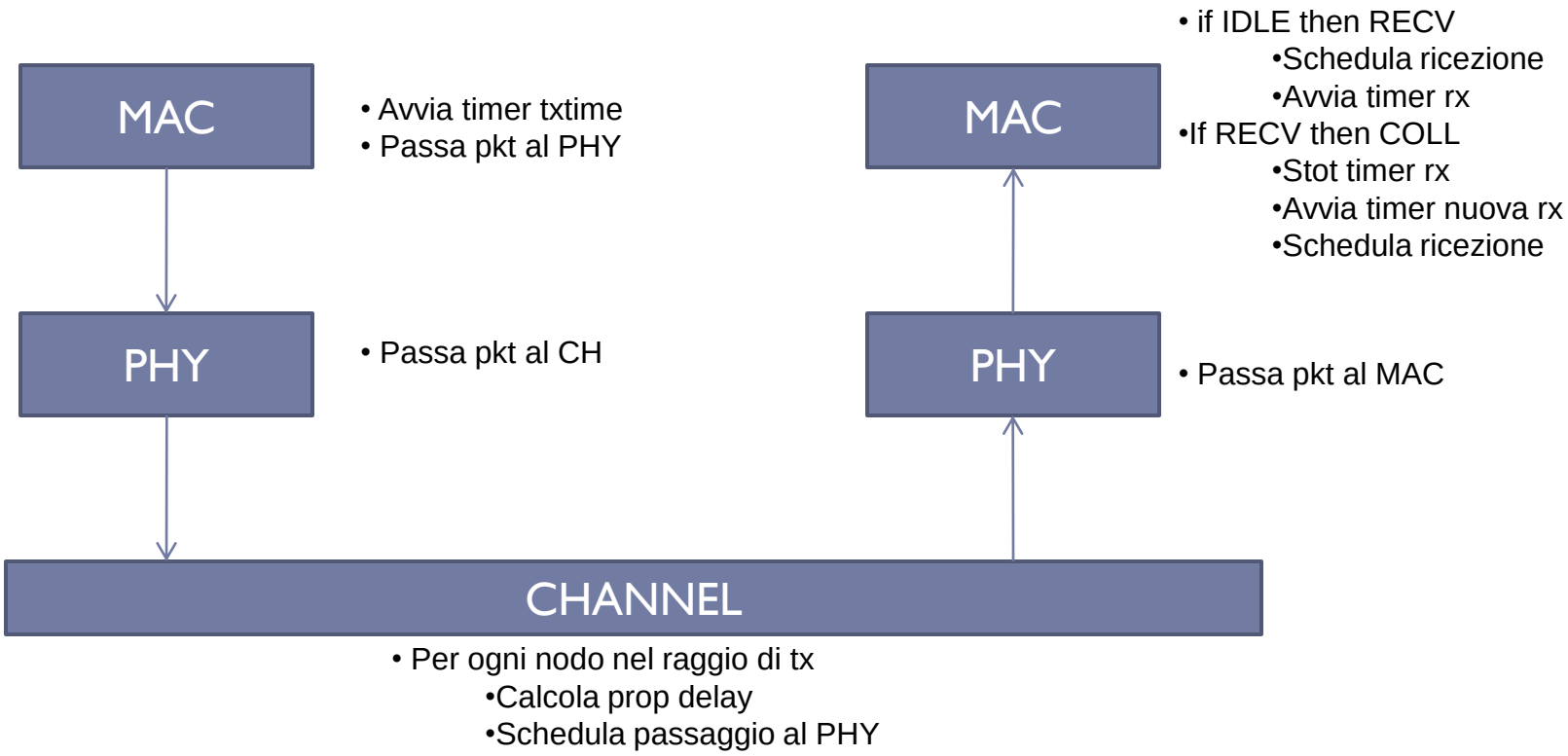
t=1.005:
- NIC di A conclude il cs, e inizia la trasmissione

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

Esempio: trasmissione simulata di un pacchetto

- La trasmissione è locale e non avviene in rete quindi bisogna simularne
  - L'esecuzione (ricezione da parte dei nodi vicini)
  - La durata (ritardo di propagazione + tempo di trasmissione)



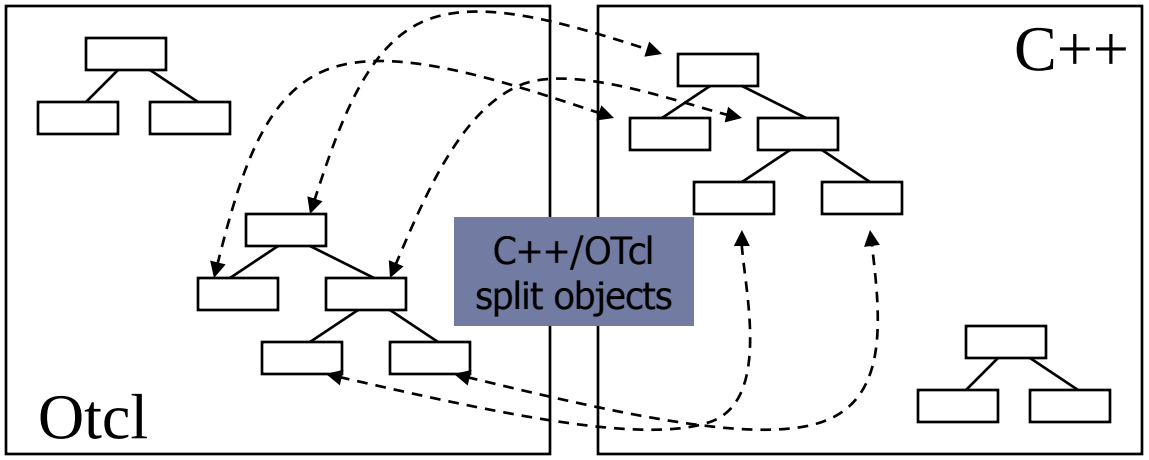
Implementazione di NS2

- Codice sorgente di **pubblico dominio**
- In continua evoluzione, aggiornato e modificato da ricercatori e studenti di tutto il mondo
- Piattaforme supportate: Unix, Unix-like, Windows
- Sito ufficiale: http://www.isi.edu/nsnam/ns/
- 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)

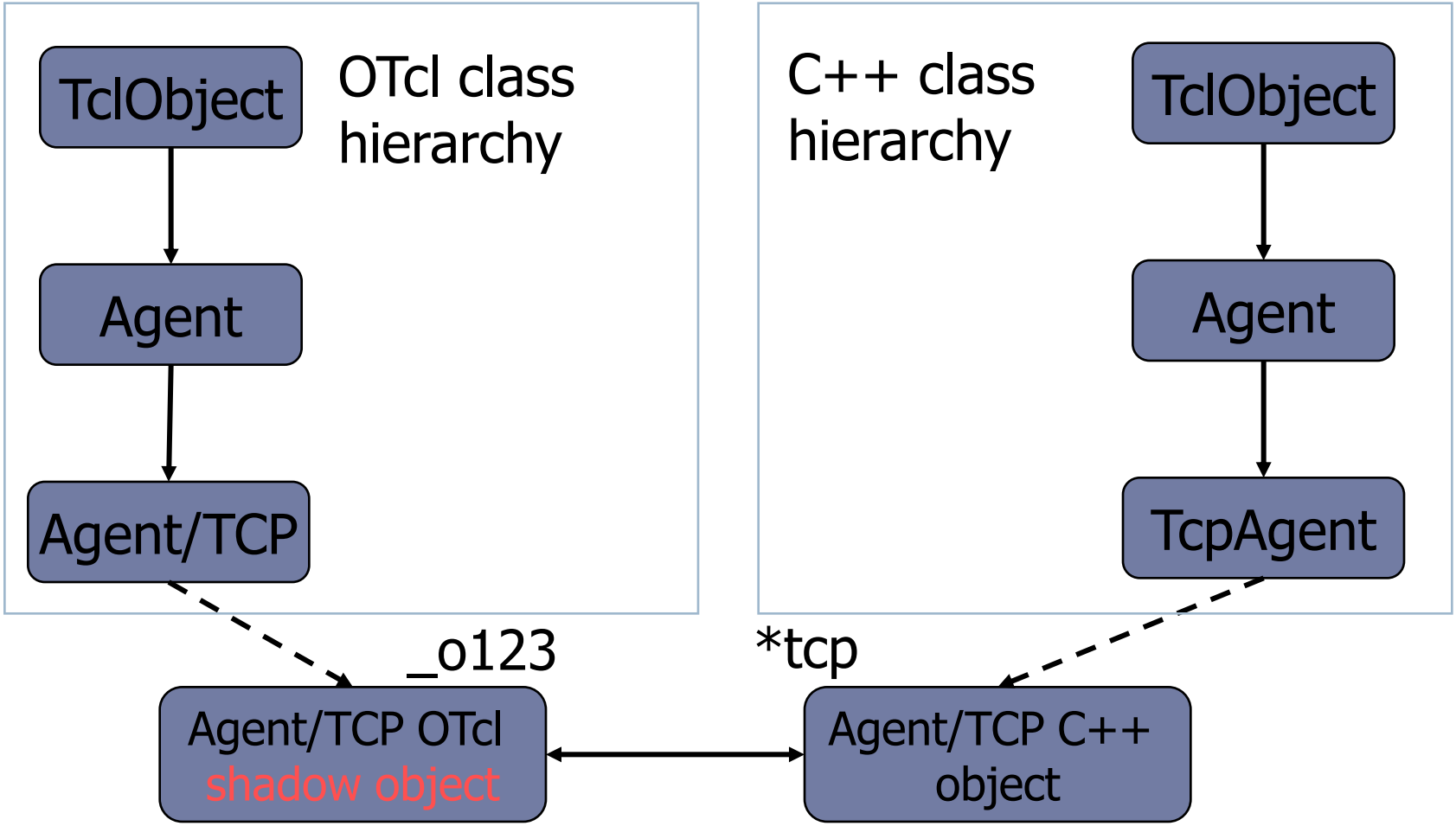
NS2: struttura orientata agli oggetti

- 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



Cosa si può simulare in NS2

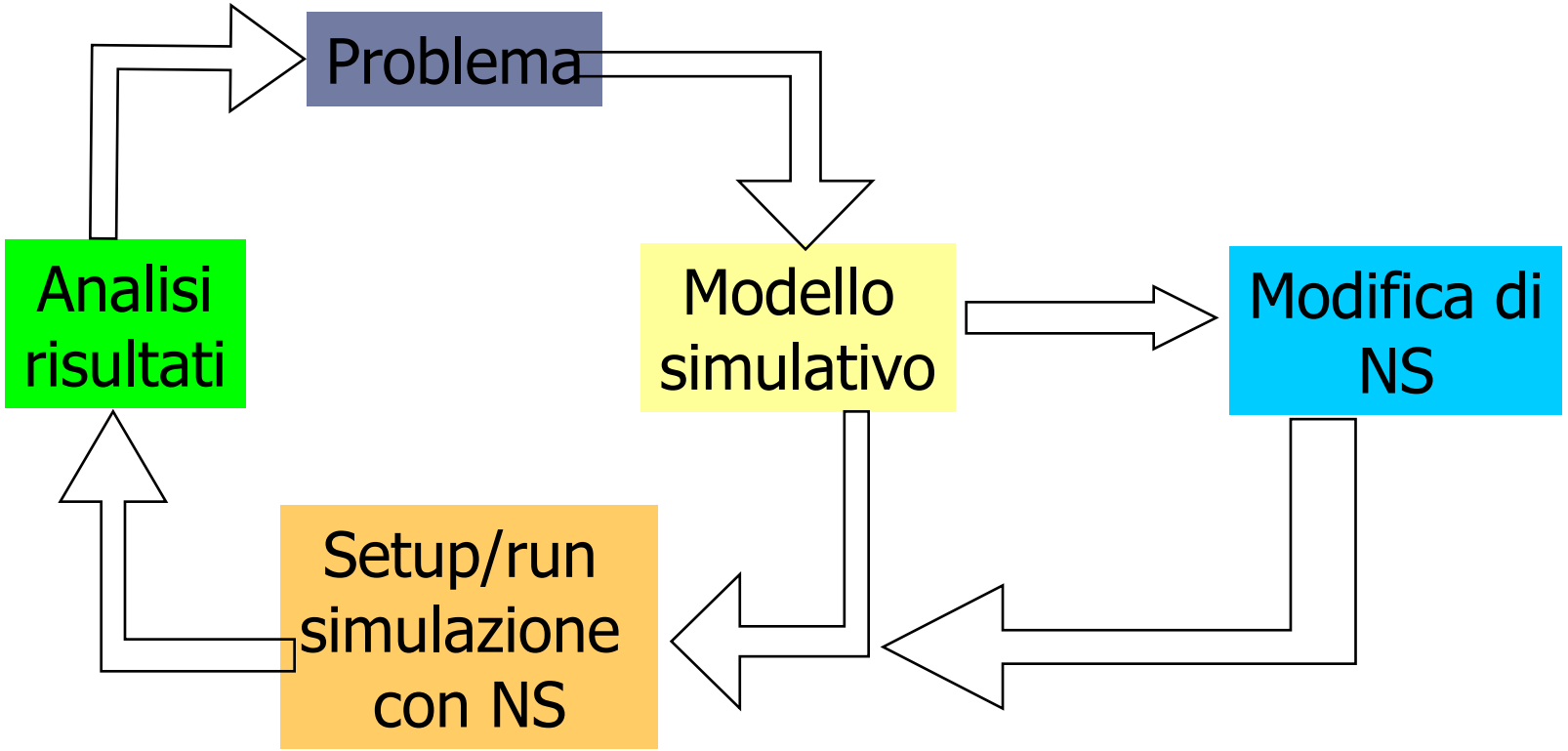
Adatto per la simulazione di protocolli a livello:

- Data-link
  - *Schemi MAC in reti wired/wireless (ad-hoc e sensor networks)*
- Rete
  - *Routing, Multicast*
- Trasporto
  - *TCP Congestion control*
- Applicazione
  - *Caching, Streaming, P2P*

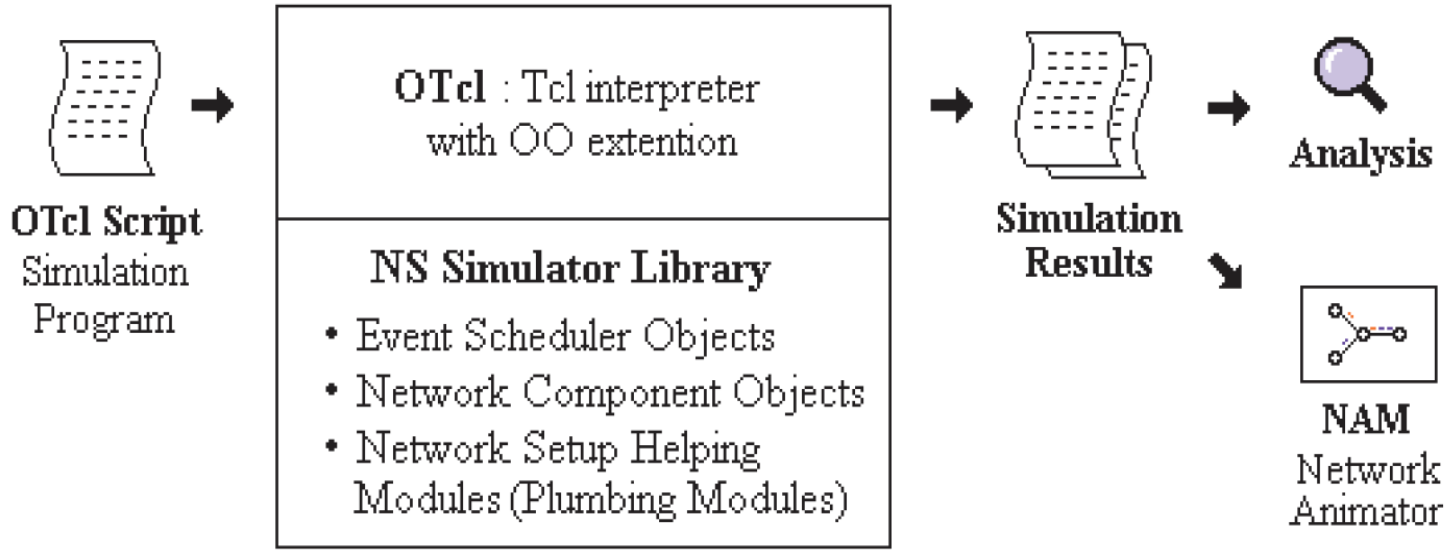
Outline

- Valutazione delle prestazioni di un sistema
- Introduzione alla simulazione
- Architettura del Network Simulator NS2
- Utilizzo di NS2

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

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]
```

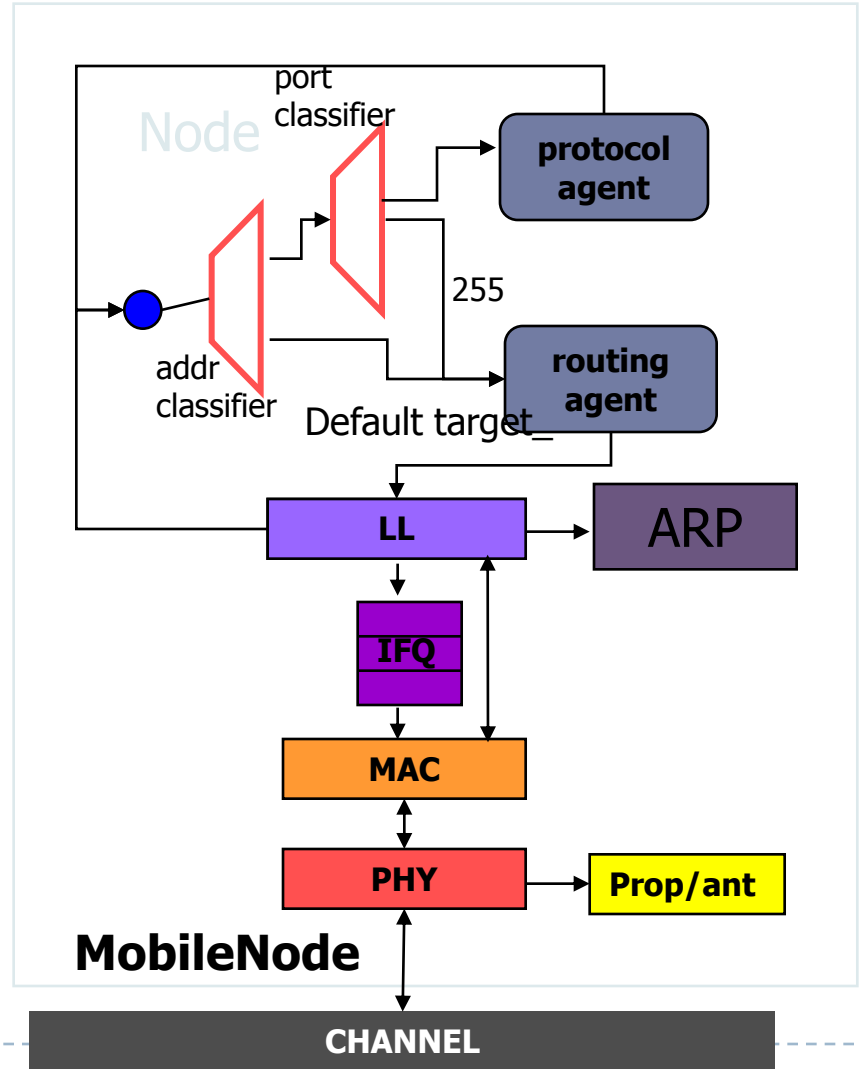
(`node` è metodo di `Simulator`)
(riferite come `$n0, $n1`)

  - Link wireless: parte della definizione del nodo

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
#--------------------------------------------------------------------------------
```

Struttura di un nodo wireless



Classifier: Forwarding

Agent: Protocol Entity

Node Entry

LL: Link layer object

IFQ: Interface queue

MAC: Mac object

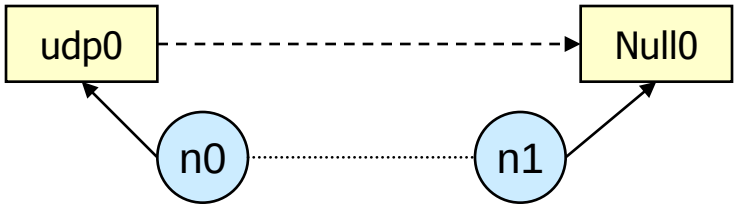
PHY: Net interface

Radio propagation/ antenna models

Definizione di agenti e applicazioni

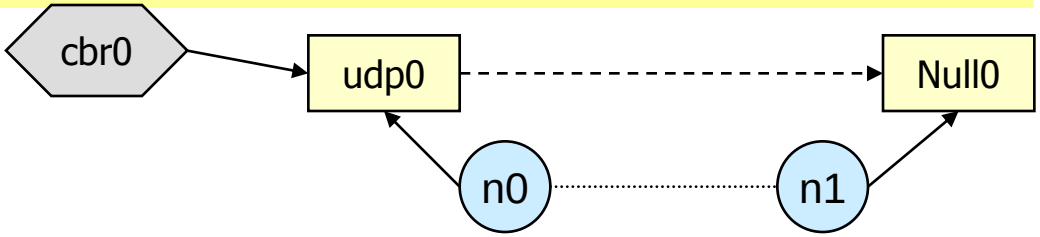
- Agenti (entità che rappresentano il livello di trasporto)

```
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
```



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"
```

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

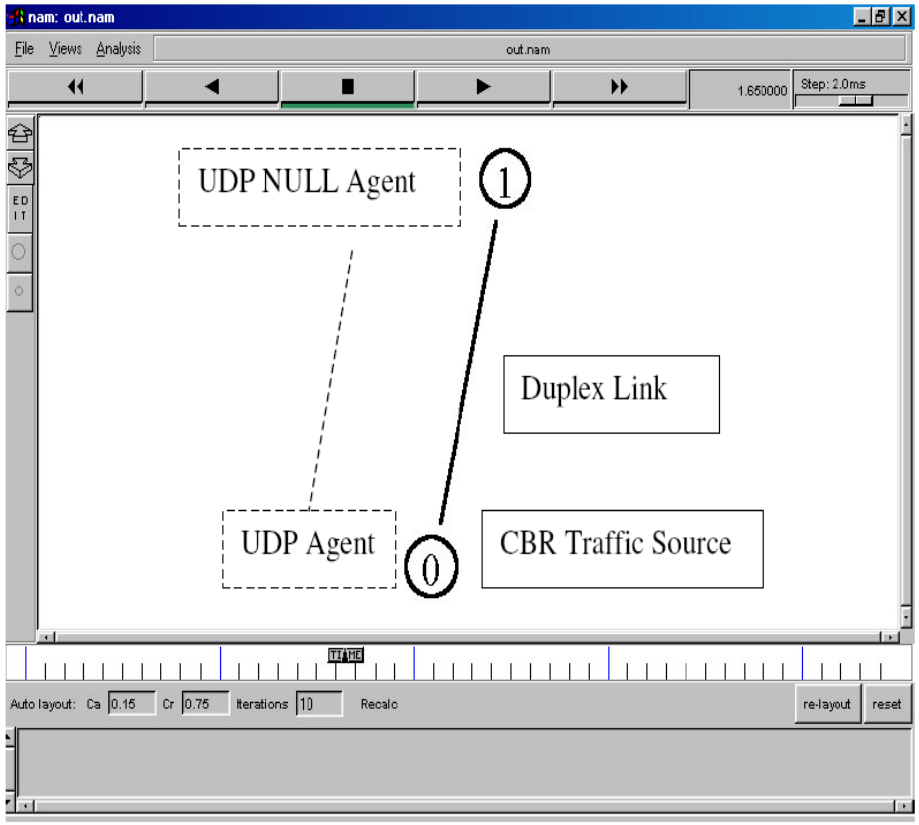
L'esecuzione della simulazione avviene facendo interpretare lo script Otcl a NS

```
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:


```
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
r 60.344950681 _9_ AGT  --- 801 tcp 1060 [13a 9 a 800] ------- [2:1 9:1 254 9] [1 0] 2 0
r 60.355489347 _9_ AGT  --- 802 tcp 1060 [13a 9 a 800] ------- [2:1 9:1 254 9] [2 0] 2 0
s 60.355489347 _9_ AGT  --- 804 ack 40 [0 0 0 0] ------- [9:1 2:1 32 0] [2 0] 0 0
```

- 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