

Rete: livello rete (IP) Parte 1 - Indice

1. Obiettivi
2. Scelte progettuali
3. Algoritmi di instradamento
4. Nodi mobili
5. Controllo di congestione
6. **Internet**

Livello rete (IP)

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 309

Rete: livello rete (IP) Obiettivi - 1

- Ricevere pacchetti dal livello trasporto del nodo mittente e farli pervenire allo stesso livello del nodo destinatario
- Conoscere la topologia degli instradatori (*router*) presenti nella rete, determinando quali di essi raggiungere e per quali vie
- Superare ogni eventuale disomogeneità tra gli ambienti di rete del mittente e del destinatario

Livello rete (IP)

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 310

Rete: livello rete (IP) Obiettivi - 2

- Offrire servizi indipendenti dalla tecnologia usata per realizzare specifici insiemi (*subnet*) di instradatori, nascondendone la complessità al livello trasporto
- Garantire l'uniformità del proprio sistema di indirizzamento a prescindere dalle diverse tipologie di reti collegate (*inter-networking*)

Livello rete (IP)

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 311

Rete: livello rete (IP) Scelte progettuali - 1

- Servizi privi di garanzie di connessione (*connectionless*)
 - La scelta progettuale di **Internet**: gli instradatori sono inerentemente inaffidabili (ritardi, mancate consegne) → meglio affidare al livello trasporto la responsabilità di effettuare i controlli necessari sugli eventuali errori
 - Modello analogo al servizio postale: due pacchetti inviati dallo stesso nodo allo stesso destinatario possono seguire due percorsi totalmente diversi

Livello rete (IP)

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 312

Rete: livello rete (IP) Scelte progettuali - 2

- In questa modalità, i pacchetti (**datagram**) identificano l'indirizzo del nodo destinatario
 - L'indirizzo deve essere unico
- Gli instradatori usano questa informazione per determinare il balzo (*hop*) successivo da far compiere al pacchetto (*routing*)
 - Quale linea in uscita, verso quale prossimo instradatore

Livello rete (IP)

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 313

Rete: livello rete (IP) Scelte progettuali - 3

- Servizi con garanzia di connessione (*connection-oriented*)
 - Per ogni richiesta di comunicazione si configura un "circuito virtuale" (*virtual circuit*) adatto
 - Simile alla configurazione di collegamento vista al livello inferiore
 - Il circuito virtuale è bidirezionale ed i pacchetti vi viaggiano in modo ordinato e controllato
 - Modello analogo al servizio telefonico: i pacchetti scambiati in una stessa conversazione percorrono sempre lo stesso percorso

Livello rete (IP)

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 314

Rete: livello rete (IP) Scelte progettuali - 4

- Un circuito virtuale è un tragitto tra nodo sorgente e nodo destinazione che, una volta configurato (*set up*) è usato per tutto il traffico specifico di quella particolare comunicazione
- Ogni instradatore deve poter mantenere più circuiti virtuali aperti simultaneamente ed avviare ciascun pacchetto sul proprio circuito
- Ogni pacchetto deve dunque identificare il proprio circuito virtuale di appartenenza

Livello rete (IP) Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 315

Rete: livello rete (IP) Algoritmi di instradamento - 1

- Sono usati per decidere verso quale linea in uscita e quale successivo instradatore avviare pacchetti
 - Circuito virtuale: la scelta del cammino viene fatta una volta per tutte per configurare il circuito
 - **Datagram**: la scelta viene fatta per ogni pacchetto in arrivo e può pertanto variare nel tempo
- 2 classi di algoritmi
 - Non adattivi (statici): ogni instradatore è dotato di tabelle precaricate che associano specifici percorsi a specifiche destinazioni
 - Adattivi (dinamici): tengono conto di eventuali modifiche (anche temporanee) della topologia delle *subnet* e del volume di traffico sui collegamenti disponibili

Livello rete (IP) Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 316

Rete: livello rete (IP) Algoritmi di instradamento - 2

- **Principio di ottimalità**: se il nodo *J* si trova sul cammino ottimale dal nodo *I* al nodo *K*, allora quello è anche il cammino ottimale da *J* a *K*
 - Nodo = *router*; rete = *subnet*
 - La metrica di ottimalità è la lunghezza del percorso espressa, p.es., in numero di balzi
- L'insieme dei cammini ottimali che collegano ogni sorgente ad una stessa destinazione è un albero con radice nella destinazione
 - Proprietà che garantisce l'arrivo a destinazione, in tempo finito, di ogni pacchetto inviato
 - Ma solo se i collegamenti non subiscono modifiche!

Livello rete (IP) Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 317

Rete: livello rete (IP) Algoritmi di instradamento - 3

- Varie metriche per determinare la lunghezza di un cammino
 - Numero di balzi (# archi attraversati sul grafo)
 - Distanza geografica (Σ distanze espresse come attributo di ciascun arco)
 - Tempo medio di attesa presso un certo *router* (attributo di ciascun nodo del grafo)
 - Capacità del collegamento (attributo di arco)
 - ...

Livello rete (IP) Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 318

Rete: livello rete (IP) Algoritmi di instradamento - 4

Determinazione del percorso più breve tra A e D con l'algoritmo di Dijkstra

Livello rete (IP) Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 319

Rete: livello rete (IP) Algoritmi di instradamento - 5

- **Algoritmo di Dijkstra (statico)**
 - (a) : ogni arco ha un attributo iniziale che ne indica la lunghezza
 - (b) : ogni nodo raggiungibile da A in un balzo riceve un'etichetta indicante la distanza da A ed il nodo adiacente di provenienza nel cammino
 - Ogni nodo risultante più vicino a partire dall'origine viene marcato con in nero ("permanente")
 - I nodi non ancora toccati sono marcati a distanza ∞
 - (c-f) : si visita ogni nodo adiacente ad ogni nodo marcato permanente e si aggiorna la distanza da A, sommandovi la lunghezza percorsa sul relativo arco

Livello rete (IP) Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 320

Rete: livello rete (IP) Algoritmi di instradamento - 6

- **Alluvione (flooding, statico)**
 - Ogni pacchetto in ingresso è immesso, in copia, su ciascuna linea in uscita
 - Per limitare le immissioni inutili, ci si può limitare ai soli collegamenti nella “direzione giusta”
 - Ogni pacchetto può percorrere al più un dato numero di balzi ed ha un attributo contatore che viene decrementato ad ogni balzo
 - Quando giunge a 0 quella copia del pacchetto viene distrutta

Livello rete (IP) Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 321

Rete: livello rete (IP) Algoritmi di instradamento - 7

- **Stato del collegamento (link state, dinamico)**
 - Ogni instradatore si procura conoscenza aggiornata sull'indirizzo e la distanza dei propri vicini e, tramite l'invio di pacchetti di prova, determina il cammino più breve
 - I nomi degli instradatori devono essere unici
 - L'esercizio viene ripetuto periodicamente
 - Gli instradatori si scambiano pacchetti contenenti l'informazione così ottenuta
 - Alcune accortezze vanno usate per assicurare la consistenza di questi scambi
 - Ottenuta tutta l'informazione necessaria, ciascun instradatore usa l'algoritmo di Dijkstra per i cammini minimi

Livello rete (IP) Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 322

Rete: livello rete (IP) Nodi mobili - 1

- 2 tipi di utenti (= nodi) mobili in una rete
 - Utenti che si connettono in tempi diversi da diverse postazioni fisse
 - Utenti che si connettono da postazioni mobili (*roaming*)
- Ciascun utente ha una base di riferimento fissa **HB**
- La rete globale è suddivisa in aree, ciascuna delle quali possiede:
 - Uno o più agenti **FA** degli utenti mobili (*foreign*) attualmente connessi
 - Il cui compito è registrare la presenza di nuovi utenti mobili
 - Un agente **HA** degli utenti che hanno base (*home*) nell'area

Livello rete (IP) Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 323

Rete: livello rete (IP) Nodi mobili - 2

- Ogni utente mobile **MU** si registra nell'area nella quale si trova al momento
 - **FA** → *broadcast* periodico a tutti i possibili **MU**
 - **MU** → **FA** : **HB_{MU}**, posizione attuale, accreditato
 - **FA** → **HA_{MU}** : indirizzo **FA**, accreditato
 - **HA_{MU}** → **FA** : autorizzazione a registrare **MU**
 - **FA** registra **MU** nella sua anagrafe locale
- Ogni comunicazione destinata ad **MU** va alla sua **HB**, il cui **HA** la invia al **FA** presso il quale esso è registrato

Livello rete (IP) Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 324

Rete: livello rete (IP) Controllo di congestione - 1

- Si ha congestione quando troppi pacchetti si trovano entro una stessa sottorete (*subnet*)
 - I pacchetti in ingresso ad un instradatore le cui code di lavoro sono piene vanno persi
 - Code più ampie peggiorano il problema poiché i pacchetti stanno troppo in coda e vengono considerati persi dal mittente, che li re-invia causando ulteriore traffico
- **Controllo di congestione**: si propone di garantire che la sottorete sia capace di trattare il suo traffico in ingresso
- **Controllo di flusso**: si propone di evitare che un mittente congestioni il suo destinatario

Livello rete (IP) Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 325

Rete: livello rete (IP) Controllo di congestione - 2

- Le congestioni possono essere prevenute strutturalmente (in fase di progetto) o mediante controllo (in fase di esecuzione)
- Soluzioni strutturali a dimensionamento di traffico
 - **Leaky bucket** : determina, senza deroghe, il flusso di uscita (p.es.: $n B/T$), mantenendo una coda di capacità corrispondente e scartando il traffico in eccesso
 - **Token bucket** : il controllore produce gettoni con periodo T, che pagano il costo d'uscita; ogni pacchetto in ingresso viene emesso se vi è un gettone per lui altrimenti resta in coda o viene scartato se la coda fosse già piena

Livello rete (IP) Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 326

Rete: livello rete (IP) Controllo di congestione - 3

- Soluzioni dinamiche a controllo di traffico
 - **Soffocamento di linea** : se il flusso in ingresso da ciascuna linea supera una certa soglia, si invia una notifica (**choke packet**) al mittente, marcando il suo ultimo pacchetto come “avvisato” e facendolo proseguire; ricevuta la notifica, il mittente riduce il flusso in uscita
 - Metodo cooperativo (rischioso), si basa sul buon comportamento del mittente notificato
 - **Load shedding**: l'instradatore in sovraccarico scarta pacchetti secondo criteri arbitrari e/o secondo l'importanza loro attribuita dal mittente

Livello rete (IP) Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 327

Rete: livello rete (IP) Internet - 1

- Il termine *internet*, originariamente coniato per denominare una singola interconnessione tra reti locali, denota ora un insieme di reti connesse da un protocollo comune in modo da formare una singola rete virtuale
- Il termine **Internet** denota la confederazione di reti eterogenee connesse da **IP** per formare una singola rete virtuale globale

Livello rete (IP) Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 328

Rete: livello rete (IP) Internet - 2

- **IP** si propone 5 obiettivi
 - Definire l'unità (**datagram**) di comunicazione sulla rete
 - Definire lo schema di indirizzamento dei nodi della rete
 - Offrire servizi al livello trasporto (*host-to-host*) utilizzando i servizi usati dal livello collegamento dati
 - Effettuare l'indirizzamento di **datagram** verso le rispettive destinazioni
 - Effettuare frammentazione (all'invio) e ricostituzione (alla ricezione) di **datagram**

Livello rete (IP) Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 329

Rete: livello rete (IP) Internet - 3

Indirizzi IP Il formato di un datagram

Livello rete (IP) Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 330

Rete: livello rete (IP) Internet - 4

- Il prefisso (*header*) occupa sempre le prime 5 parole da 32 *bit* del **datagram**
 - Ed anche la 6a parola, se così specificato nel campo **IHL** (*Internet Header Length*)
- Il prefisso fornisce tutte le informazioni necessarie per effettuare la consegna a destinazione
- Il **datagram** viene trattato e trasmesso in ordine *Big-Endian*
 - Davanti sta la parte più significativa di ciascun campo

Livello rete (IP) Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 331

Rete: livello rete (IP) Internet - 5

- **Versione**: identifica la versione del protocollo cui appartiene il **datagram**
- **Tipo di servizio**: specifica le caratteristiche richieste alla sua trasmissione (veloce, sicura)
- **Lunghezza totale**: specifica la dimensione complessiva del **datagram**, e dunque della sua area dati
 - Il massimo attualmente consentito è 64k-1 B
- **Identificativo**: specifica il flusso di comunicazione al quale appartengono i dati del **datagram**
- **Flags e Fragmentation Offset**: indicano se il **datagram** possa essere frammentato e, nel caso, la posizione relativa del frammento
 - Reti fisiche diverse hanno limiti diversi sulla massima dimensione delle unità trasportate

Livello rete (IP) Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 332

Rete: livello rete (IP) *Internet - 6*

- **Tempo di vita**: conta il numero di prossimi balzi ancora consentiti al **datagram**
 - Viene decrementato ad ogni balzo e, quando va a 0, causa la distruzione del **datagram** e l'invio di una notifica al mittente
- **Protocollo**: specifica il tipo di trattamento richiesto dal **datagram** a livello trasporto (**TCP** o **UDP**)
- **Controllo (checksum) di prefisso**: consente di verificare l'integrità del prefisso
 - Deve essere ricalcolato ogni volta che cambi il contenuto del prefisso, e dunque ad ogni balzo
- **Opzioni**: riservato per sperimentazioni o future estensioni del protocollo