

Lezione n.8
IL MODELLO DI KLEINBERG
SIMPHONY, SWOP
Materiale didattico:
Peer-to-Peer Systems
and Applications
Capitolo 6

SMALL WORLD NETWORKS

- Esperimento di Milgram: evidenza in modo empirico il fenomeno "small world" in una rete sociale
- small world = esistono delle "catene di conoscenze" di lunghezza limitata che connettono una qualsiasi coppia di persone sconosciute
- Six Degree of Separation
- Caratterizzazione del fenomeno:
 - random networks
 - modello di Watts-Strogatz
 - modello di Kleinberg

GRAFI RANDOM

Random Networks

- posseggono **diametro limitato**
- la lunghezza media dei cammini è $O(\log(n))$, dove n è il numero di nodi della rete
- adatte a modellare le "small world networks"
- caratterizzate da un **basso coefficiente di clusterizzazione**: la probabilità che i vicini di un nodo siano essi stessi vicini è bassa
- situazione reale: i vicini dei miei amici sono i miei amici.....

MODELLO DI WATTS STROGATZ

Modello di Watts Strogatz

- definisce di una rete regolare
 - griglia
 - anello con collegamenti con i nodi a distanza minore o uguale a k ...
- "sovrappone" a questa struttura regolare un insieme limitato di collegamenti generati in modo casuale
- la struttura regolare definisce un buon grado di clusterizzazione
- i collegamenti casuali garantiscono la proprietà di "small world"

SMALL WORLD: ROUTING

- Caratteristiche rilevate empiricamente dall'esperimento di Milgram
- esistono cammini di lunghezza limitata che connettono una qualsiasi coppia di individui
- gli individui sono in grado di **scoprire** questi cammini mediante una **conoscenza parziale (locale)** della rete
- perchè una qualsiasi coppia di individui è in grado di individuare in modo decentralizzato la catena limitata di conoscenza che li connettono?
- Quali caratteristiche della rete garantiscono l'esistenza di tale algoritmo di routing decentralizzato?

SMALL WORLD: ROUTING

Algoritmo di routing eseguito da ogni individuo:

- supponiamo che l'individuo sia posizionato nel vertice v di posizione $Pos(v)$ all'interno di una griglia in uno spazio d -dimensionale $Pos(v) = (x_1, x_2, \dots, x_d)$ dove tutti gli x_i sono interi. $x_i(v)$ è la posizione di v nella dimensione i .
- ogni individuo conosce la propria posizione, quella delle conoscenze dirette e quella del destinatario t (routing distribuito)
- il messaggio (la lettera) viene consegnata al conoscente w che è più vicino al destinatario. La misura della distanza $d_M(w,t)$ è la somma delle differenze in valore assoluto
$$|x_i(w) - x_i(t)|$$
 (Manhattan Distance).
- Gli individui sono in grado di utilizzare un routing distribuito per instradare il messaggio verso la destinazione

SMALL WORLD: ROUTING

- L'esperimento di Milgram suggerisce che la rete "incorpori" una conoscenza che consente di "guidare" il messaggio dalla sorgente alla destinazione, utilizzando ad ogni passo un insieme di conoscenze limitate.
- Milgram "Il messaggio si avvicina dal Nebraska al Massachusetts in modo progressivo. Ogni volta che una persona si aggiunge alla catena, il messaggio si avvicina (geograficamente) al target.

Il modello di Watts Strogatz

- garantisce la presenza di cammini brevi tra coppie di nodi, ma non garantisce l'esistenza di un algoritmo di routing decentralizzato che individui tali cammini
- la rete generata da Watts Strogatz non "incorpora" la conoscenza necessaria per definire il routing decentralizzato

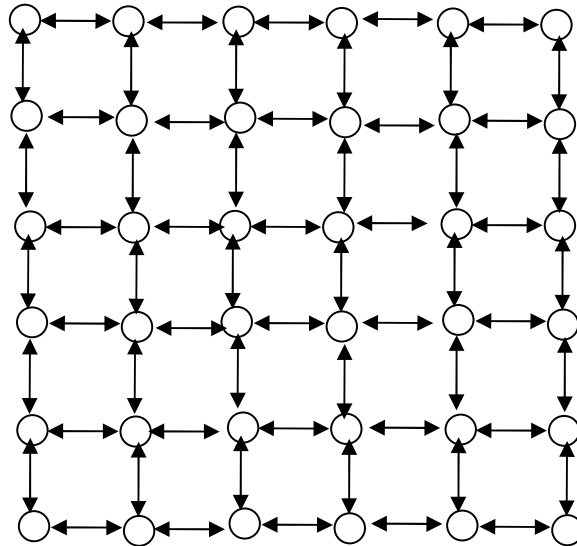
IL MODELLO DI KLEINBERG

- Reti con basso diametro
- Alto livello di clusterizzazione
- I contatti remoti vengono stabiliti tenendo conto della *geometria della rete*
- E' possibile definire un *algoritmo di routing decentralizzato*
- Utilizzato come modello base per la definizione degli overlay P2P
 - Symphony
 - SWOP
 - Freenet
 - Viceroy

IL MODELLO DI KLEINBERG

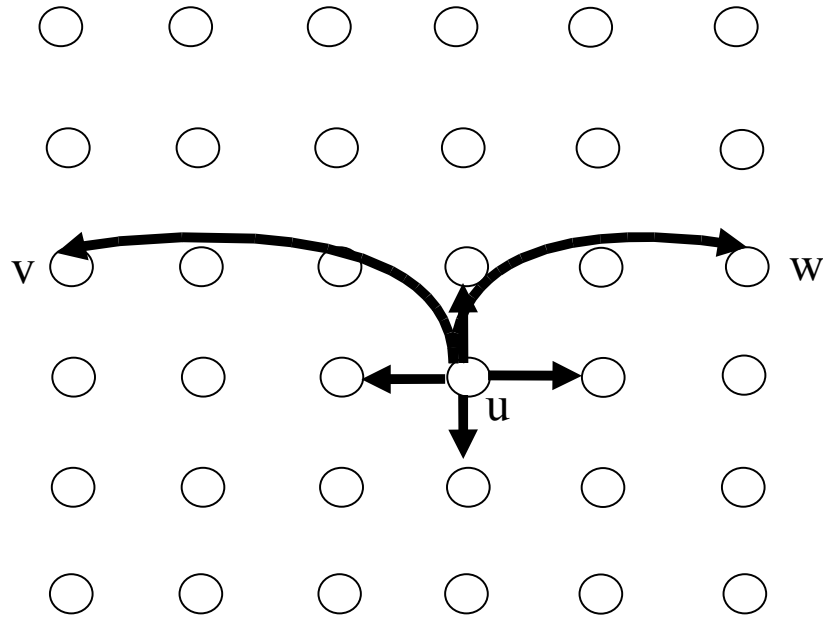
- considera un insieme di nodi corrispondenti ai punti di una griglia k dimensionale
- esempio: $k=2$ considera una griglia $n \times n$, che contiene i punti
$$\{(i,j) : i \in \{1,2,\dots,n\}, j \in \{1,2,\dots,n\}\}$$
- $d((i,j) \text{ e } (k,l)) = |k-i| + |l-j|$ distanza tra i nodi (i,j) e (k,l) .
- **Contatti locali:** data una costante $p \geq 1$, per ogni nodo u si definiscono archi diretti da u verso **qualsiasi nodo che si trova entro una distanza p** .
- **Contatti remoti:** data due costanti $q \geq 0$, $r \geq 0$, per ogni nodo u si definiscono **q archi diretti** da u verso q altri nodi.
l' i -esimo arco collega u al nodo v con probabilità $[d(u,v)^{-r}]$
 $d(u,v)$ denota la distanza tra u e v

IL MODELLO DI KLEINBERG



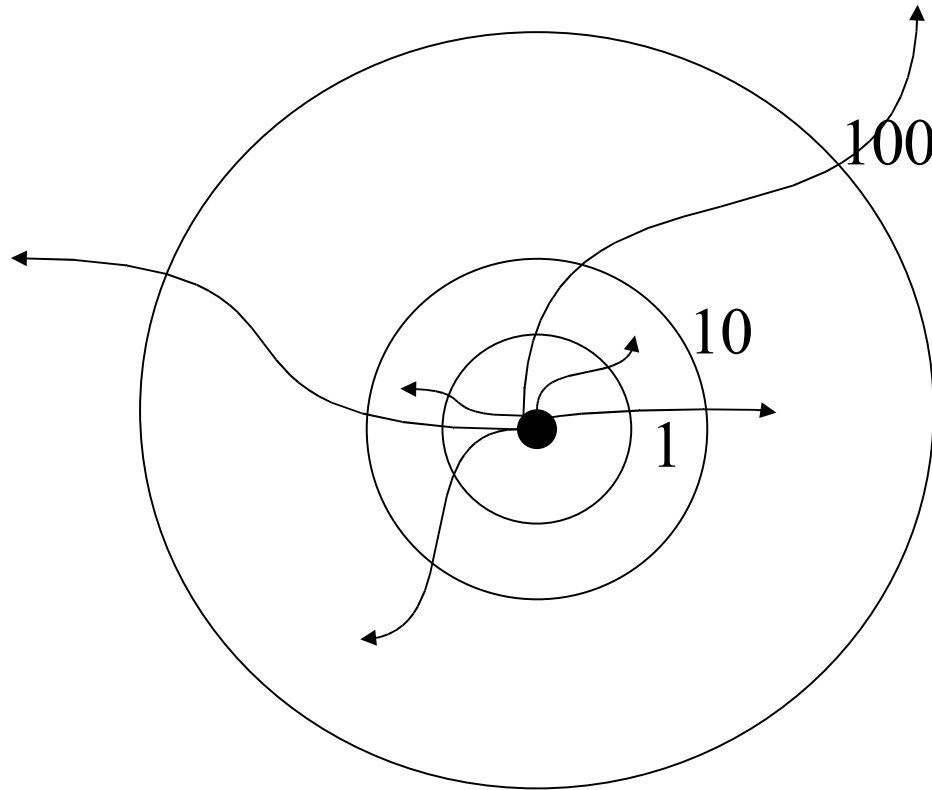
Una griglia bidimensionale, $n=6$, $p=1$, $q=0$

IL MODELLO DI KLEINBERG



Contatti del nodo u , $p=1$, $q=2$

IL MODELLO DI KLEINBERG



- La probabilità di aggiungere un link diminuisce con la potenza r -esima della distanza del target, dove r è il numero delle dimensioni
- Intuizione: probabilità uniforme su **tutte le fasce di distanza**

IL MODELLO DI KLEINBERG

- **Teorema (griglie bidimensionali):** Esiste un algoritmo di routing decentralizzato A ed una costante α_2 , indipendente da n , tale che il numero di passi impiegati da A per trasportare un messaggio dal mittente al destinatario è al più $\alpha_2 (\log n)^2$.
- **Modello di Watts Strogatz:**
 - i contatti remoti sono stabiliti in modo uniforme sulla griglia
 - non tengono conto della "geometria della griglia"
 - non si riesce a definire un algoritmo di routing distribuito
- **Modello di Kleinberg:**
 - La distribuzione dei contatti remoti è uniforme su diverse fasce di distanza
 - Si tiene conto della struttura della griglia
 - Esiste un algoritmo di routing distribuito

IL MODELLO GENERALE DI KLEINBERG

Modello generale:

- si parte con una griglia a d dimensioni
- sia $d_M(v,w)$ la distanza tra due nodi della rete. Tra due vertici v e w viene aggiunto un arco con probabilità

$$P(v, w) \sim d_M(v, w)^{-\alpha}$$

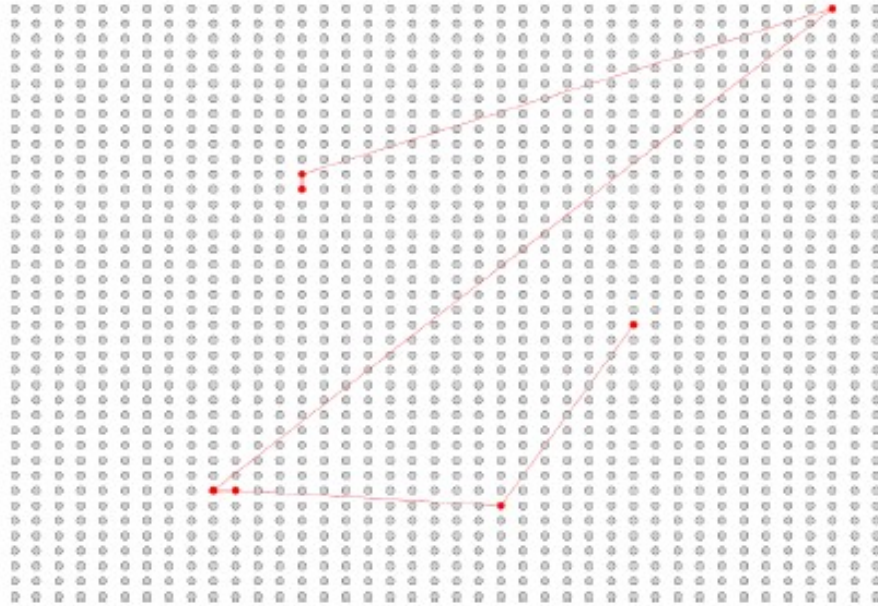
Teorema: L'algoritmo di routing riesce ad individuare un „cammino corto“, cioè un cammino di lunghezza $O(\log n)$ tra una coppia di vertici se e solo se $\alpha = d$.

KLEINBERG: IL ROUTING

Algoritmo di routing greedy

Ad ogni passo, scegliere tra i contatti locali e quelli remoti, il contatto che è più vicino al target, secondo la metrica utilizzata per misurare le distanze sulla griglia

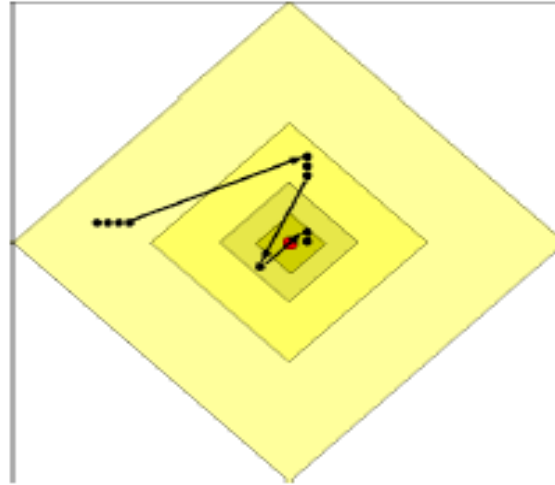
IL MODELLO DI KLEINBERG



Con α piccolo (es $\alpha=1$)

- i cammini brevi tra due nodi esistono, ma non si riesce a trovarli
- non riesco a definire un algoritmo decentralizzato che, contando solo su informazione locale, riesca a decidere qual è il prossimo passo verso la destinazione

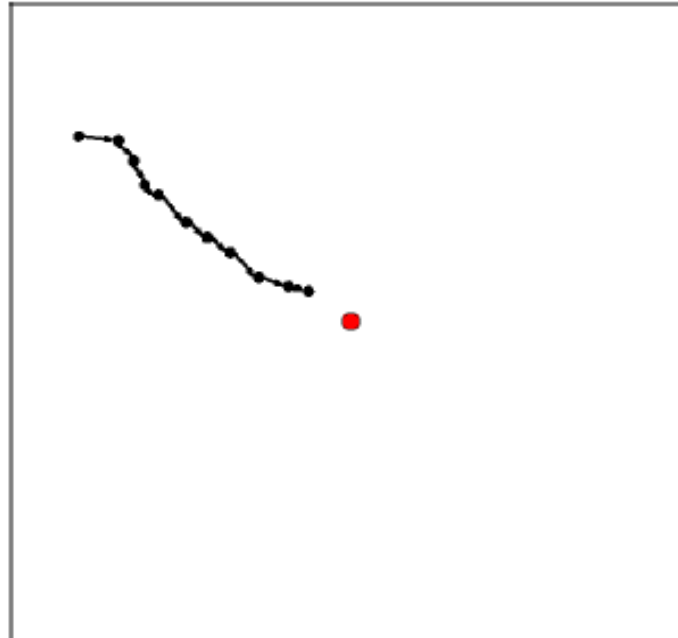
IL MODELLO DI KLEINBERG



Con $\alpha=2$

- mi muovo su fasce di distanze crescenti, avvicinandomi ad ogni passo al target
- in ogni fascia faccio un po' di hops sui contatti locali, poi cambio fascia

IL MODELLO DI KLEINBERG



- quando $\alpha > 2$ la navigazione è inefficiente
- i contatti remoti sono troppo brevi
- ad ogni passo non si progredisce abbastanza

IL MODELLO DI KLEINBERG: APPLICAZIONI P2P

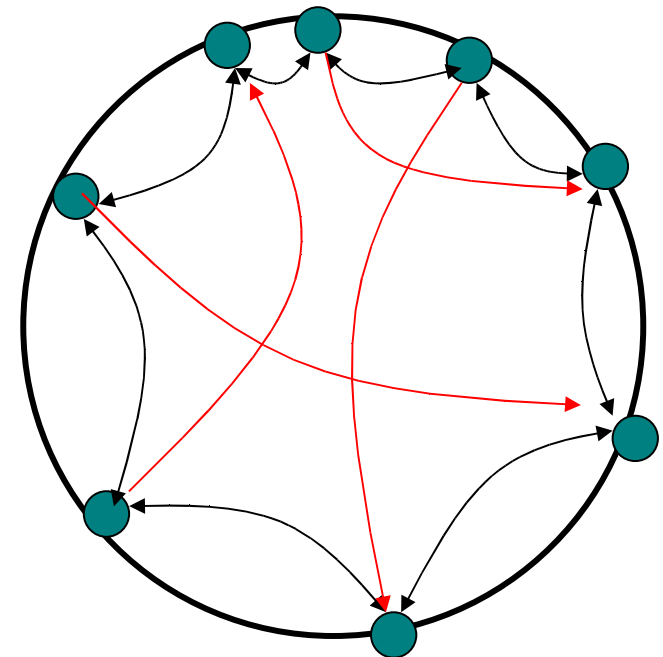
- Il modello è stato utilizzato per la definizione di reti P2P
 - Symphony
 - Small World Overlay Protocol (SWOP)
 - Viceroy
- Freenet: alcuni risultati sperimentali hanno dimostrato che, per un carico medio/basso della rete (in termini di numeri di files condivisi), il sistema evolve autonomamente in una rete small world

SYMPHONY: UN OVERLAY SMALL WORLD

- Symphony: Distributed Hashing in A Small World, Manku, Bawa, Raghavan (Stanford)
- struttura di base analoga a Chord: gli identificatori sono associati, mediante funzione hash, a nodi e ad informazioni. Gli identificatori sono assegnati nell'intervallo $[0,1]$, nell'**anello unitario**
- i nodi vengono inseriti logicamente su un anello di lunghezza unitario, in base al loro identificatore
- **segment of responsibility** : ogni nodo è responsabile di tutti quelle informazioni con identificatore **maggiore o uguale** al proprio identificatore e minore o uguale all'identificatore del nodo successivo, in senso orario

SYMPHONY: UN OVERLAY SMALL WORLD

- I nodi e le chiavi sono mappati sull'anello unitario
- Ogni nodo n stabilisce k collegamenti con il suo predecessore e con il successore
- Vengono aggiunti k long distance links
- ogni link è stabilito
 - estraendo un numero random x secondo una certa distribuzione di probabilità
 - stabilendo un long range link con il nodo che gestisce il punto distante, in senso orario, x da n



SYMPHONY: UN OVERLAY SMALL WORLD

La distribuzione di probabilità utilizzata è la seguente:

$$p_n(x) = 1/(x \log n)$$

dove

- n è il numero totale di nodi presenti sull'anello
- $x \in [1/n, 1]$ è la distanza sull'anello del target dal nodo sorgente del long range link
- Il nome Symphony deriva dalla **distribuzione armonica**
- La distribuzione armonica
 - Favorisce i link verso punti molto distanti se il sistema contiene pochi nodi
 - Mano a mano che il sistema cresce favorisce long links verso nodi più vicini

SYMPHONY: UNA OVERLAY SMALL WORLD

Implementazione per stabilire il target di un long range link

- Estrarre un numero casuale C compreso tra 0 ed 1
- Individuare il valore x per cui l'integrale della funzione distribuzione calcolato tra $1/n$ ed x vale y
- la formula risultante è la seguente

$$x = \exp(\log(n) * (y - 1.0))$$

SYMPHONY: UN OVERLAY SMALL WORLD

- Algoritmo di routing greedy (alla Kleinberg):
quando un nodo n ricerca una chiave $H \in I$, n invia la chiave lungo il link(short o long range) che **minimizza la distanza**, calcolata in senso orario, con H
- Teorema:
Il numero medio di nodi che devono essere contattati prima di raggiungere il nodo che gestisce H è, per una rete con n nodi e con K long range links
$$O(1/K \log^2 n)$$
- Se $k = \log n$ il routing richiede $O(\log n)$ hops
- Il risultato è valido solo se la distribuzione di probabilità è armonica. Se, ad esempio, si sceglie una distribuzione uniforme l'ordine di complessità va come la radice di n .

SYMPHONY: UN OVERLAY SMALL WORLD

- E' possibile stabilire un limite superiore K per il numero di connessioni aperte da ogni nodo
- K non è fissato dal protocollo, può essere stabilito al momento della configurazione del sistema
- Un nodo scelto come target di un long range link, può rifiutare la connessione, se ha già superato il limite di K connessioni aperte
- In questo caso, il nodo che ha richiesto la connessione (quello che ha tentato di stabilire il long range link) , determina un nuovo valore di x , applicando la distribuzione armonica
- Symphony controlla anche che non vengano stabiliti links multipli tra la stessa coppia di nodi

SYMPHONY: UN OVERLAY SMALL WORLD

- **Stima del numero di nodi presenti sulla rete:** per valutare la distribuzione di probabilità, è necessario che ogni nodo conosca il numero totale di nodi sull'anello Symphony
- La stima esatta del numero di nodi può essere complessa specie nel caso di frequenti inserzioni/eliminazioni di nodi
- Definizione di un'euristica basata sulla seguente osservazione:
Se X_s rappresenta la somma delle lunghezze dei segmenti dell'anello Symphony gestiti da s nodi distinti, allora è possibile approssimare il numero di nodi presenti su quell'anello con il valore s/X_s
- In pratica $s=3$. Ogni nodo deve conoscere la lunghezza del segmento che esso gestisce e la lunghezza dei segmenti gestiti dai suoi vicini

SYMPHONY: UN OVERLAY SMALL WORLD

- Idea: se la scelta degli identificatori Symphony è uniforme sull'anello, ogni nodo gestisce approssimativamente un segmento di lunghezza $1/n$.
- Consideriamo s nodi:
 - Se la distribuzione degli identificatori è uniforme, ogni nodo gestisce un segmento di lunghezza $1/n$
 - la somma delle lunghezze dei segmenti assegnati a quei tre nodi è approssimativamente s/n
 - Il numero totale dei nodi può quindi essere approssimato con il valore v

$$v = s / (s/n) = n$$

SYMPHONY: UN OVERLAY SMALL WORLD

Inserimento di un nuovo nodo n nell'anello:

- scelta (funzione hash) dell'identificatore id di n nell'intervallo $[0,1]$
- contatto con un nodo di bootstrap B di indirizzo noto
- individuazione del nodo che gestisce id , mediante routing greedy
- connessione ai vicini sull'anello (**contatti locali**)
- stima del numero di nodi presenti sull'anello Symphony
- connessione con k nodi scelti in modo casuale (**contatti remoti**)

- si sceglie un valore $x \in [0,1]$ con probabilità

$$P(X == x) = 1/(x * \log n)$$

dove n è il numero di nodi della rete

- si tenta di stabilire un collegamento remoto con il nodo che gestisce il punto distante x
- I long range links vengono aggiornati periodicamente per tener conto delle entrate/uscite dall'anello Symphony

SYMPHONY: UN OVERLAY SMALL WORLD

Uscita volontaria di un nodo n dall'anello:

- Eliminazione di tutti long range links
- Notifica a tutti i nodi y per cui n è target di un long range link, dell'uscita di n dall'anello
- Ogni y deve individuare un nuovo target per il suo long range link
- I vicini di n aggiornano i propri short range links
- I vicini di n rieseguoano l'euristica per l'individuazione del numero di nodi sulla rete

SYMPHONY: UN OVERLAY SMALL WORLD

- Due nodi collegati da un long range link si scambiano periodicamente dei messaggi di keep alive
- **Look ahead:** insieme ai messaggi di keep alive, ogni nodo invia il riferimento ai propri long range links
- In questo modo, ogni nodo mantiene una lista dei vicini dei suoi vicini
- Questa lista può essere utilizzata per migliorare la scelta del vicino a cui inviare una query
- Esempio: se ho due vicini e possiedo la lista dei vicini dei miei vicini, invio la query al vicino nella cui lista compare il vicino più prossimo alla destinazione della query

SYMPHONY: CONCLUSIONI

- **Algoritmo di routing greedy** (alla Kleinberg): ogni richiesta viene instradata verso il nodo che gestisce il segmento "più vicino" alla chiave contenuta nella richiesta
- **Teorema:** il numero medio di passi effettuati dall'algoritmo di routing di Symphony con $k = O(1)$ connessioni remote stabilite da ogni nodo è inversamente proporzionale a k e proporzionale a $(\log n)^2$

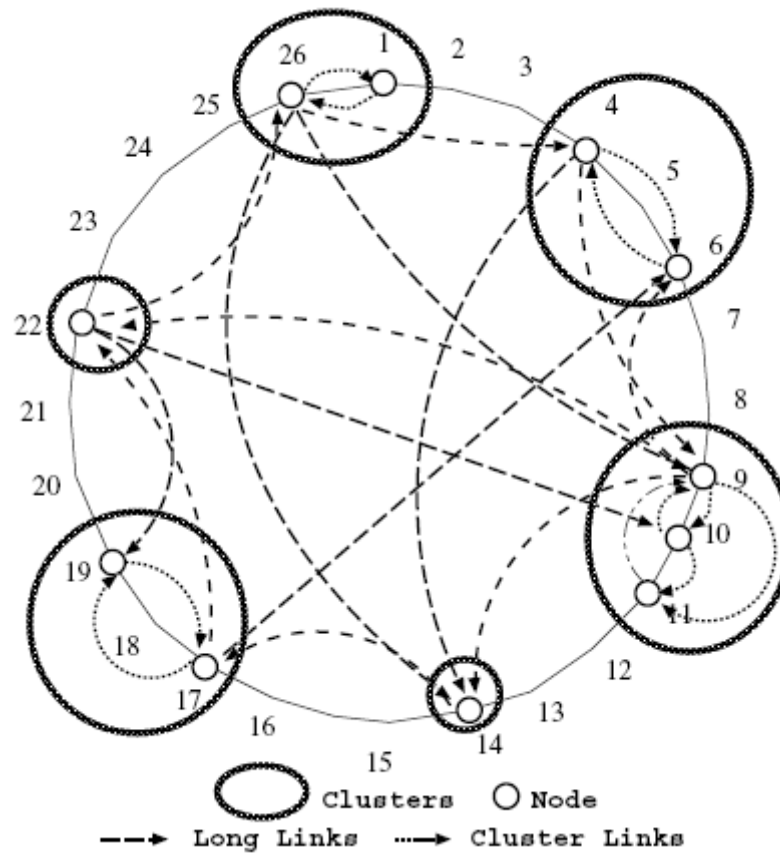
SWOP: SMALL WORLD OVERLAY

- SWOP: Small World Overlay P2P Network (Hui, Lui, Yau)
- Obiettivi principali:
 - Routing efficiente
 - Possibilità di accedere in modo efficiente ad informazioni molto richieste anche in situazioni critiche
- Basato sulla definizione di un anello di identificatori
- I nodi sull'anello possono organizzarsi **in clusters**
- Clusters diversi sono collegati da long range links
- La ricerca all'interno di uno stesso cluster risulta più efficiente

SWOP: SMALL WORLD OVERLAY

- Nodi SWOP: head nodes, inner nodes
- Esiste un unico head node per ogni cluster,
- Ogni head node possiede k long range links e dei cluster links verso tutti i nodi all'interno del proprio cluster
- Un inner node contiene un cluster link verso l'head node del proprio cluster ed alcuni cluster links verso altri nodi del cluster
- Link SWOP: long range links, cluster links
 - Long range links: connettono nodi di cluster diversi
 - Cluster links: connettono nodi dello stesso cluster

SWOP: SMALL WORLD OVERLAY



SWOP: SMALL WORLD OVERLAY

Join Cluster Protocol. Quando un nodo n si inserisce in un sistema SWOP

- sceglie un identificatore, mediante la solita procedura
- calcola la distanza con i suoi nodi successore e predecessore
- se le distanze superano una certa soglia, n forma un nuovo cluster
- se le distanza con il nodo predecessore/successore è inferiore al valore soglia, e se la dimensione del cluster del predecessore/successore è pure inferiore ad un valore soglia, n si unisce al cluster del predecessore/successore, altrimenti crea un nuovo cluster
- N decide se diventare l'head node del cluster. In questo caso crea un inner link verso tutti gli altri nodi del cluster ed i long range links

SWOP: SMALL WORLD OVERLAY

- I long range links vengono stabiliti considerando una distribuzione di probabilità simile a quella di Symphony

$$P(X = x) = 1/(x * \log m), x \in [1, m]$$

Dove m è il numero di clusters presenti nella rete SWAP

SWOP: ROUTING

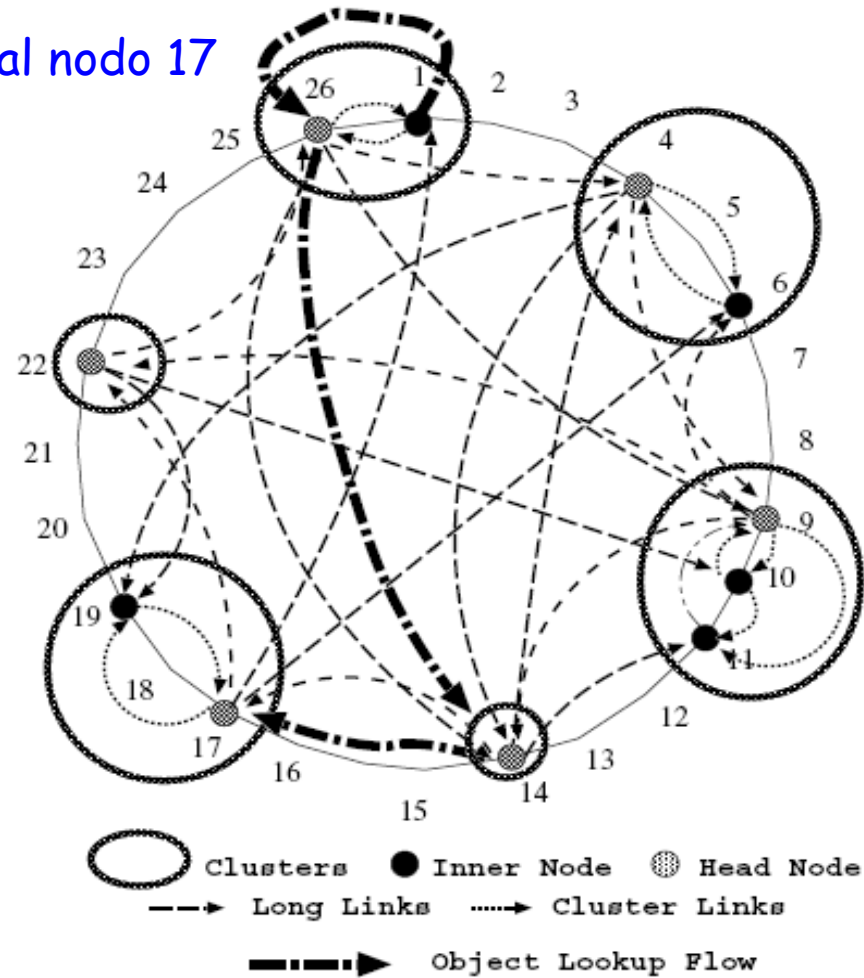
Il protocollo di routing prevede due fasi

Fase 1: il node che effettua la query chiede agli altri nodi all'interno dello stesso cluster se posseggono il dato ricercato. La ricerca in generale coinvolge il nodo header del cluster

Fase 2: Se la fase 1 ha dato esito negativo, la query viene propagata all'head node del cluster che la propaga utilizzando il long range link. In questo caso si segue un algoritmo di routing greedy, simile a quello di Symphony

SWOP ROUTING

Il nodo 1 ricerca
la chiave 16, gestita dal nodo 17



SWOP: GESTIONE DI FLASH CROWDS

- **Flash crowd:** un elevato numero di utenti tenta di accedere allo stesso oggetto in un breve intervallo di tempo
- Esempio: crash del server CNN dopo l'11/9
- Soluzione: replicazione dell'oggetto all'interno di più clusters
- Quando la quantità di richieste per un oggetto ricevute da un certo nodo supera una soglia, il nodo inizia spontaneamente il processo di replicazione
- Il nodo utilizza i suoi long range links per propagare l'oggetto sui cluster collegati mediante tali links
- Routing: se l'oggetto è memorizzato da qualche nodo nello stesso cluster, la ricerca rimane confinata all'interno del cluster
- Altrimenti si utilizza un long range link, secondo l'approccio greedy.
- Il sistema si autoorganizza replicando gli oggetti 'più popolari' mediante i long range links
- I cluster remoti si comportano come cache nei confronti dell'oggetto ricevuto