

Chap2. LE ROUTAGE

Introduction

- ✓ La fonction principale de la couche réseau est de router des paquets d'une machine source vers une machine de destination.
- ✓ Les paquets doivent traverser plusieurs tronçons et routeurs intermédiaires avant d'atteindre leur destination.
- ✓ L'algorithme de routage est la partie de la couche réseau qui est responsable du choix des lignes de sorties, sur lesquelles envoyer les paquets entrants

Introduction

Les algorithmes de routage sont répartis en deux catégories:

- **Les Algorithmes non adaptatifs** : ils ne fondent pas leurs décisions de routage sur des mesures ou des estimations du trafic et de la topologie du réseau. Le choix d'une route pour aller d'un routeur A à un routeur B est calculée par avance, hors ligne. On l'appelle le **routage statique**.
- **Les Algorithmes adaptatifs** : ils modifient leurs décisions dynamiquement pour s'adapter au changement au niveau de la topologie et du trafic du réseau (routeurs en panne, saturation d'une ligne de communication ou bien choix d'une route en fonction des métriques utilisées, ...)

Modélisation d'un sous-réseau

- Idée : représentation d'un sous-réseau à l'aide d'un graphe où :
 - routeur = sommet
 - ligne de communication = arc
 - longueur d'un chemin = nombre de sauts.
- Pour le choix d'une route entre 2 routeurs, l'algorithme se sert des outils de la théorie des graphes pour trouver **le plus court chemin** qui les sépare.

Principe d'optimalité

Le **principe d'optimalité** stipule que si un routeur J, se trouve sur le chemin optimal reliant un routeur I à un routeur K, le chemin optimal de J à K se situe aussi sur ce parcours.

Illustration: soit r_1 la portion entre I et J et r_2 la portion restante. S'il existait une meilleure route que celle-ci pour aller de J à K, elle pourrait être concaténée à r_1 pour améliorer la route de I à K s'opposant ainsi à notre principe. En effet selon ce principe **r_1r_2 est la route optimale.**

Arbre collecteur

- Le principe d'optimalité a pour conséquence directe que l'ensemble des routes optimales de toutes les routes vers une destination donnée forment un arbre dont la destination est la racine.
- Un tel arbre est appelé **ARBRE COLLECTEUR**, ou la métrique est le nombre de sauts.

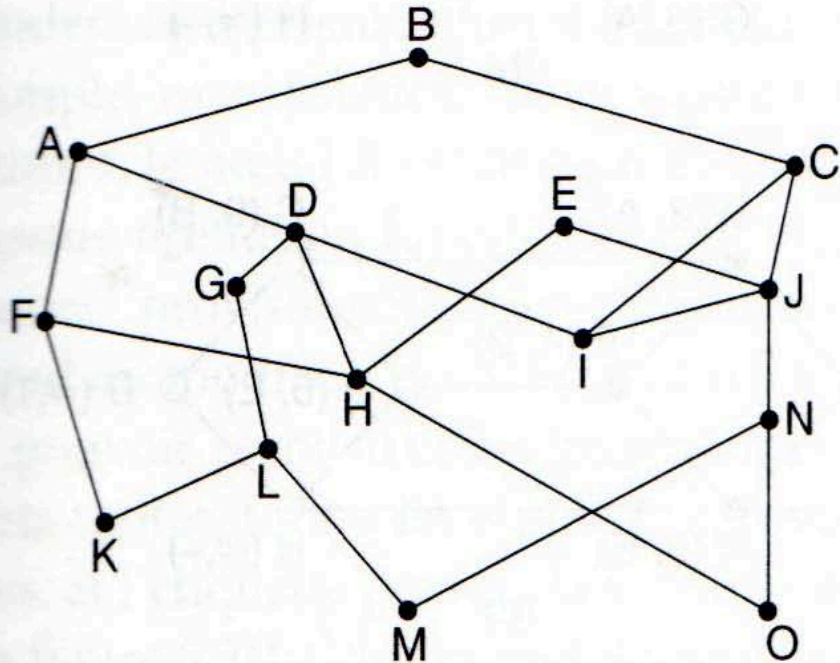
NB: un tel arbre n'est pas unique.

- L'objectif de tout algorithme de routage est d'utiliser des arbres collecteurs pour tous les routeurs.

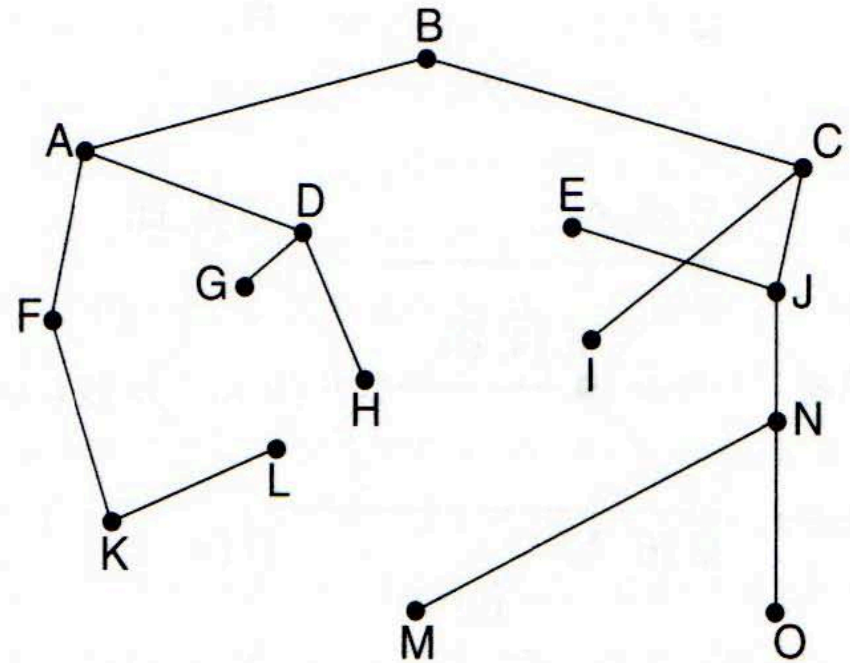
Exemple d'arbre collecteur

(a) sous réseau

(b) arbre collecteur



(a)



(b)

Arbre collecteur

- Un arbre collecteur est un arbre avec toute sa logique; il ne contient pas de boucle et chaque paquet arrive à destination après un nombre fini de sauts.
- Dans la pratique, ce n'est pas aussi simple , la topologie peut être faussée par la dynamique du réseau :
 - risque de pannes de routeurs
 - Disparition de routeurs puis réapparition

Critère d'optimalité

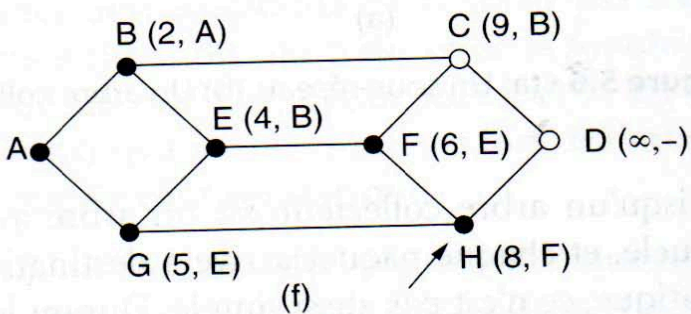
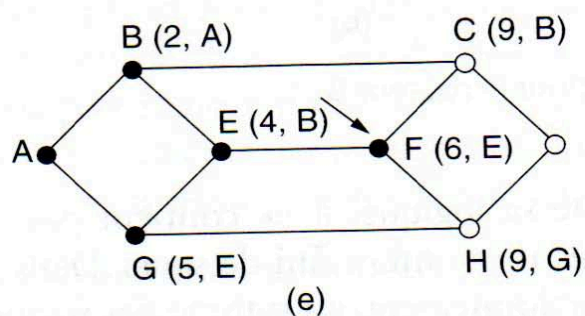
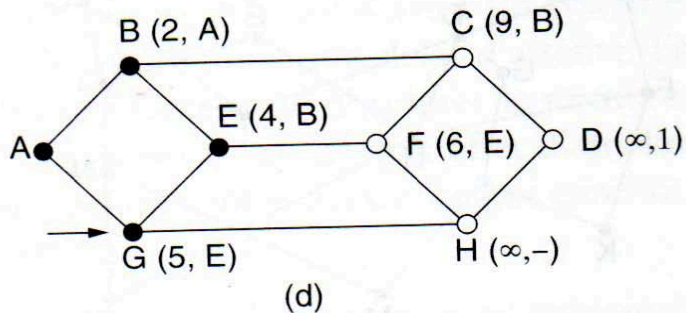
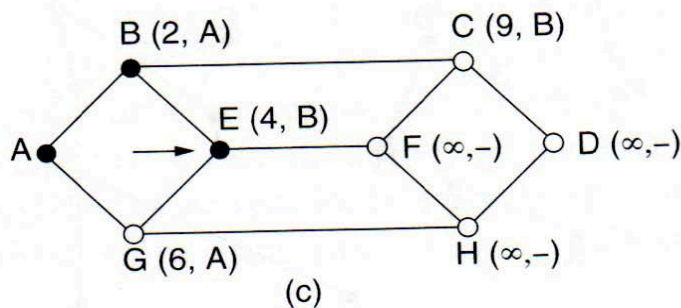
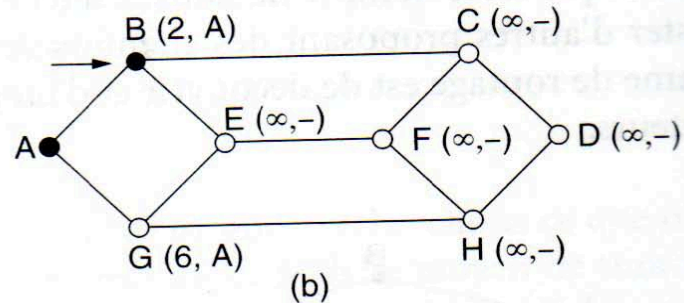
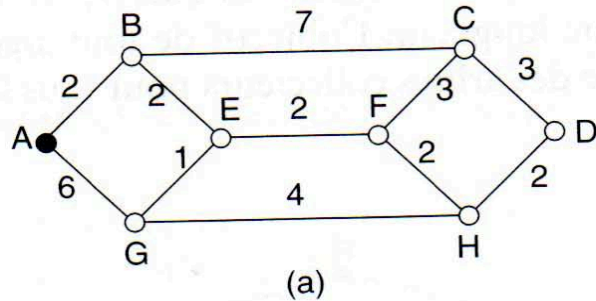
- Nous n'avons rien dit de la façon dont un routeur doit obtenir les informations qui lui permettent de calculer son arbre? Doit-t-il se tenir au courant individuellement ou y a-t-il d'autres moyens ?
- En tout cas le **principe d'optimalité** et l'**arbre collecteur** fournissent bien une base de référence pour évaluer les **algorithmes de routage**

Routage du plus court chemin

Une fois le ss-réseau modélisé par un graphe.
Pour mesurer la longueur d'un chemin , on peut compter tout simplement le nombre de sauts.

Avec cette métrique par exemple , les chemins :
ABC et ABE ont la même longueur (voir figure ci-dessous, alors qu'avec les distances $ABC > ABE$
Chaque flèche indique le nœud actif.

Calcul du plus court chemin entre A et D (5 étapes)



Autres métriques

Dans le cas général, les étiquettes associées aux segments pourraient être calculées sous forme d'une fonction de la:

- distance
- bande passante
- trafic moyen
- coût de communication
- longueur des files d'attente
- ... etc

Algorithme de Djisktra peut être utilisé pour calculer le plus court chemin entre deux routeurs.

Algorithme de Dijkstra

Il existe plusieurs algorithmes de calcul du plus court chemin. Ex : Dijkstra (1959):

- Chaque nœud est étiqueté (valeur entre parenthèse) avec sa distance par rapport à un nœud source, le long du meilleur chemin connu.

Au début aucun chemin n'est connu et tous les nœuds sont initialisés avec la valeur ∞ .

Algo de Dijkstra

- A mesure que l'algorithme progresse et découvre les routes, les étiquettes peuvent changer pour refléter les meilleurs parcours.
- Les étiquettes peuvent être provisoires ou permanentes : elles sont toutes provisoires au début.
- Lorsque l'algorithme constate qu'une étiquette indique le plus court chemin entre la source et le nœud en question elle devient permanente et ne change plus.

Exemple de déroulement

- Pour illustrer le fonctionnement de cet algorithme : voir le calcul du plus court chemin entre A et D vu précédemment.
- A est marqué comme permanent, signalé par un cercle plein. Chaque nœud adjacent est analysé et étiqueté provisoirement avec sa distance puisque c'est lui qui est actif.
- Lorsque le nœud est modifié, on inscrit aussi le nœud à partir duquel le chemin est réalisé.

Déroulement de l'algorithme

- Une fois les nœuds adjacents traités, toutes les étiquettes provisoires dans l'ensemble du graphe sont examinées et l'étiquette portant la valeur la plus basse devient permanente comme indiqué à la figure ci-dessus. Son nœud devient alors le nouveau nœud actif en l'occurrence B.
- On repart de B, et on refait la même chose et ainsi de suite
- La figure de l'exemple illustre les 5 premières étapes.

Routage par inondation

- Le routage par inondation est une technique de routage statique, qui consiste à envoyer chaque paquet entrant sur chaque ligne de sortie, exceptée celle par laquelle il est arrivé.
- Cette technique génère un grand nombre de paquets dupliqués, en fait infini, si aucune mesure n'est prise.

Solutions

- Inclure un compteur de sauts dans l'entête de chacun des paquets, dont la valeur est décrémentée à chaque saut. Le paquet est éliminé une fois la valeur zéro, atteinte.

Conditions:

- Initialiser le compteur avec la longueur du chemin qui sépare la destination de la source.
- Si longueur non connue, une valeur par excès (cas le + défavorable), est affectée au compteur c'est-à-dire le diamètre du grand réseau.

Algorithmes de Routage

Les réseaux informatiques modernes emploient plutôt des algorithmes de routage dynamique.

Les deux algorithmes les plus connus sont:

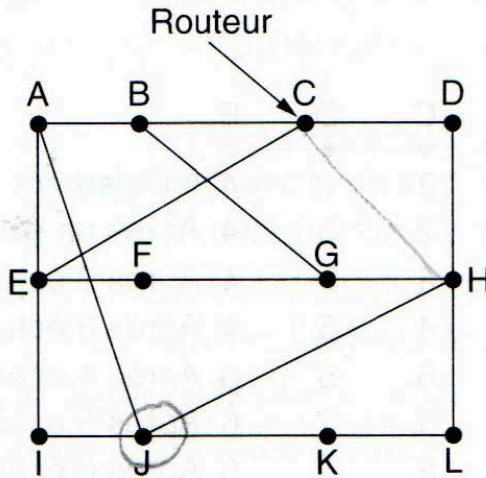
- Algorithme à Vecteurs de Distance
- Algorithme par Information d'Etat de Lien.

Nécessité de maintenir une TABLE DE ROUTAGE

Routage par Vecteur de Distance (Distance Vector Routing)

- Routage par vecteur de distance (Distance Vector Routing)
- Chaque routeur maintient sa propre table de routage, c'est-à-dire un vecteur qui lui indique la meilleure distance vers chaque ligne de destination et la ligne à utiliser dans chaque cas. Il met régulièrement sa table à jour avec les informations reçues des routeurs voisins.

Routage par vecteur de distance (distance vector routing)



Vers	A	I	H	K	Nouveaux délais depuis J ↓ Ligne	
A	0	24	20	21	8	A
B	12	36	31	28	20	A
C	25	18	19	36	28	I
D	40	27	8	24	20	H
E	14	7	30	22	17	I
F	23	20	19	40	30	I
G	18	31	6	31	18	H
H	17	20	0	19	12	H
I	21	0	14	22	10	I
J	9	11	7	10	0	□
K	24	22	22	0	6	K
L	29	33	9	9	15	K

Délai JA de 8 Délai JI de 10 Délai JH de 12 Délai JK de 6

Vecteurs reçus des quatre voisins de J

Nouvelle table de routage de J

(a)

(b)

Comment J calcule sa nouvelle route vers G ?

- Il sait (J) qu'il peut atteindre G en 8 ms, et A prétend compte atteindre G en 18 ms. Par conséquent J estime pouvoir envoyer 1 paquet à G en 26 ms, via A. Il effectue le même calcul pour chacun de ses voisins, I, H, K.
- Il obtient respectivement : 41 (31 +10); 18(6+2); et 37 (31+6). La meilleure valeur est 18. Il crée une entrée dans sa table de routage en indiquant un délai de **18 ms vers G**, et ce en passant **par H**.
- Le même calcul est réalisé pour ttes les destinations ➔ Nouvelle table de routage pour J

Routage par informations d'état de lien (Link State Routing)

Idée:

- 1) Découvrir les routeurs voisins et leur adresse de réseau
- 2) Calculer le délai d'acheminement où le coût impliqué pour atteindre chaque voisin
- 3) Construire un paquet spécial contenant les informations qu'il vient de découvrir
- 4) Envoyer ce paquet à tous les autres routeurs
- 5) Calculer le plus court chemin vers chaque routeur.

Dans la pratique, la topologie complète et tous les délais sont mesurés expérimentalement. L'algorithme Dijkstra peut ensuite être exécuté pour calculer le + court chemin vers chaque routeur

Découverte de voisins

- Lorsque un routeur démarre, la première tâche qu'il accomplit est de découvrir, l'identité de ses voisins.
- Envoi d'un paquet spécial HELLO, sur chaque ligne point à point.
- Réponse de tous les routeurs qui le reçoivent .

Mesure du coût de la ligne

Le moyen direct d'avoir une estimation des délais d'acheminement est :

- envoi d'un paquet spécial ECHO, que les autres routeurs doivent immédiatement renvoyer.

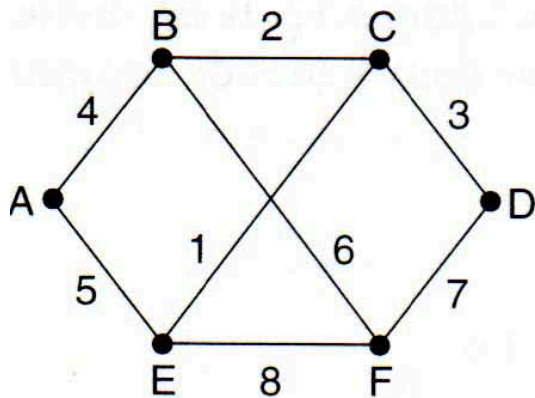
Mesure du temps pris : (aller-retour / 2).

Ce test peut être répété plusieurs fois afin de calculer la moyenne?

Elaboration des paquets d'état de lien

- Construction d'un paquet contenant toutes les données à transmettre.
- Le paquet débute avec l'identité de son émetteur , suivi d'un numéro de séquence, d'un âge et d'une liste de voisins directs .
- Pour chaque voisin , le délai pour l'atteindre est aussi indiqué. La figure ci-dessous illustre un exemple de ss-réseau. Les paquets d'information des 6 routeurs sont également illustrés.

Elaboration des paquets d'état de lien



(a)

Lien		État		Paquets	
B		C		E	
Séq.		Séq.		Séq.	
Âge		Âge		Âge	
A	4	B	2	A	5
C	2	D	3	C	1
F	6	E	1	F	8

(b)

Distribution des paquets d'état de lien

- La partie la plus délicate de l'algorithme de routage par état de lien, est la distribution fiable des paquets d'informations :
- à mesure qu'ils sont distribués et appliqués, les routeurs qui reçoivent les premiers paquets peuvent changer leurs routes. Les Topologies changent, ce qui peut conduire à des incohérences, des boucles de routage, des machines inaccessibles
- Des solutions existent: (num de séquence, âge ,..

Routage hiérarchique.