

# Chapitre 5

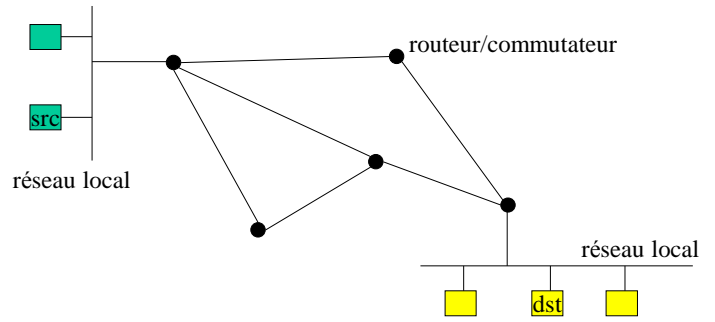
## Couche Réseau : Principes

05/12/03

Couche Réseau

1

## Transmission indirecte



05/12/03

Couche Réseau

5

## Plan

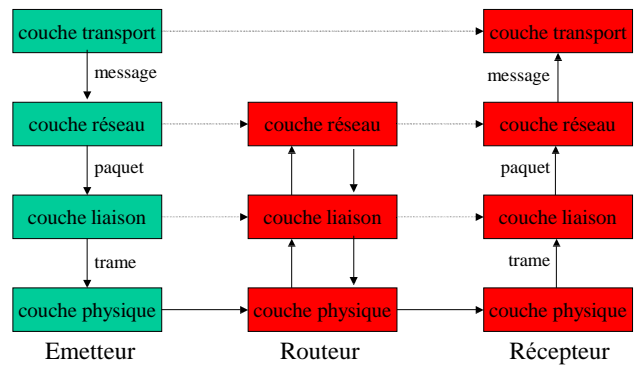
- Introduction
- Commutation et routage
- Adressage
  - X25-3 et IP
- Calcul d'une route
  - algorithmes statiques, dynamiques et autres
- Contrôle de congestion
  - en boucle ouverte et fermée

05/12/03

Couche Réseau

2

## Description



05/12/03

Couche Réseau

6

## Introduction

05/12/03

Couche Réseau

3

## Description

- Sur la machine source
  - la couche réseau récupère des messages de la couche transport,
  - pour chaque message, elle construit un (ou plusieurs) paquet(s),
  - la couche réseau envoie chaque paquet à la couche liaison.

05/12/03

Couche Réseau

7

## Couche réseau

- Cette couche doit permettre une transmission entre 2 machines.
- Celles-ci ne sont pas nécessairement directement connectés.
- Les données sont fractionnées en paquets.

05/12/03

Couche Réseau

4

## Description

- Sur chaque machine intermédiaire (routeur)
  - la couche réseau récupère les paquets de la couche liaison,
  - pour chacun d'entre eux, elle construit un nouveau paquet,
  - la couche réseau envoie chaque paquet à la couche liaison.

05/12/03

Couche Réseau

8

## Description

- Sur la machine destination,
  - la couche réseau récupère des paquets de la couche liaison,
  - Elle extrait les données de chaque paquet et les envoie à la couche transport

05/12/03

Couche Réseau

9

## Service en mode connecté

- Point de vue des opérateurs réseaux
- Une connexion
  - doit être établie préalablement à tout envoi entre deux machines.
  - est appelée circuit virtuel (par analogie avec les circuits physiques du système téléphonique)
- Chaque paquet comprend une référence représentant le numéro du circuit virtuel.
- Une route est calculée à chaque connexion

05/12/03

Couche Réseau

13

## Services offerts

- Adressage logique universel
- Commutation/Routage
- Contrôle de congestion
  
- Contrôle d'erreur et de flux

05/12/03

Couche Réseau

10

## Commutation

- La commutation est utilisée en mode connecté. Elle consiste à :
  - calculer une route au moment de la connexion
  - emprunter cette route pour transférer chaque paquet tant que dure la connexion.
- Les équipements permettant la commutation s'appellent des commutateurs.

05/12/03

Couche Réseau

14

## Commutation et Routage

05/12/03

Couche Réseau

11

## Service en mode non connecté

- Point de vue de la communauté Internet
- Le sous-réseau est peu fiable
- Chaque paquet
  - est transporté de façon indépendante.
  - comprend l'adresse de destination
  - est appelé datagramme (par analogie avec le télégramme)
- Une route est calculée pour chaque paquet

05/12/03

Couche Réseau

15

## Modes de communication

- Au niveau de la couche réseau, deux modes de communication « s'affrontent » :
  - mode connecté
  - mode non connecté

05/12/03

Couche Réseau

12

## Routage

- Le routage est utilisé en mode non connecté. Il consiste à :
  - calculer une route pour transférer chaque paquet
- Les équipements permettant le routage s'appellent des routeurs.

05/12/03

Couche Réseau

16

## Avantage de la commutation

- Efficacité
  - Temps : il n'est pas nécessaire de recalculer une route pour chaque paquet.
  - Espace : une table de commutation à chaque nœud (commutateur) gère les références actives des circuits virtuels. Son encombrement est faible.

05/12/03

Couche Réseau

17

## Exemples d'adressage

- Adressage en mode connecté
  - X25-3
- Adressage en mode non connecté
  - IP

05/12/03

Couche Réseau

21

## Avantage du routage

- Souplesse
  - chaque paquet peut emprunter un chemin différent
  - en cas de congestion ou de panne, cela s'avère particulièrement intéressant.

05/12/03

Couche Réseau

18

## Adressage

X25-3

05/12/03

Couche Réseau

22

## Adressage

05/12/03

Couche Réseau

19

## X25-3

- La norme X25 définit un protocole de niveau 3 (couche réseau) en mode connecté.
- Une connexion (circuit virtuel) doit donc être établie avant tout transfert de données.
- Un adressage « universel » X121 est utilisé (uniquement) lors de l'établissement d'une connexion.

05/12/03

Couche Réseau

23

## Adressage

- Il est nécessaire de pouvoir désigner toute machine quelconque accessible directement ou indirectement.
- Les adresses physiques sont propres aux différentes technologies (Ethernet, ...)
- Il faut donc introduire un mécanisme d'adressage universel.

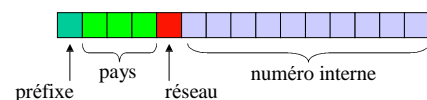
05/12/03

Couche Réseau

20

## X121

- Cette norme définit un mode d'identification unique sur 14 chiffres.



05/12/03

Couche Réseau

24

## X121

- Le champ préfixe peut correspondre à :
  - 0 : communication internationale
  - 1 : accès direct via une liaison spécialisée
- Le champ pays correspond à des numéros réservés par pays :
  - 310 à 329 pour les USA
  - 208 à 212 pour la France
- Le champ réseau correspond à un numéro (valeur de 0 à 9) de réseau (complément du champ pays)

05/12/03

Couche Réseau

25

## Etablissement d'un circuit virtuel

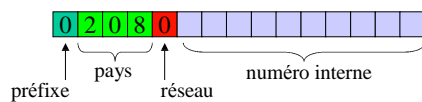
- Un circuit virtuel est établi :
  - en utilisant un adressage X121
  - en allouant une voie logique sur chaque liaison
- Le circuit virtuel est identifié par la séquence des voies logiques utilisées.
- Un circuit virtuel conserve l'ordre des paquets et autorise l'échange full duplex.

05/12/03

Couche Réseau

29

## Exemple



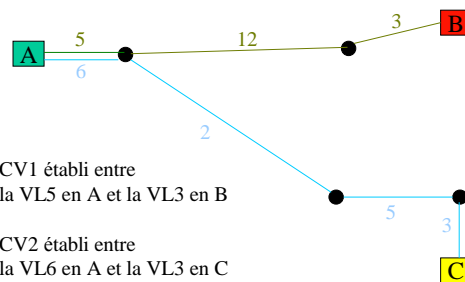
- Il s'agit (2080) du numéro international de Transpac.

05/12/03

Couche Réseau

26

## Exemple

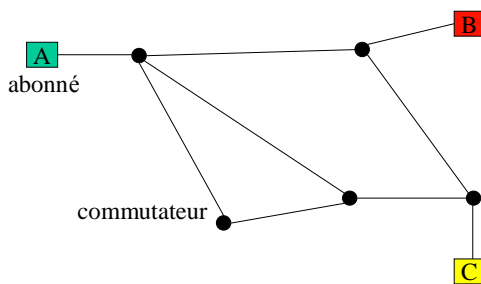


05/12/03

Couche Réseau

30

## Réseau X25



05/12/03

Couche Réseau

27

## Utilisation du circuit virtuel

- Une fois le circuit virtuel établi, il n'est plus nécessaire de transporter l'adresse complète (codé sur 15 chiffres) dans chaque paquet.
- En effet, il est possible d'utiliser simplement le numéro de voie logique (codé sur 12 bits) comme adresse.

05/12/03

Couche Réseau

31

## Accès au réseau

- L'accès d'un abonné à un réseau X25 est effectué généralement via une liaison spécialisée.
- A un instant donné, plusieurs canaux ou voies logiques peuvent utiliser le même canal grâce au multiplexage.

05/12/03

Couche Réseau

28

## Adressage

IP

05/12/03

Couche Réseau

32



## Calcul d'une route

- Pour passer d'une machine source à une machine destination, il peut être nécessaire de passer par plusieurs points intermédiaires.
- A chacun de ces points, une machine spécialisée effectue une opération d'aiguillage.

05/12/03

Couche Réseau

41

## Objet du routage

- Trouver (calculer) le plus court chemin à emprunter d'une source à une destination
- Distance ?
  - nombre de sauts
  - distance kilométrique
  - temps moyen de transmission
  - longueur moyenne des files d'attente

05/12/03

Couche Réseau

45

## Routage

- En mode connecté (commutation), le calcul d'une route s'effectue uniquement lors de l'établissement de la connexion.
- En mode non connecté (routage), le calcul d'une route s'effectue pour chaque paquet transmis.
- Pour simplifier, dorénavant, nous ne ferons référence qu'au routage.

05/12/03

Couche Réseau

42

## Propriétés d'un algo de routage

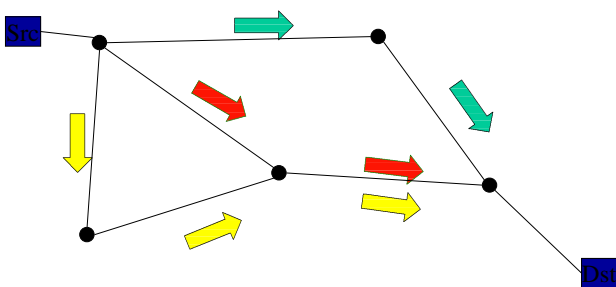
- Exactitude
- Simplicité
- Robustesse (capacité d'adaptation aux pannes et changement de topologie)
- Stabilité (convergence vers un état d'équilibre)
- Justice (vis à vis des usagers)
- Optimisation

05/12/03

Couche Réseau

46

## Problème du routage

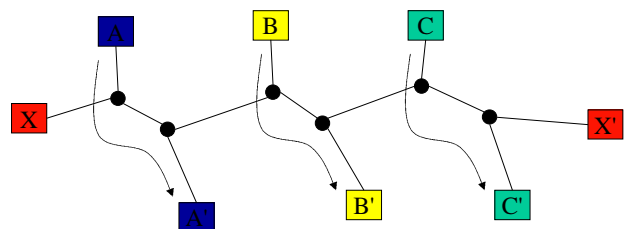


05/12/03

Couche Réseau

43

## Justice versus Optimisation



05/12/03

Couche Réseau

47

## Algorithme de routage

- Logiciel de la couche réseau qui a la responsabilité de décider sur quelle ligne de sortie un paquet entrant doit être retransmis.
  - si le sous-réseau utilise le mode datagramme, cette décision doit être prise pour chaque paquet entrant.
  - si le sous-réseau utilise le mode circuit virtuel, cette décision doit être prise au cours de l'établissement du circuit virtuel.

05/12/03

Couche Réseau

44

## Classes d'algorithmes de routage

- Algorithmes statiques (ou non adaptatifs)
  - la route à emprunter est connue (calculée) à l'avance
- Algorithmes dynamiques (ou adaptatifs)
  - sont capables de modifier leurs décisions de routage pour prendre en compte les modifications de trafic et de topologie

05/12/03

Couche Réseau

48

## Calcul d'une route

### Algorithmes statiques

05/12/03

Couche Réseau

49

## Notations

- L'ensemble des nœuds couverts par l'arborescence à une étape donnée est représenté par `dejaCouverts`.
- A une itération donnée,  $\pi(n)$  donne la longueur du plus court chemin de  $r$  à  $n$  en n'utilisant que les sommets de `dejaCouverts`.
- la fonction `succ` indique l'ensemble des successeurs pour un nœud donné.

05/12/03

Couche Réseau

53

## Algorithmes statiques

- Routage (statique) du plus court chemin  
shortest path routing
- Routage par inondation  
flooding
- Routage fondé sur le flux  
flow-based routing

05/12/03

Couche Réseau

50

## Algorithme de Dijkstra

- **Initialisation**  
pour tout nœud  $n$ ,  $\pi(n) \leftarrow \infty$   
 $\pi(r) \leftarrow 0$   
`pivot`  $\leftarrow r$   
`dejaCouverts`  $\leftarrow \{r\}$

05/12/03

Couche Réseau

54

## Routage du plus court chemin

- On calcule les plus courts chemins entre tout couple de routeurs.
- Ceci permet de construire alors une table de routage pour chaque routeur.
- Codage
  - le sous-réseau = un graphe
  - la métrique utilisée = la fonction de pondération

05/12/03

Couche Réseau

51

## Algorithme de Dijkstra

- pour  $i$  variant de 1 à  $n-1$  faire  
 pour tout nœud  $n$  tel que  $n \notin \text{dejaCouverts}$  et  $n \in \text{succ}(\text{pivot})$   
     si  $\pi(\text{pivot}) + w(\text{pivot}, n) < \pi(n)$  alors  
          $\pi(n) \leftarrow \pi(\text{pivot}) + w(\text{pivot}, n)$   
     fin si  
 fin pour  
`pivot`  $\leftarrow$  un sommet  $n \notin \text{dejaCouverts}$  tel que  $\pi(n)$  minimal  
`dejaCouverts`  $\leftarrow \text{dejaCouverts} \cup \{\text{pivot}\}$   
 fin pour

05/12/03

Couche Réseau

55

## Routage du plus court chemin

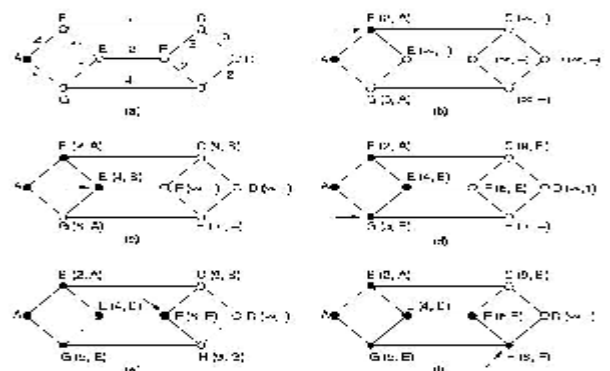
- Soit  $G = (N, A, w)$  un graphe orienté pondéré défini par :
  - un ensemble  $N$  de nœuds
  - un ensemble  $A$  d'arcs ( $A \subseteq N \times N$ )
  - une fonction de pondération  $w : N \rightarrow \mathbb{R}^+$
- Principe : pour calculer les plus courts chemins d'un nœud  $r$  à tous les autres, on construit une arborescence de racine  $r$ .

05/12/03

Couche Réseau

52

## Exemple



05/12/03

Couche Réseau

56

## Routage par inondation

- Principe : chaque paquet entrant est émis sur chaque ligne de sortie (excepté sur la ligne d'arrivée).
- Intérêt de l'inondation
  - applications militaires
  - bases de données distribuées

05/12/03

Couche Réseau

57

## Algorithmes dynamiques

- Ces algorithmes adaptatifs diffèrent selon :
  - l'endroit où ils se procurent l'information
  - l'information qu'ils reçoivent
  - l'instant où ils changent leurs décisions
    - toutes les n secondes
    - lorsque la topologie change, ...
  - la métrique utilisée

05/12/03

Couche Réseau

61

## Éviter une inondation infinie

- Utiliser un compteur de sauts dans chaque paquet
  - le compteur est décrémenté à chaque saut et le paquet est éliminé lorsque le compteur est nul
  - initialisation du compteur ?
- Gérer la liste des paquets déjà rencontrés
  - chaque routeur gère une telle liste
  - chaque paquet doit être numéroté

05/12/03

Couche Réseau

58

## Algorithmes dynamiques

- Routage à vecteur de distance
  - distance vector routing
  - Principe : échange local d'information globale
- Routage à état de lien
  - link state routing
  - Principe : échange global d'information locale

05/12/03

Couche Réseau

62

## Routage fondé sur le flux

- Algorithme qui utilise à la fois la topologie et la charge des lignes de communications.
- Routage qui peut être utilisé à condition que le trafic moyen de chaque ligne soit connu à l'avance et qu'il soit relativement stable.
- Voir exercice en TD

05/12/03

Couche Réseau

59

## Routage à vecteur de distance

- Chaque routeur dispose d'une table de routage précisant pour chaque destination la meilleure distance connue et par quelle ligne l'atteindre.
- Les informations (vecteurs) de distance sont échangés régulièrement entre routeurs voisins.

05/12/03

Couche Réseau

63

## Calcul d'une route

### Algorithmes dynamiques

## Utilisation

- A l'origine dans le réseau Arpanet (ancêtre de Internet)
- Par le protocole RIP (Routing Information Protocol) du réseau Internet
- Dans les premières versions de DECnet et IPX de Novell
- Dans les réseaux AppleTalk et les routeurs Cisco (versions améliorées)

05/12/03

Couche Réseau

60

05/12/03

Couche Réseau

64

## Vecteur de distance

- Un élément du vecteur est associé à une destination possible (donc un routeur)
- Cet élément représente l'estimation de la distance pour atteindre le routeur
- Vecteur de distance = table de routage sans les indications de lignes à emprunter

05/12/03

Couche Réseau

65

## Routage à état de lien

- Principe : tout routeur doit
  - découvrir ses voisins (apprendre leurs adresses)
  - mesurer la distance vers chacun des voisins
  - construire un paquet spécial disant tout ce qu'il vient d'apprendre
  - envoyer ce paquet spécial à tous les routeurs
  - calculer le plus court chemin vers tous les autres routeurs à partir des paquets reçus

05/12/03

Couche Réseau

69

## Routage à vecteur de distance

- Hypothèse : chaque routeur connaît la distance avec ses voisins
- Mise à jour des tables de routage
  - toutes les t milli-secondes par exemple
  - chaque routeur
    - envoie son vecteur de distance à ses voisins
    - reçoit un vecteur de distance de ses voisins
    - effectue les mises à jour de son vecteur de distance à partir de ceux qu'il a reçus

05/12/03

Couche Réseau

66

## Utilisation

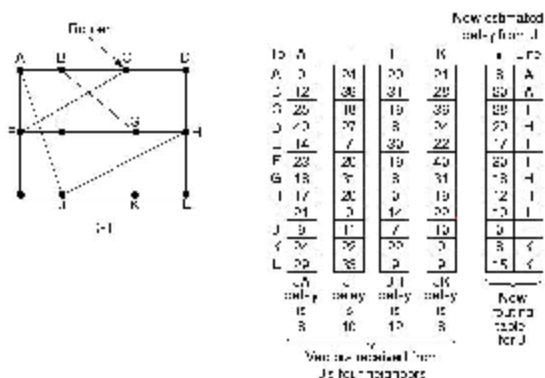
- Dans les réseaux modernes
- OSPF (Open Shortest Path First) utilisé dans Internet
- IS-IS (Intermediate System –Intermediate System) utilisé sur plusieurs sous-réseaux dorsaux d'Internet

05/12/03

Couche Réseau

70

## Exemple



05/12/03

Couche Réseau

67

## Description 1/3

- Découvrir ses voisins
  - envoyer sur chaque ligne de sortie un paquet spécial (HELLO) d'interrogation
  - récupérer les infos (nom, adresse IP, ...) de la réponse
- Mesurer la distance avec les voisins
  - envoyer sur chaque ligne de sortie un paquet spécial (ECHO)
  - mesurer le temps pris pour récupérer la réponse

05/12/03

Couche Réseau

71

## Problème de la valeur infinie

- Convergence assez rapide pour les bonnes nouvelles
  - à la vitesse de un pas à chaque échange
  - exemple : routeur qui devient actif
- Convergence beaucoup trop lente pour les mauvaises nouvelles
  - évolution progressive vers l'infini
  - exemple : routeur qui devient inactif

05/12/03

Couche Réseau

68

## Description 2/3

- Construire un paquet d'info d'état de lien
  - ce paquet comprend
    - l'identité du routeur source
    - un numéro de séquence
    - l'âge du paquet
    - la liste des voisins accompagné du temps d'acheminement

05/12/03

Couche Réseau

72

## Description 3/3

- Envoyer les paquets d'info d'état de lien
  - utiliser l'inondation
  - contrôler l'inondation
    - chaque routeur contient une trace de toutes les paires (routeur source, numéro de séquence) reçues
    - si un paquet déjà arrivé arrive, il est détruit
- Calculer la nouvelle table de routage
  - l'algorithme de Dijkstra peut être utilisé au niveau de chaque routeur

05/12/03

Couche Réseau

73

## Calcul d'une route

Autres algorithmes

Couche Réseau

77

## Routage à état de lien

- Avantage
  - permet d'éviter des convergences trop lentes
- Inconvénient
  - Un mauvais fonctionnement est possible :
    - si la diffusion des paquets se passe mal
    - si les calculs de route sont faux

05/12/03

Couche Réseau

74

## Autres algorithmes

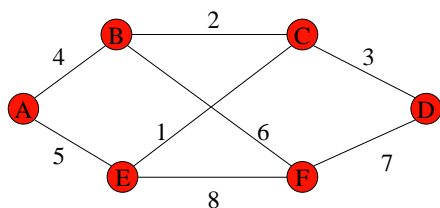
- Routage hiérarchique
  - nécessaire lorsque le sous-réseau est trop volumineux (en nombre de routeurs)
- Routage par diffusion
  - L'objectif n'est plus d'atteindre une destination mais toutes les destinations

05/12/03

Couche Réseau

78

## Exemple 1/2



- Les paquets d'information d'états de lien construits par les routeurs sont donnés sur la diapositive suivante.

05/12/03

Couche Réseau

75

## Routage hiérarchique

- Les tables de routage croissent avec le nombre de routeurs dans un sous-réseau.
- Problèmes
  - plus de mémoire nécessaire
  - plus de temps nécessaire pour explorer les tables
  - plus de largeur de bande nécessaire pour envoyer les rapports d'état

05/12/03

Couche Réseau

79

## Exemple 2/2

	Link	State	Packets		
A	B	C	D	E	F
Seq.	Seq.	Seq.	Seq.	Seq.	Seq.
Age	Age	Age	Age	Age	Age
B 4	A 4	B 2	C 3	A 5	B 6
E 5	C 2	D 3	F 7	C 1	D 7
	F 6	E 1		F 8	E 8

05/12/03

Couche Réseau

76

## Hiérarchie

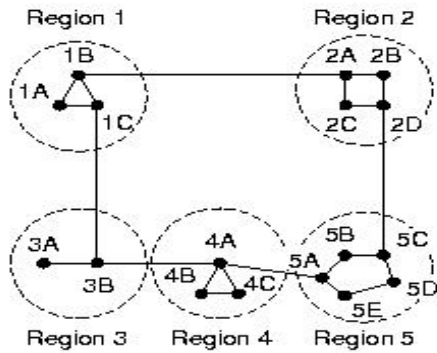
- Organisation en :
  - régions
  - zones
  - grappes
  - groupes
- Dans la table de routage d'un routeur donné (si on considère deux niveaux)
  - une entrée pour tous les routeurs de sa région
  - une seule entrée pour toute autre région

05/12/03

Couche Réseau

80

## Exemple de hiérarchie



05/12/03

Couche Réseau

81

05/12/03

Couche Réseau

85

## Routage par diffusion

- Objectif : atteindre toutes les destinations
- Exemples de routage par diffusion
  - mises à jour d'informations boursières
  - radio/télévision
- Le routage par diffusion (broadcast) peut s'implémenter de plusieurs manières.

## Routage non hiérarchique

Table de routage de 1A

Dest.	Line	Hops
1A	-	-
1B	1B	1
1C	1C	1
2A	1B	2
2B	1B	2
2C	1B	2
2D	1B	2
3A	1C	2
3B	1C	2
4A	1C	3
4B	1C	3
4C	1C	3
5A	1C	4
5B	1C	4
5C	1C	4
5D	1C	4
5E	1C	4

05/12/03

Couche Réseau

82

05/12/03

Couche Réseau

86

## Implémentation 1/4

- Première solution
  - disposer de toutes les adresses des destinataires et envoyer un paquet à chacun d'entre eux.
  - peu intéressante mais parfois la seule possible
- Seconde solution : inondation
  - génère beaucoup de paquets et consomme des ressources (comme ci-dessus)

## Routage hiérarchique

Table de routage de 1A

Dest.	Line	Hops
1A	-	-
1B	1B	1
1C	1C	1
2	1B	2
3	1C	2
4	1C	3
5	1C	4

05/12/03

Couche Réseau

83

05/12/03

Couche Réseau

87

## Implémentation 2/4

- Troisième solution : routage à destinations multiples
  - chaque paquet contient la liste des destinataires
  - chaque routeur met à jour ce paquet en fonction des sorties sur lesquelles il va le diffuser
  - assez proche de la première solution mais en plus efficace

## Critique

- **Avantage**
  - économie d'espace
  - sur l'exemple, 7 entrées au lieu de 17 entrées
- **Inconvénient**
  - performance amoindrie
  - la meilleure route pour aller de 1A vers 5C ?

05/12/03

Couche Réseau

84

05/12/03

Couche Réseau

88

## Implémentation 3/4

- Quatrième solution : utilisation d'un arbre recouvrant (spanning tree)
  - tous les routeurs doivent connaître cet arbre (possible si routage à état de liens utilisé)
  - minimum absolu de paquets envoyés

## Implémentation 4/4

- Cinquième solution : retransmission sur les autres chemins (reverse path forwarding)
  - ne nécessite pas la connaissance de l'arbre recouvrant
  - Principe
    - si le paquet arrive de la source par la ligne normalement utilisée (celle indiquée dans la table de routage), le paquet est envoyé sur chaque sortie
    - sinon le paquet est détruit

05/12/03

Couche Réseau

89

## Phénomène de congestion

- La congestion s'entretient elle-même, empire et se propage en amont.
- Le phénomène est similaire à celui des bouchons sur la route (exemple : à l'approche d'un péage).

05/12/03

Couche Réseau

93

## Contrôle de congestion

- Contrôle de congestion = assurer que le sous-réseau est capable de transporter le trafic présent

≠

- Contrôle de flux = assurer le trafic point à point entre un émetteur et un récepteur (= assurer que l'émetteur ne soit pas trop rapide vis à vis du récepteur)

05/12/03

Couche Réseau

90

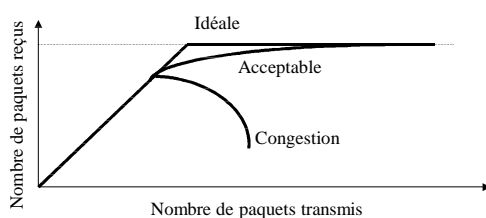
05/12/03

Couche Réseau

94

## Congestion

Trop de paquets présents dans le sous-réseau  
⇒ dégradation des performances



05/12/03

Couche Réseau

91

## Deux approches

- « Boucle ouverte »
  - Prévention : on essaie d'éviter que la congestion ne se produise.
- « Boucle fermée »
  - Action : on prend des mesures lorsque la congestion apparaît.

05/12/03

Couche Réseau

95

## Facteurs de la congestion

- Performance CPU des routeurs
- Trafic trop important en entrée par rapport aux capacités des lignes en sortie
- Taille insuffisante des mémoire tampons des différents routeurs.

05/12/03

Couche Réseau

92

## Contrôle de congestion

Boucle ouverte

05/12/03

Couche Réseau

96

## Contrôle « en boucle ouverte »

- Principe
  - prévenir plutôt que guérir
- Causes principales de la congestion :
  - trafic aléatoire
  - données en rafale
- Objectif
  - Eviter les causes

05/12/03

Couche Réseau

97

## Algorithme du seuil percé 1/2

- Ordinateur
  - $v_o$  : vitesse de transmission en sortie
  - $R$  : taille maximale d'une rafale
  - $S$  : intervalle de temps maximal d'une rafale
- Seuil
  - $C$  : capacité
  - $v_s$  : vitesse moyenne de transmission en sortie

05/12/03

Couche Réseau

101

## Canalisation du trafic

- Les techniques de canalisation du trafic (« traffic shaping ») ont pour but de réguler la vitesse d'écoulement des données.
- Elles tentent d'éviter les saccades.
- Elles sont utilisées dans les réseaux ATM.
- Elles peuvent être adaptées aux sous-réseaux fonctionnant en mode non-connecté.

05/12/03

Couche Réseau

98

## Algorithme du seuil percé 2/2

- Comment connaître les valeurs limites de  $R$  et  $S$  ?
  - $R = S * v_o$
  - $R = C + (v_s * S) \quad \Rightarrow S = C / (v_o - v_s)$
- Exemple
  - $v_o$  : 25 Mb/s
  - $C = 1$  Mb
  - $v_s$  : 2 Mb/s

$\Rightarrow ?$

05/12/03

Couche Réseau

102

## Algorithme du seuil percé

- « Leaky bucket algorithm »
- Chaque ordinateur est relié au réseau via une interface d'accès.
- Cette interface simule le seuil percé à l'aide d'une file d'attente de taille fixe.
- Si un paquet arrive dans la file et qu'elle est pleine, il est détruit.

05/12/03

Couche Réseau

99

## Algorithme du seuil percé à jetons

- « Token leaky bucket algorithm »
- Extension de l'algorithme précédent
- Cet algorithme est plus souple car il permet une augmentation provisoire du trafic

05/12/03

Couche Réseau

103

## Gestion du seuil percé

- À chaque top, un paquet de la file d'attente est envoyé sur le réseau, sauf si celle-ci est vide.
- Tout paquet sortant est placé dans la file d'attente, sauf si celle-ci est pleine.
- Ce mécanisme transforme un flux irrégulier de paquets provenant d'un processus interne à un ordinateur source en un flux régulier de paquets sur le réseau.

05/12/03

Couche Réseau

100

## Principe

- Un jeton est engendré à chaque top d'une horloge (nombre maximum  $n$  de jetons).
- Un paquet est transmis s'il reste au moins un jeton.
- Sinon, il est rejeté (et pas détruit).
- Un jeton est détruit à chaque émission de paquet.

05/12/03

Couche Réseau

104

## Contrôle de congestion

Boucle fermée

05/12/03

Couche Réseau

105

## Ajuster

- Augmenter les ressources  
OU
- Diminuer le trafic

05/12/03

Couche Réseau

109

## Contrôle « en boucle fermée »

- Des moyens de contrôle basés sur la rétroaction sont utilisés.
- Trois phases peuvent être identifiées :
  - surveiller le système ;
  - alerter les routeurs ;
  - ajuster le comportement du système.

05/12/03

Couche Réseau

106

## Contrôle sur un circuit virtuel

- Ces méthodes de contrôle fonctionnent en « boucle fermée ».
- Elles offrent un traitement dynamique de la congestion.
- Exemple de méthodes
  - Contrôle d'admission
  - Reconfiguration du réseau
  - Réserve des ressources

05/12/03

Couche Réseau

110

## Surveiller

- Détecter quand et où la congestion apparaît
- Critères utilisés :
  - Pourcentage de paquets détruits
  - Longueur des files d'attente
  - Nombre de paquets hors délai et à retransmettre
  - Temps moyen d'acheminement des paquets

05/12/03

Couche Réseau

107

## Contrôle d'admission

- Dès qu'une congestion est signalée dans le réseau, plus aucun circuit virtuel ne peut plus être établi jusqu'à ce que le problème soit résolu.
- Simple et facile à mettre en œuvre.
- Exemple : commutateur surchargé dans le RTC.

05/12/03

Couche Réseau

111

## Alerter

- Envoyer l'information vers l'endroit (les endroits) où l'on peut agir pour résorber le problème
  - Envoyer des paquets : accentue le trafic
- Utiliser un bit (un champ) pour prévenir
- Envoyer périodiquement des paquets de sondage entre routeurs
- Observations locales

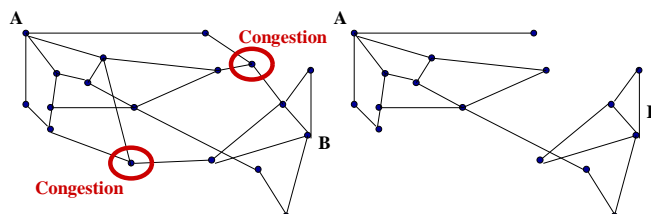
05/12/03

Couche Réseau

108

## Reconfiguration du réseau

- Allouer de nouveaux circuits virtuels « surs » en évitant les zones de congestion.



05/12/03

Couche Réseau

112

## Réservation des ressources

- Réserver les ressources nécessaires lors de l'établissement du circuit virtuel
  - Politique contractuelle
  - Permanent ou lors de congestion seulement
  - Problème : gaspillage de ressources

05/12/03

Couche Réseau

113

## Algorithme du temps équitable

- Idée de base :
  - répartir la ligne de sortie équitablement entre toutes les files d'attente
  - le routeur examine successivement chaque ligne en entrée
  - expédie un paquet de chaque ligne avant d'examiner la suivante
- Problème : plus de débit aux ordinateurs manipulant de plus gros paquets

05/12/03

Couche Réseau

117

## Technique des paquets d'engorgement

- Cette méthode peut être utilisée pour tous les types de réseaux.
- Chaque routeur va surveiller ses lignes de sortie en quantifiant leur utilisation.
- En cas d'alerte, des paquets d'engorgement sont envoyés.

05/12/03

Couche Réseau

114

## Contrôle en pas à pas

- Lors de l'envoi d'un paquet d'engorgement, chaque routeur sur la route réduit son trafic à destination de la machine en difficulté.
- Mais cette méthode nécessite des buffers supplémentaires sur chaque routeur.

05/12/03

Couche Réseau

118

## Principe

- Utilisation récente de la ligne :
$$u_{\text{nouveau}} = a * u_{\text{ancien}} + (1-a)f$$
  - f : échantillonnage instantané de la ligne
  - a : coefficient compris entre 0 et 1
- Quand  $u_{\text{nouveau}}$  dépasse un seuil, un paquet d'engorgement est envoyé à tout ordinateur source concerné qui réduit alors ses envois.

05/12/03

Couche Réseau

115

## Délestage 1/2

- Les routeurs effectuent un délestage (« load shedding ») lorsqu'ils sont submergés
- On peut détruire les paquets au hasard.
  - On peut aussi marquer les paquets d'une priorité.

05/12/03

Couche Réseau

119

## Faiblesse

- Un ordinateur source doit décider de lui-même de cesser tout envoi vers un routeur qui l'a informé d'un engorgement.
- Un ordinateur source « honnête » peut être pénalisé si d'autres ordinateurs sources décident de passer outre l'information et continuent à saturer le routeur de paquets.

05/12/03

Couche Réseau

116

## Délestage 2/2

- Mais il est préférable d'implanter un délestage discriminant en fonction de l'application.
- Par exemple, pour la compression d'images en transmission vidéo, on transmet une image complète + images partielles
  - ⇒ il est préférable de détruire une image partielle (contenant les différences/image complète) plutôt que l'image complète.

05/12/03

Couche Réseau

120