

Cours n° 2

Liaison de données, trames et réseau



Sommaire

1. Délimitation de trames

- Fanions

2. Détection/correction d'erreurs

- Code polynomial

3. Contrôle de flux

- Protocoles à fenêtres d'anticipation

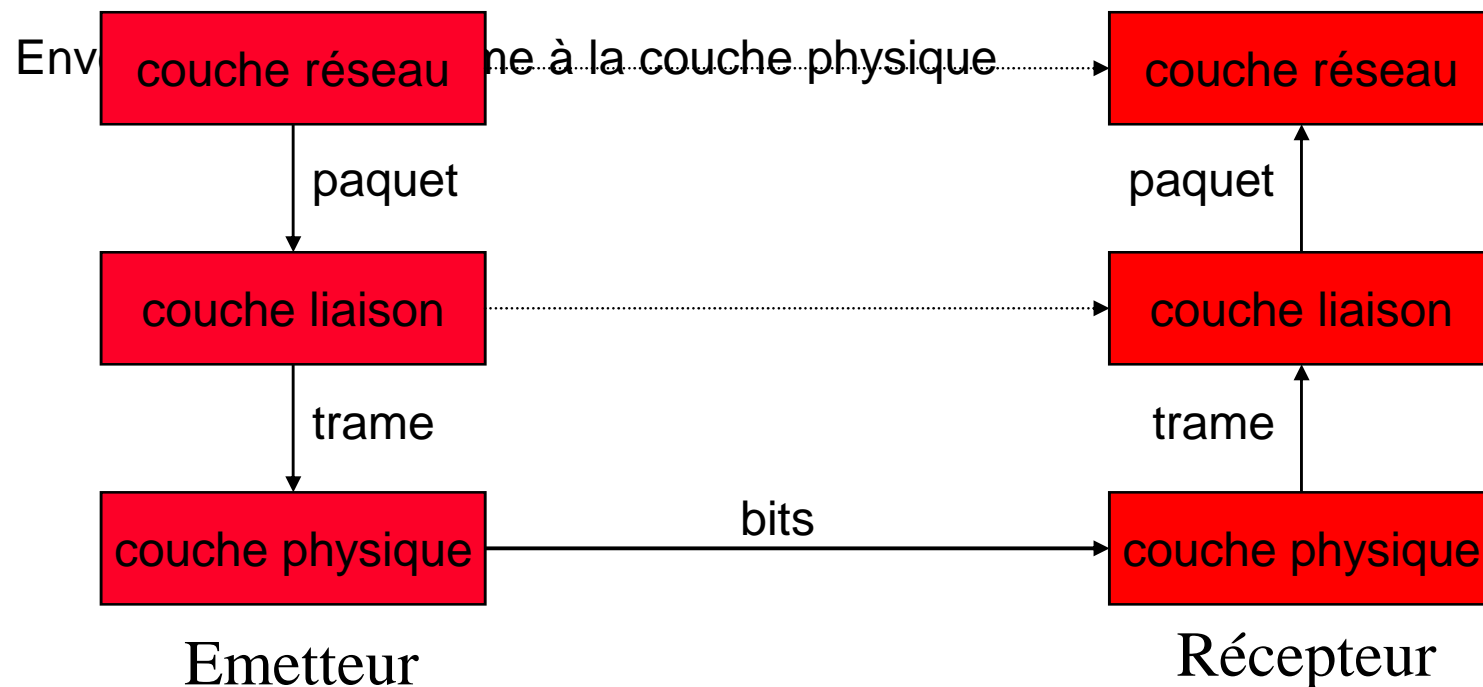
4. Couche réseau

- Modes de commutation
- Contrôle de la congestion

Définition de la couche liaison

Assurer une transmission exempte d'erreurs sur un canal de communication

Récupération des paquets de la couche réseau,
Construction d'une (ou plusieurs) trame(s) pour chaque paquet,



Introduction

Trames (Suites de bits ou de caractères de taille variable)

Détection du début et de la fin de la trame,

Synchronisation entre émetteur et récepteur

'M'	'A'	'S'	'T'	'E'	'R'
-----	-----	-----	-----	-----	-----

'I'	'G'	'L'	'I'	'I'
-----	-----	-----	-----	-----

'1'

Trois méthodes de délimitation

Taille de la trame,

Champs délimitateurs (fanions) en début et/ou en fin de trame

Transmission de la requête de délimitation à la couche physique

1. DELIMITATION DE TRAMES

Taille de la trame

Ajout d'un champ dans l'en-tête de la trame pour indiquer le nombre de caractères de la trame

6	'M'	'A'	'S'	'T'	'E'	'R'	5	'I'	'G'	'L'	'I'	'I'	1	'1'
---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----	-----	-----	---	-----

Problème en cas de modification de la valeur du champ au cours de la transmission

Trames émises

6	'M'	'A'	'S'	'T'	'E'	'R'	5	'I'	'G'	'L'	'I'	'I'	1	'1'
---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----	-----	-----	---	-----

Trames reçues

6	'M'	'A'	'S'	'T'	'E'	'R'	4	'I'	'G'	'L'	'I'	73	01	'1'
---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----	-----	----	----	-----



Propagation de l'erreur

1. DELIMITATION DE TRAMES

Fanions

Séquence particulière de bits signalant le début et la fin d'une trame

Adaptée à des trames de bits,
Interdiction d'une séquence binaire identique dans la trame
Ajout de bits de transparence
Pas de perte de la synchronisation
Envoi de trames de taille quelconque

Exemple

Fanion **1 1 1 1 1 1**

Données 1 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1

Trame **1 1 1 1 1 1** 1 1 1 0 1 **1 1 1 1 1 1** 0 1 1 1 1 1 **0** 1 0 1 **1 1 1 1 1 1**

Exemple : ajout automatique d'un bit à 0 après 5 bits à 1

Erreurs sur un canal de transmission

Causes

rayonnement électromagnétique (relais, émetteurs)

câblage mal isolé et effet de distorsion (longueur du câble)

$$\text{Taux d'erreur} = \frac{\text{nombre de bits erronés}}{\text{nombre de bits émis}}$$

10^{-15} pour les bus des ordinateurs (erreurs tous les 11 ans)

10^{-9} pour les réseaux locaux (erreurs toutes les 10 secondes)

10^{-5} pour le téléphone (100 erreurs par seconde)

10^{-2} pour le WIFI (100 000 erreurs par seconde)

Types d'erreurs

Erreurs isolées

simples à détecter et à corriger, proportion élevée de trames affectées

Erreurs en rafales

difficiles à détecter et à corriger, proportion faible de trames affectées

Stratégies

Détection des erreurs par le récepteur

Code détecteurs d'erreurs

Demande d'une retransmission à l'émetteur

Détection et correction des erreurs par le récepteur

Codes correcteurs d'erreur

canal unidirectionnel

grande distance entre l'émetteur et le récepteur (satellite)

Adaptation de la taille des trames transmises

Diminution de la taille des trames

en cas d'augmentation du taux d'erreur,

en cas d'erreurs isolés

Principe des codes

Mot de code

d bits de données + c bits de contrôle = n bits d'information (à transmettre)

Distance de Hamming de deux mots

Nombre de bits différents entre deux mots

Distance de Hamming d'un code

distance de Hamming entre les 2 mots du code les plus proches

Capacité d'un code à détecter d erreurs

Distance de Hamming du code supérieure ou égale à $d + 1$

Capacité d'un code à corriger d erreurs

Distance de Hamming du code supérieure ou égale à $2*d + 1$

Exemple : Soit le code $C = \{ 0000\ 0000, 0000\ 1111, 1111\ 0000, 1111\ 1111 \}$

sa distance de Hamming est égale à 4

si un récepteur reçoit 0000 0111, peut t'il corriger l'erreur ?

Principe et capacité

Transformation du mot de données en polynôme

1	1	0	1
---	---	---	---

 devient $x^3 + x^2 + 1$

Division par un polynôme générateur

Mot de code constitué du quotient et du reste

Normalisation de polynômes générateur possédant de bonnes propriétés

$$\text{CRC 16} = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$$

$$\text{CRC CCITT} = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

Détection de toutes les erreurs simples et doubles, de toutes les erreurs en rafale de longueur ≤ 16

Adapté à des mots de données de taille variable

Protocole Envoyer

Hypothèses

Mémoire tampon infinie et canal parfait (pas de pertes ni d'erreurs)

Paquet p

Emetteur

Tant que vrai répéter

 t ← construireTrame(p)

 couchePhysique.prendreTrame(t)

Fin tant que

Récepteur

Tant que vrai répéter

 t ← couchePhysique.donnerTrame()

Fin tant que

Protocole Envoyer et Attendre (Send and Wait)

Hypothèses

mémoire tampon finie et canal parfait (pas de pertes ni d'erreurs)

Envoie par le récepteur d'une trame d'acquittement après chaque trame reçue

Attente par l'émetteur de l'acquittement avant l'émission de la trame suivante

Emetteur

Tant que vrai répéter

$t \leftarrow \text{construireTrame}(p)$

 couchePhysique.prendreTrame(t)

 couchePhysique.attendreAcquittement()

Fin tant que

Récepteur

Tant que vrai répéter

$t \leftarrow \text{couchePhysique.donnerTrame}()$

 couchePhysique.envoyerAcquittement()

Fin tant que

Protocole Envoyer Attendre et Réémettre (1/2)

Hypothèses

mémoire tampon finie et canal imparfait (pertes et erreurs)

Utilisation d'une méthode de détection d'erreurs

Envoie par le récepteur d'une trame d'acquittement si la trame est correcte.

Réémission de la trame si aucune trame d'acquittement n'est reçue

Emetteur

Tant que vrai répéter

$t \leftarrow \text{construireTrame}(p)$

 booléen ack \leftarrow faux

 Tant que ack = faux répéter

 couchePhysique.prendreTrame(t)

 ack \leftarrow couchePhysique.attendreAquittement()

 Fin Tant que

Fin tant que

Protocole Envoyer Attendre et Réémettre (2/2)

Récepteur

Tant que vrai répéter

$t \leftarrow \text{couchePhysique.donnerTrame}()$

 Si estCorrecte(t) alors

 couchePhysique.envoyerAcquittement()

 Fin si

Fin tant que

Problème

Blocage en cas de perte de la trame d'acquittement

Protocole à fenêtres d'anticipation

Numérotation des trames et des trames d'acquittement

Détection d'une trame perdue

Fenêtre de réception stockant les trames attendues

Taille (R) avec $R = 1$ généralement

Fenêtre d'émission indiquant la liste des numéros de trames dont on attend l'acquittement

Taille (maxE) indiquant le nombre maximal de trames pouvant être envoyées sans acquittements (taille courante variable)

Choix de maxE en fonction de la taille de la trame, du débit et du temps de propagation

Efficacité de la transmission = T_{em}/T_a

$T_{em} = \text{maxE} * T_e$ temps d'émission maximal

$T_a = T_e + T_p$ temps d'émission + temps de propagation

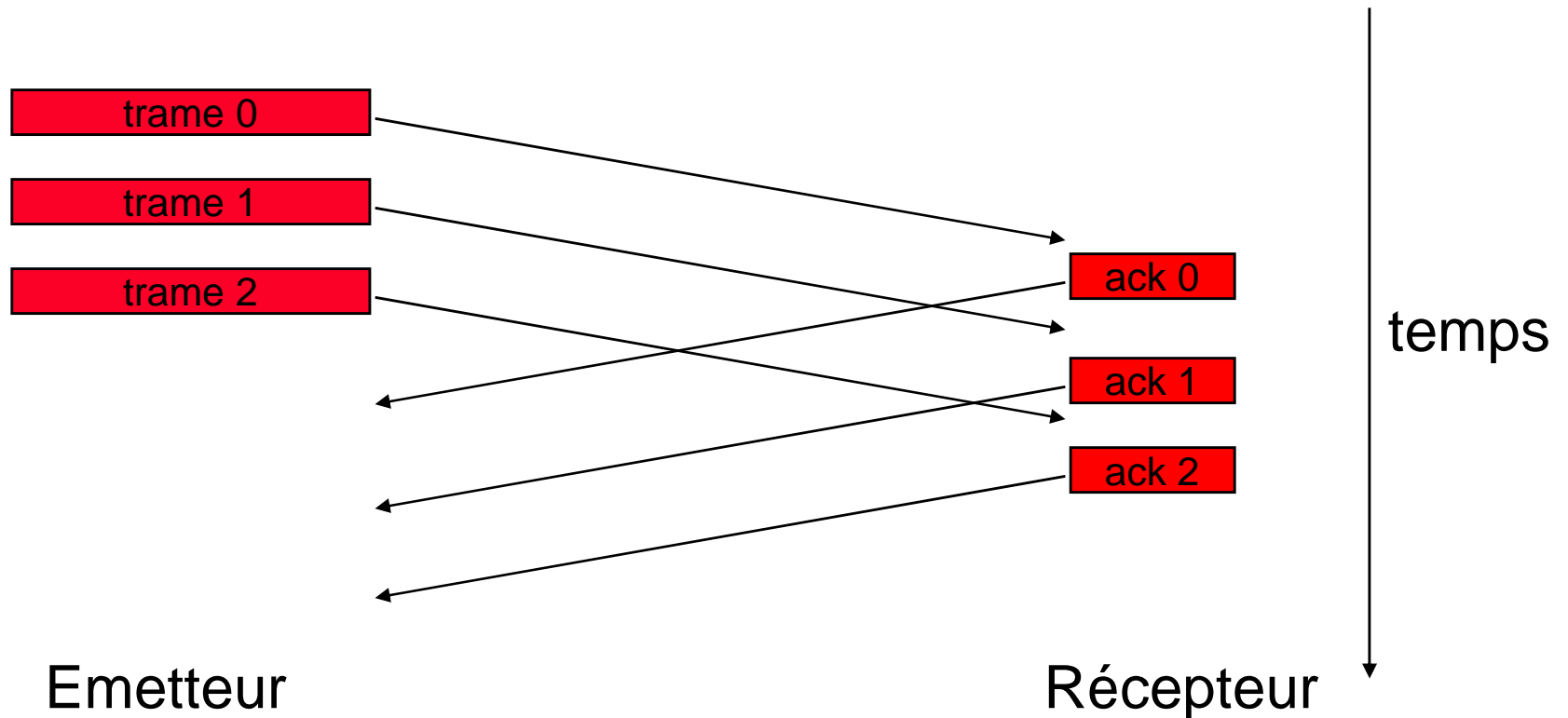
$T_e = m / d$ m taille de la trame, d débit

Exemple $d = 50\text{kbts/s}$, $m = 1000\text{ bits}$, $T_p = 250\text{ms}$ $\text{MaxE} = 13$

Stratégies d'acquittement (1/2)

Envoi d'un acquittement pour chaque trame

Minimisation du temps de réponse
Doublement du nombre de trames

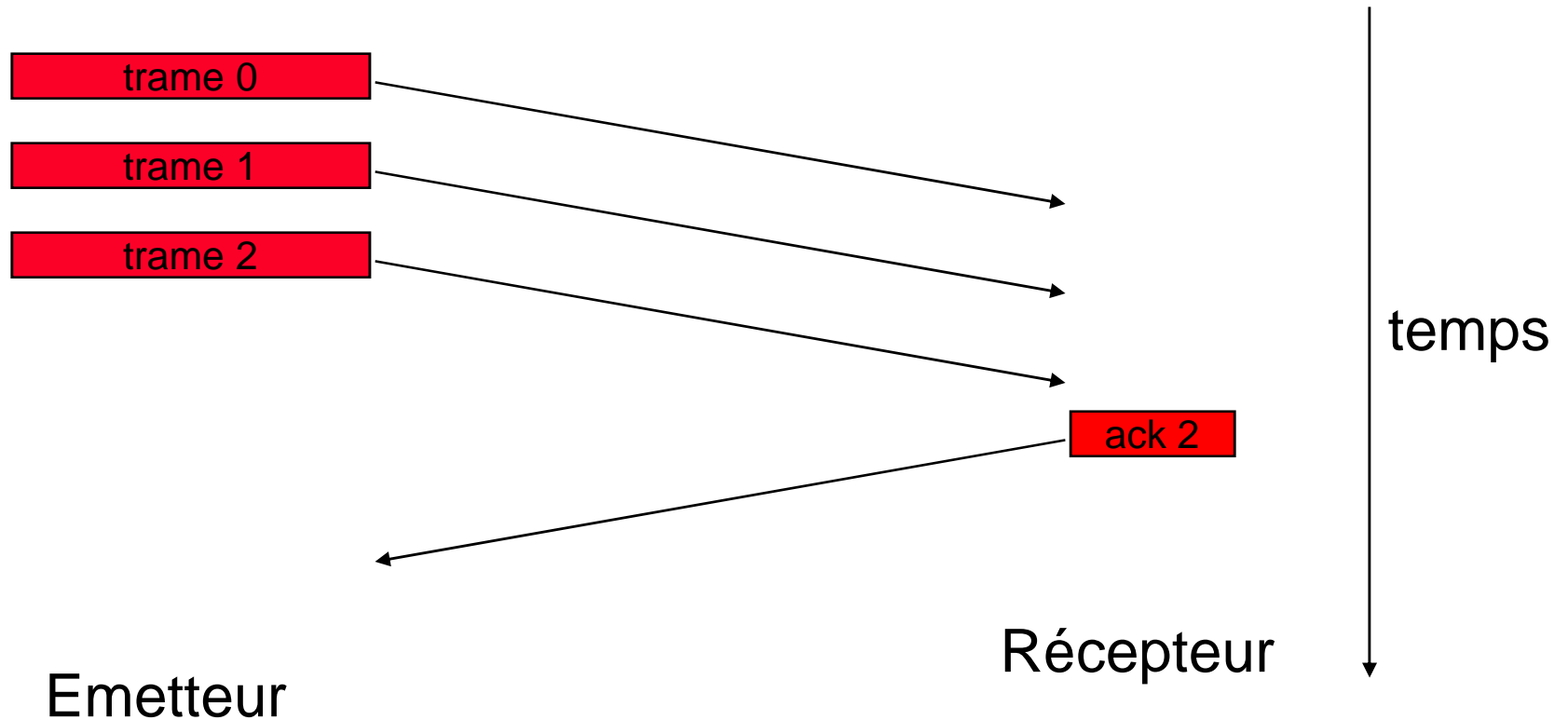


Stratégies d'acquittement (2/2)

Envoi d'un acquittement toutes les trames reçues

Augmentation du temps de réponse

Minimisation du nombre de trames d'acquittement

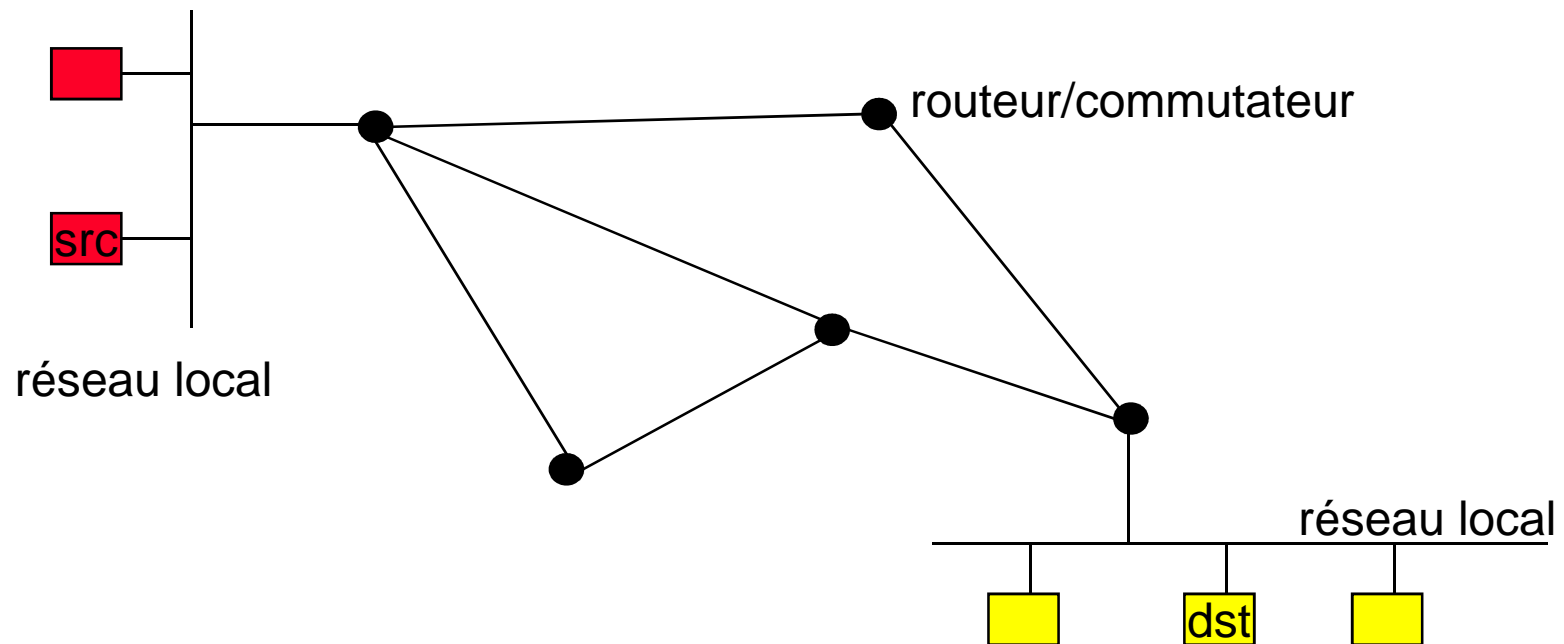


Principes

Transmission entre 2 machines non nécessairement connectés

Données sont fractionnées en paquets.

Transmission indirecte par l'intermédiaire de routeur/commutateur



Principes

Mode de communication

Méthode d'acheminement des informations du paquet à la bonne destination à travers le réseau

Circuit virtuel

Constitution d'une connexion entre réseaux locaux différents par utilisation successive de réseaux intermédiaires

Mode de communication connecté

Circuit virtuel calculé et établi à chaque connexion préalablement à tout envoi,
Ajout à chaque paquet d'une référence représentant le numéro du circuit virtuel

Mode de communication non connecté

Pas de circuit virtuel

Route calculée pour chaque paquet

Ajout à chaque paquet de l'adresse de destination

Fonction de commutation

Aiguillage du trafic établissant un circuit virtuel temporaire

Approche des opérateurs des réseaux de télécommunication

Calcul d'une route au moment de la connexion

Transmission de tous les paquets d'un message par cette route
mode connecté

Equipement réseau spécialisé permettant la fonction commutation
commutateur

Gain en qualité de service de la commutation

Pas de calcul d'une route pour chaque paquet

Pas de perte de l'ordre des paquets

Adaptée aux réseaux fiables

Perte du message complet en cas de panne d'un commutateur

Prix élevé du service

Fonction de routage

Aiguillage du trafic établissant une route à chaque paquet du message

Approche des opérateurs des réseaux informatiques

Transmission possible des paquets par des routes différentes
mode non connecté

Equipement réseau spécialisé permettant la fonction de routage
routeur

Adaptée aux réseaux peu fiables

Choix d'une autre route en cas de panne d'un routeur

Perte en qualité de service du routage
Entrelacement possible des paquets
Perte de paquet

Remise en ordre et demande de retransmission à la charge de l'utilisateur

Prix faible du service

Description

Facteurs de la congestion

Performance des processeurs des routeurs

Trafic trop important en entrée par rapport aux capacités des lignes en sortie

Taille insuffisante des files d'attente des routeurs
perte de paquets

Phénomène de congestion

Auto-entretien et aggravation

réémission des paquets perdus

Diminution des performances puis arrêt total des transmissions

Propagation en amont

blocage des acquittements

Principes et algorithmes

Prévention structurelle de la congestion

Résolution des problèmes lors de la phase de conception
Pas de correction en phase d'utilisation

Canalisation du trafic (traffic shaping)

Régulation de la vitesse d'écoulement des données
élimination des saccades

Algorithme du seau percé

Placement en file d'attente de tout paquet en sortie
File d'attente pour chaque sortie du routeur,
Envoi périodique des paquets en tête de leur file d'attente
Transformation d'un flux irrégulier en flux régulier

Approche adaptée aux réseaux propriétaires

Méthode de rétroaction

Résolution des problèmes lors de l'apparition de la congestion

Détection de la congestion

Pourcentage de paquets détruits

Longueur des files d'attente

Nombre de paquets hors délai et à retransmettre

Temps moyen d'acheminement des paquets

Envoi de l'alerte de congestion

Définition rapide d'un plan global d'action

Envoi de paquets spéciaux aux routeurs accessibles choisis

Action des routeurs

Réduction du trafic en sortie

Délestage par reconfiguration des tables de routage