

M2 Informatique Réseaux

Multimédia et Qualité de Service

Cours 2 : Le multicast

Timur FRIEDMAN

à partir des transparents de Kim THAI, avec modifications

Copyright 2004 by Timur Friedman

1

Plan

- Introduction
- Le multicast au niveau réseau
- Le multicast au niveau transport
- Perspectives de recherche

Copyright 2004 by Timur Friedman

2

Plan

- Introduction
 - Définition
 - Notion de groupe
 - Problématique
- Le multicast au niveau réseau
- Le multicast au niveau transport
- Perspectives de recherche

Copyright 2004 by Timur Friedman

3

Qu'est-ce que le multicast ?

- moyen efficace de communication 1-vers-N
- multicast vs. unicast et broadcast
 - unicast : une seule source vers une seule destination
 - multicast : une seule source vers un sous-ensemble de destinataires
 - broadcast : une seule source vers toutes les destinations



unicast
(1-vers-1)



multicast
(1-vers-N)

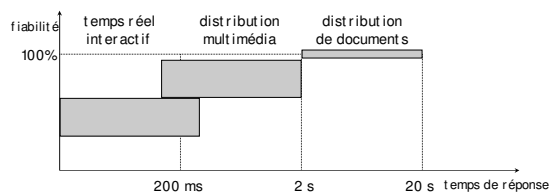


broadcast
(1-vers-tous)

Copyright 2004 by Timur Friedman

4

Des applications pour le multicast



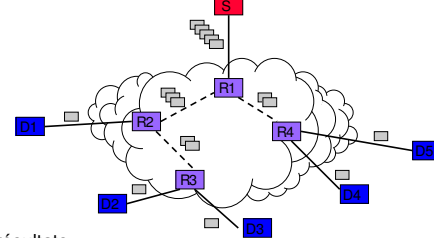
- conférence
- délai de l'ordre de 100 ms
- tolérance d'un certain taux de pertes
- flux continus, temps réel, non interactifs, unidirectionnels
- distribution de logiciels
- fiabilité de 100%
- peu de contraintes temporelles

Copyright 2004 by Timur Friedman

5

Pourquoi le multicast ? (1/3)

- distribution utilisant TCP/IP



■ résultats

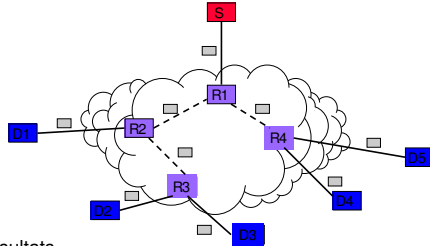
- plusieurs copies du même paquet
- plusieurs buffers
- plusieurs connexions

Copyright 2004 by Timur Friedman

6

Pourquoi le multicast ? (2/3)

■ distribution utilisant un multicast



■ résultats

- une seule copie de chaque paquet
- un seul buffer
- une seule connexion multicast

Copyright 2004 by Timur Friedman

7

Pourquoi le multicast ? (3/3)

- utilise la bande passante de façon efficace
- prévient la congestion du réseau
- minimise la charge des serveurs
- fournit l'information à davantage d'utilisateurs simultanément
- touche un nombre quelconque de personnes en une seule fois
- etc.

Copyright 2004 by Timur Friedman

8

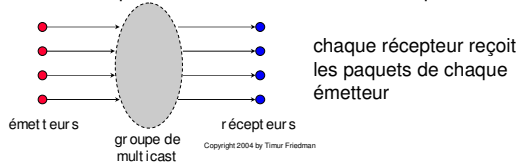
Notion de groupe de multicast

■ comment identifier les récepteurs d'un paquet Mcast

- en unicast : une adresse IP de destination
- ici, toutes les adresses de destination ???

■ une abstraction : le groupe de multicast

- associe un ensemble d'émetteurs et de récepteurs
- existe indépendamment des émetteurs et récepteurs



Copyright 2004 by Timur Friedman

9

Adresses de multicast IP (1/2)

■ un groupe de multicast : une adresse de classe D

A	0	réseau	station
B	10	réseau	station
C	110	réseau	station
D	1110	adresse multicast	

de 224.0.0.0 11100000 00000000 00000000 00000000
 :
 à 239.255.255.255 11101111 11111111 11111111 11111111

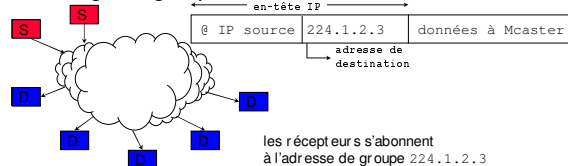
- 224.0.0.0 : non utilisée
- 224.0.0.1 : représente l'ens. des stations du sous-réseau considéré
- il n'y a pas d'adresse pour l'ens. des machines de l'Internet

Copyright 2004 by Timur Friedman

10

Adresses de multicast IP (2/2)

■ adressage du groupe



- indirection d'adresse
- chaque hôte a sa propre @IP, indépendante de l'@groupe
- ⊙ dissociation des problèmes
 - découvrir l'ensemble des groupes Mcast courants
 - exprimer le souhait de recevoir les paquets d'un groupe
 - découvrir l'ens. des récepteurs d'un groupe
 - délivrer les données à chaque membre du groupe

11

Multicast : les problèmes

■ des questions...

- quand et comment un groupe naît-il et prend-il fin ?
- quand et comment l'@ groupe est-elle choisie ?
- comment de nouvelles stations se joignent-elles à un groupe ?
- y-a-t-il des conditions pour l'appartenance à un groupe ?
- comment les routeurs interopèrent-ils pour délivrer les paquets ?

■ des choix...

- un récepteur doit pouvoir rejoindre ou quitter un groupe en cours de transmission
- un récepteur doit pouvoir rejoindre ou quitter un groupe sans le signaler explicitement aux émetteurs

■ des constats....

- les hôtes récepteurs sont souvent connectés à des réseaux locaux...

Copyright 2004 by Timur Friedman

12

Plan

- Introduction
- Le multicast au niveau réseau
 - Le multicast sur un LAN
 - Le protocole IGMP
 - Le modèle de service
 - Les algorithmes de routage multicast
 - Les protocoles de routage multicast
- Le multicast au niveau transport
- Perspectives de recherche

Copyright 2004 by Timur Friedman

13

Multicast sur un LAN (1/3)

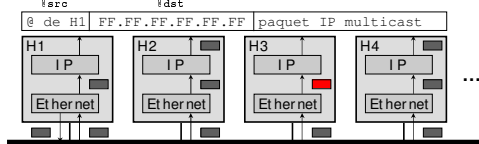
- l'existant (cas d'Ethernet)
 - Ethernet repose sur un support à diffusion
 - chaque station a une carte réseau avec une @ matérielle spécifique
 - il existe une adresse de diffusion (FF:FF:FF:FF:FF:FF)
- que faire si l'on souhaite joindre uniquement un sous-ensemble de stations ?
 - ex : H1 souhaite envoyer un paquet Mcast à H2 et H4 qui sont sur le même réseau que lui
 - deux possibilités...

Copyright 2004 by Timur Friedman

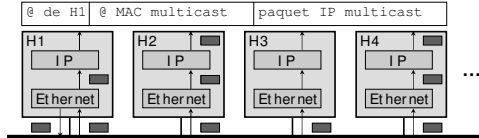
14

Multicast sur un LAN (2/3)

- le multicast de réseau utilise le broadcast de liaison



- le multicast de réseau utilise le multicast de liaison



Copyright 2004 by Timur Friedman

15

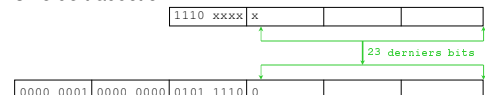
Multicast sur un LAN (3/3)

- traduction des adresses IP multicast en @ Ethernet

- format des adresses multicast Ethernet

de 01:00:5e:00:00:00
: . 0000 0001 0000 0000 0101 1110 0000 0000 0000 0000 0000 0000
à 01:00:5e:7f:ff:ff
0000 0001 0000 0000 0101 1110 0111 1111 1111 1111 1111 1111

- mécanisme de traduction



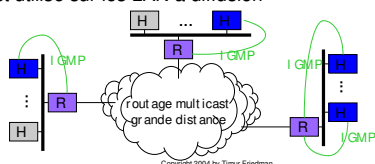
on sait Mcast un paquet IP sur un LAN à diffusion !

Copyright 2004 by Timur Friedman

16

IGMP : Qu'est-ce que c'est ?

- comment un routeur détermine-t-il si son LAN possède des récepteurs pour un groupe donné ?
- Internet Group Management Protocol
 - permet à un hôte d'indiquer à son routeur local qu'il souhaite joindre un groupe
 - est utilisé sur les LAN à diffusion

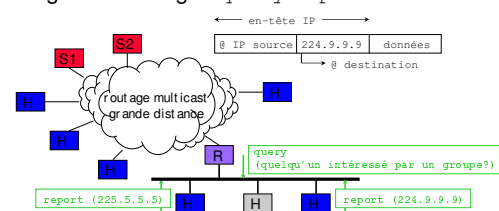


Copyright 2004 by Timur Friedman

17

IGMP Version 1 (1/1)

- RFC 1112 (Aug.89)
- échange de messages query/report

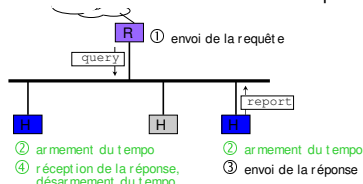


Copyright 2004 by Timur Friedman

18

IGMP Version 1 (2/2)

- risque de congestion
 - étalement des réponses basé sur des temporisateurs



- ⊗ réduction du trafic sur le LAN si aucun membre
- ⊗ délai éventuel (qq s.) avant de recevoir les données

Copyright 2004 by Timur Friedman

19

IGMP Version 2 (1/2)

- RFC 2236 (Nov.97)
- un récepteur informe explicitement son routeur lorsqu'il quitte un groupe
 - 3 types de message

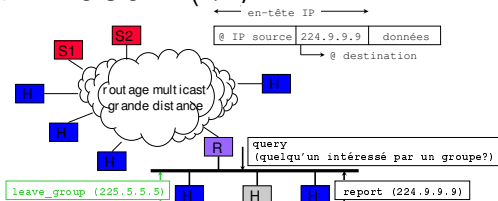
type de message	envoyé par	but
membership_query	routeur	s'enquérir des groupes auxquels sont abonnés les hôtes
général	routeur	demande si un groupe donné a des membres sur le LAN
spécifique	routeur	
membership_report	hôte	indiquer que l'hôte souhaite rejoindre ou a rejoint un groupe
leave_group	hôte	indiquer que l'hôte quitte un groupe donné

- étalement des réponses avec $0 \leq \text{tempo} \leq \text{MaxRespTime}$

Copyright 2004 by Timur Friedman

20

IGMP Version 2 (2/2)



- format du message

type	MaxRespTime	Checksum
Multicast Group Address		

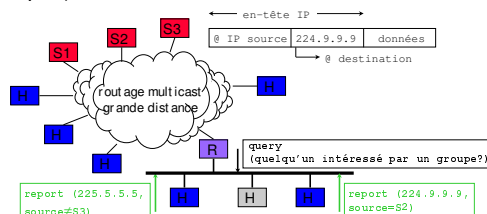
- ⊗ réduction de la latence du Leave

Copyright 2004 by Timur Friedman

21

IGMP Version 3

- draft en cours
- un récepteur peut sélectionner les sources qu'il souhaite (ne pas) entendre



Copyright 2004 by Timur Friedman

22

Le modèle de service du multicast (1/5)

- issu des travaux de Steve Deering
- caractéristiques de la transmission
 - multicast IP : transmission d'un paquet IP à un groupe d'hôtes identifié par une seule adresse de destination
 - transmission *best effort*
- caractéristiques du groupe
 - appartenance dynamique
 - pas de restriction quant à la localisation et au # de membres
 - un hôte peut être simultanément membre de plusieurs groupes
 - un hôte n'a pas besoin de faire partie d'un groupe pour être source
 - groupe permanent/transitoire
 - l'opération de Join est *receiver-driven*

Copyright 2004 by Timur Friedman

23

Le modèle de service de multicast (2/5)

- ⊗ l'émetteur ne contrôle pas qui joint le groupe
- ⊗ il n'y a pas de contrôle sur qui envoie au groupe
- ⊗ les paquets issus de plusieurs sources peuvent être reçus entrelacés
- ⊗ 2 groupes différents peuvent choisir la même @
- rôle des routeurs Mcast locaux
 - co-résidents ou séparés des routeurs classiques
 - un routeur local qui reçoit un paquet Mcast d'un de ses hôtes, avec un TTL>1, le fait suivre vers tous les sous-réseaux connectant des membres récepteurs
 - sur les sous-réseaux destinataires, le routeur local termine la transmission en Mcastant le paquet en local

Copyright 2004 by Timur Friedman

24

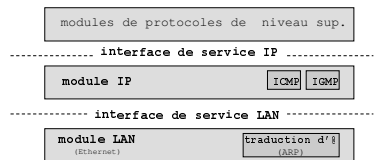
Le modèle de service de multicast (3/5)

- le RFC 1112 spécifie les extensions à apporter à un hôte IP pour supporter le Mcast

- 3 niveaux de conformité

- 0 : l'hôte ne supporte pas le Mcast
- 1 : l'hôte peut émettre à destination d'un groupe
- 2 : l'hôte supporte le Mcast en émission et réception

- modèle d'implémentation IP d'un hôte



25

Le modèle de service de multicast (4/5)

- les extensions pour l'envoi Mcast

- interface de service IP
 - utilisation de SendIP
 - @ dest = @ de groupe
 - le niveau supérieur doit pouvoir spécifier un TTL
- module IP
 - si IP-dest est sur le même réseau local ou si IP-dest est une 0 de groupe alors envoyer le paquet en local à IP-dest sinon envoyer le paquet en local à GatewayTo (IP-dest)
- interface de service LAN
- module LAN
 - mécanisme de traduction des @IP Mcast en @MAC Mcast

Copyright 2004 by Timur Friedman

26

Le modèle de service du multicast (5/5)

- les extensions pour la réception Mcast

- interface de service IP
 - utilisation de ReceiveIP
 - ajout de JoinHostGroup (group-address, interface)
 - ajout de LeaveHostGroup (group-address, interface)
- module IP
 - maintien de la liste des groupes dont l'hôte est membre pour chacune des interfaces (mise à jour avec les Join et Leave)
 - intégration de IGMP et adhésion à 224.0.0.1
- interface de service LAN
 - ajout de JoinLocalGroup (group-address)
 - ajout de LeaveLocalGroup (group-address)
- module LAN
 - mécanismes de filtrage par la carte souhaités

Copyright 2004 by Timur Friedman

27

Plan

- Introduction
- Le multicast au niveau réseau
 - Le multicast sur un LAN
 - Le protocole IGMP
 - Le modèle de service
 - Les algorithmes de routage multicast
 - Shortest Path Tree
 - Minimum Cost Tree
 - Constrained Tree
 - Les protocoles de routage multicast
- Le multicast au niveau transport
- Perspectives de recherche

Copyright 2004 by Timur Friedman

28

Les algorithmes de routage multicast

- **objectif** : calculer un arbre de liens connectant tous les routeurs ayant des hôtes appartenant au groupe

- **buts** :

- minimiser la distance entre la source et chaque récepteur
- minimiser l'utilisation de liens dans le réseau
- ★ ces buts ne sont pas compatibles

Copyright 2004 by Timur Friedman

29

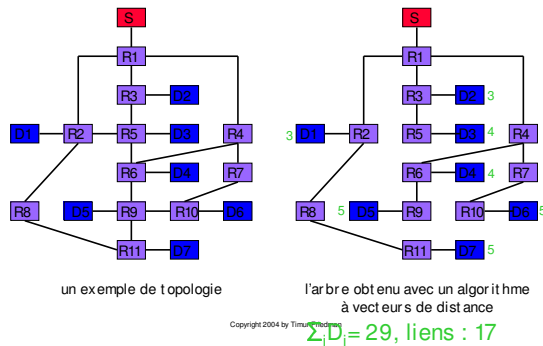
Les algorithmes SPT (1/2)

- **but** : calculer un arbre
 - ayant la source S pour racine
 - couvrant tous les récepteurs D_i du groupe
 - tel que la distance entre S et D_i soit minimum
- algorithmes de base
 - Bellmann-Ford : à vecteurs de distance
 - Dijkstra : à états des liens
- ⊗ un arbre par émetteur

Copyright 2004 by Timur Friedman

30

Les algorithmes SPT (2/2)



31

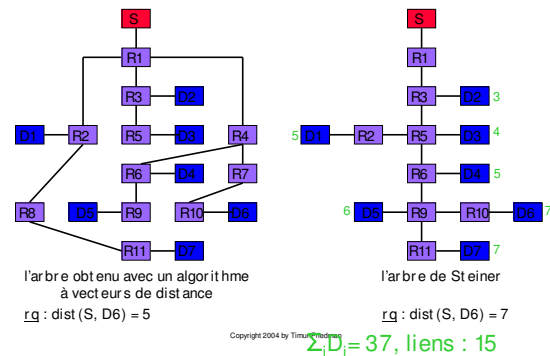
Les algorithmes MCT (1/2)

- but : minimiser le coût total de l'arbre
- 2 familles
 - les algorithmes Minimum Spanning Tree
 - contrainte : l'arbre ne doit toucher aucun nœud qui ne soit pas membre du groupe (pas réaliste car les routeurs ne sont pas de membres)
 - ex : algorithme de Prim
 - les algorithmes Minimum Steiner Tree
 - la contrainte est levée
 - problème NP-complet
 - ils supposent de connaître toutes les liaisons du réseau
 - ils sont monolithiques
 - ils n'exploitent pas les informations déjà disponibles de routage unicast

Copyright 2004 by Timur Friedman

32

Les algorithmes MCT (2/2)



33

Les algorithmes CT

- but : minimiser simultanément la dist(S, Di) et le coût total de l'arbre
- principe
 - associer à chaque lien 2 métriques (distance/délai et coût)
 - rechercher l'arbre à coût minimum tel que dist(S, Di) ≤ Δ

Copyright 2004 by Timur Friedman

34

Qu'appelle-t-on IP multicast ?

- mécanisme utilisé dans l'Internet pour construire un arbre de routage multicast efficace et sans boucles
- IGMP + protocole de routage Mcast

Copyright 2004 by Timur Friedman

35

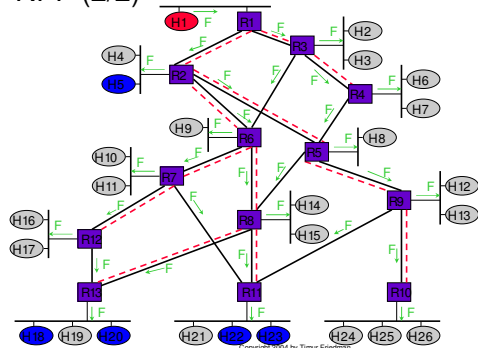
RPF (1/2)

- Reverse Path Forwarding (Source-based Routing)
- l'une des premières techniques utilisées
- but : construire un arbre ayant S comme racine et minimisant dist(S, Di)
- principe : utiliser l'inondation (flooding) avec
 - si un paquet est reçu par l'if utilisée par le routeur pour joindre S alors le paquet est retransmis sur les autres if sinon le paquet est rejeté
- 😊 mécanisme simple
 - les informations utilisées sont celles du routage unicast
 - Ri n'a pas à connaître les arbres recouvrants
 - pas de mécanisme particulier pour arrêter l'inondation

Copyright 2004 by Timur Friedman

36

RPF (2/2)



37

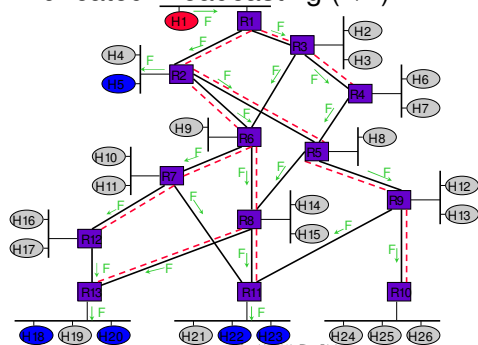
Truncated Broadcasting (1/2)

- **but** : réduire le trafic sur les LAN feuilles
- **idée** : utiliser les informations d'appartenance fournies par IGMP pour déterminer s'il faut ou non Mcast un paquet sur un LAN feuille
 - forme d'élégage (*pruning*) des feuilles
 - pas de réduction de trafic au cœur du réseau

Copyright 2004 by Timur Friedman

38

Truncated Broadcasting (2/2)



39

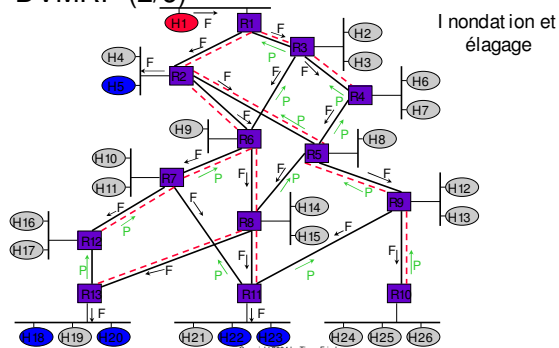
DVMRP (1/6)

- RFC 1075 (Nov.88), draft Version 3 en cours
- *Distance Vector Multicast Routing Protocol*
- **but** : réduire le trafic au cœur du réseau
- **principe** : inondation et élégage (*flooding and pruning*)
 - s'il n'a pas de membre sur son LAN, un routeur feuille envoie un message *prune* à ses voisins
 - un routeur feuille peut envoyer un *prune* sur toutes ses if, sauf celle correspondant à son SP avec la source (i.e. l'if RPF)
 - quand un routeur intermédiaire reçoit un *prune* sur chacune de ses if, sauf l'if RPF, il remonte le *prune* en amont
 - quand un routeur envoie un *prune*, il mémorise la paire (Source, Groupe) pour laquelle le *prune* a été envoyé

Copyright 2004 by Timur Friedman

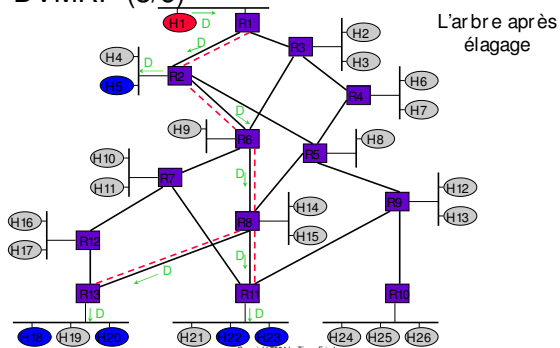
40

DVMRP (2/6)



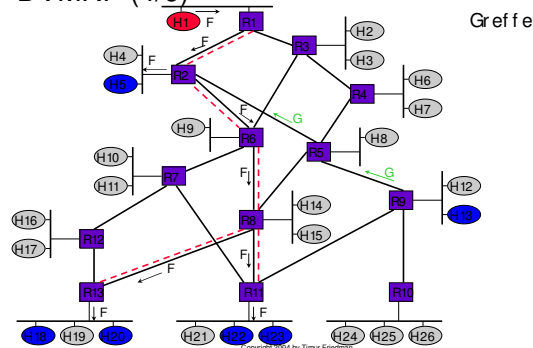
41

DVMRP (3/6)



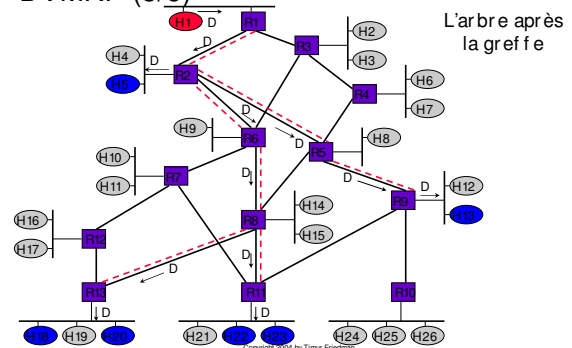
42

DVMRP (4/6)



43

DVMRP (5/6)



44

DVMRP (6/6)

- ⊗ problèmes communs aux protocoles à vecteurs de distance (e.g. temps de convergence)
- ⊗ processus périodique d'inondation et d'élagage pour chaque source
- ⊗ mémorisation des enregistrements *prune* (Source, Groupe)

Copyright 2004 by Timur Friedman

45

MOSPF

- RFC 1584 (March 94)
- Multicast Open Shortest Path First
- principe
 - opère dans un AS qui utilise OSPF pour l'unicast
 - étend OSPF en ajoutant les informations d'appartenance aux informations d'états des liens qui sont diffusées par OSPF
- ⊗ problème : *scalability* avec la taille du réseau
 - mémorisation d'un enregistrement par groupe et par lien du réseau
 - un arbre par source

Copyright 2004 by Timur Friedman

46

CBT (1/3)

- RFC 2189 et 2201 (Sept.97)
- Core Based Tree (Group-shared Tree)
- but : éviter les inconvénients de DVMRP et MOSPF
 - résistance au facteur d'échelle : un seul arbre pour le groupe
 - efficacité (éviter les inondations) : messages de *Join* et de *Leave* explicites
- principe : construire un arbre partagé, bidirectionnel, avec un cœur unique

Copyright 2004 by Timur Friedman

47

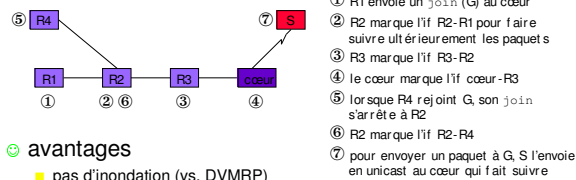
CBT (2/3)

- construction de l'arbre
 - un routeur local qui a un nouveau membre pour un groupe envoie un message *join-request* vers le cœur en unicast
 - le cœur ou le premier routeur sur le chemin faisant déjà partie de l'arbre répond par un *join-ack*
 - chaque routeur ayant vu passer le *join-request* marque l'if sur laquelle il l'a reçu
- maintien de l'arbre
 - chaque routeur envoie périodiquement des *echo-request* à son routeur amont
 - le routeur amont répond par des *echo-reply*
 - si un routeur aval n'obtient pas de réponse au bout de N essais, il détache son sous-arbre en envoyant un *flush-tree*

Copyright 2004 by Timur Friedman

48

CBT (3/3)



avantages

- pas d'inondation (vs. DVMRP)
- un hôte peut rejoindre/quitter un groupe sans délai (vs. DVMRP)
- un enregistrement par groupe avec les if sortantes (vs. DVMRP)
- pas de calcul explicite d'arbre (vs. MOSPF)

inconvénients

- problèmes de fiabilité, robustesse et de congestion pour le cœur
- l'arbre n'est pas optimal pour toutes les sources

Copyright 2004 by Timur Friedman

49

PIM (1/3)

- RFC 2362 (June 98)
- Protocol Independent Multicast
- idée** : distinction explicite de 2 scénarios de distribution
- le mode dense
 - les membres sont géographiquement concentrés dans une zone
 - idée** : RPF avec *flood-and-prune*, similaire à DVMRP est alors raisonnable

Copyright 2004 by Timur Friedman

50

PIM (2/3)

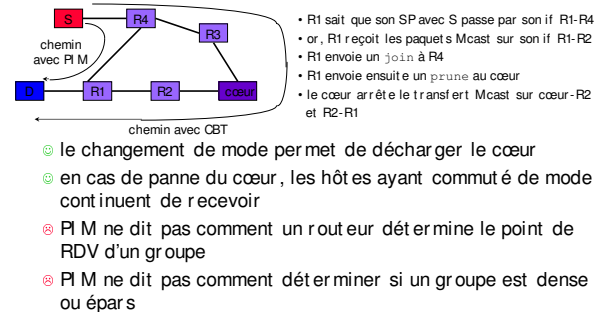
le mode épar

- les membres sont géographiquement éparpillés
- but** : un routeur ne doit pas avoir à travailler, à moins de rejoindre un arbre
- principe** : approche *center-based*, similaire à CBT
 - sauf :
 - pas d'acquiescement en réponse au *join*
 - le *join* est envoyé périodiquement pour «rafraîchir» l'arbre
 - le point de RDV informe une source active d'arrêter d'émettre lorsqu'il n'y a plus de routeurs dans l'arbre
 - changement de mode possible : de l'arbre partagé vers l'arbre par source
 - les points de RDV émettent périodiquement en aval pour indiquer leur activité

Copyright 2004 by Timur Friedman

51

PIM (3/3)



- le changement de mode permet de décharger le cœur
- en cas de panne du cœur, les hôtes ayant commuté de mode continuent de recevoir
- PIM ne dit pas comment un routeur détermine le point de RDV d'un groupe
- PIM ne dit pas comment déterminer si un groupe est dense ou épar

Copyright 2004 by Timur Friedman

52

Le Mbone (1/3)

problème

- pour mettre en œuvre le Mcast sur l'Internet, il faut que tous les routeurs aient des fonctions de Mcast et que les routeurs locaux supportent IGMP
- la plupart des routeurs de l'Internet ne supportent pas le Mcast !!!

idée

- bâtir des sous-réseaux capables de Mcast à la périphérie de l'Internet
- les interconnecter par des *tunnels*, les extrémités des tunnels sont des stations avec *mrouted* et un support de l'OS pour le Mcast

Multicast Backbone of the Internet

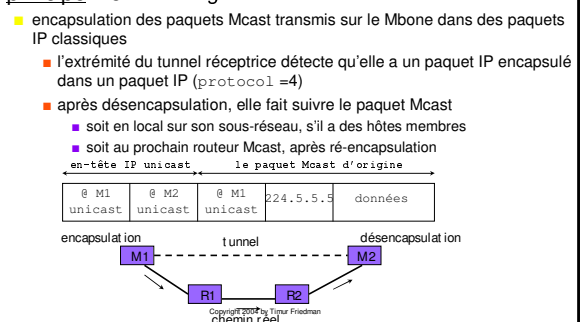
- réseau virtuel de recouvrement, solution transitoire
- premier tunnel en 88 entre BBN et Stanford
- des milliers de sous-réseaux aujourd'hui
- utilisé pour diffuser des sessions IETF ou des conf. IEEE/ACM

Copyright 2004 by Timur Friedman

53

Le Mbone (2/3)

principe : le tunneling



Copyright 2004 by Timur Friedman

54

Le Mbone (3/3)

- trafic
 - les conférences génèrent typiquement 100-300 kbits/s (limité à 500 kbit/s)
 - pas de mécanisme de «police» mais une déontologie de l'utilisateur
- applications
 - annuaires de session (sd, sdr)
 - conférences audio (vat, nevot, rat)
 - conférences vidéo (nv, ivs, vic, nevit)
 - tableau blanc (wb)
 - éditeur de textes (nte)
 - jeux distribués interactifs (MiMaze)

Copyright 2004 by Timur Friedman

55

Plan

- Introduction
- Le multicast au niveau réseau
- Le multicast au niveau transport
 - fiabilité
 - SRM
 - RMTP
- Perspectives de recherche

Copyright 2004 by Timur Friedman

56

Fiabilité

- peut-on étendre l'approche utilisée en unicast (ACK) ?
 - chaque destination doit envoyer un ACK pour chaque (groupe de) message(s)
 - un msg est retransmis jusqu'à réception d'un acquittement de chaque destinataire
 - congestion du réseau
 - implosion de la source
- idée : utiliser des NAK
 - le contrôle est déplacé de l'émetteur vers les récepteurs
 - la source émet sans se préoccuper des ACK
 - les récepteurs détectent les pertes sur «trous» de N° de séquence
- de nombreux protocoles ont été proposés
 - atomicité : soit 0 soit tous les récepteurs ont reçu le msg
 - terminaison : le résultat d'une transm. est connu en un temps fini
 - SRM, RMTP, RAMP, RMP, etc.

Copyright 2004 by Timur Friedman

57

SRM (1/2)

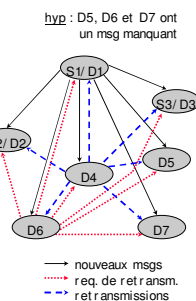
- Scalable Reliable Multicast
 - offre une transmission fiable, sans séquençement, «scalable» (car receiver-based + reprise en local)
 - 2 composants
 - un composant *indépendant de l'application* : offre les mécanismes pour demander et récupérer les segments de données manquants
 - un composant *dépendant de l'application* : est responsable du nommage des segments de façon à ce qu'ils soient identifiés de manière unique par tout le groupe et de l'ordonnancement
- idée : un segment manquant n'est pas forcément retransmis par la source
 - sur détection d'une perte, la demande de retransm. est Mcastée
 - le récepteur le plus proche du demandeur Mcaste la retransmission

Copyright 2004 by Timur Friedman

58

SRM (2/2)

- but : minimiser le trafic
 - un seul membre demande la retransm.
 - un seul membre retransmet le msg manquant
- principe
 - envoi des requêtes : *slotting + damping*
 - Request Timer
 - envoi des retransmissions
 - Repair Timer
- difficulté
 - dimensionnement des Timers
 - estimation du RTT pour chaque paire (D_i, D_j)

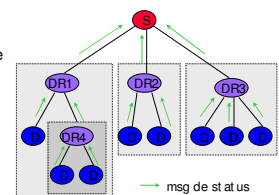


Copyright 2004 by Timur Friedman

59

RMTP

- Reliable Multicast Transport Protocol
 - offre une transmission point à multipoint, fiable, avec maintien de séquence
- idées
 - notion de hiérarchie
 - réduire l'implosion à la source
 - réduire les temps de réponse
 - notion de reprise en local
- principe
 - les récepteurs sont groupés dans des régions locales
 - il y a un DR (*Designated Receiver*) par région, chargé d'agréger les msg de status
- difficulté : construire l'arbre logique



60

Plan

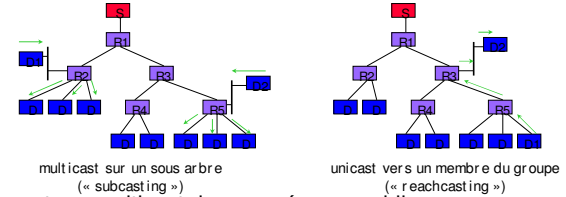
- Introduction
- Le multicast au niveau réseau
- Le multicast au niveau transport
- Perspectives de recherche
 - niveau réseau
 - niveau transport
 - niveau application

Copyright 2004 by Timur Friedman

61

Perspectives au niveau réseau

- adressage et routage à l'intérieur d'un groupe



Copyright 2004 by Timur Friedman

62

Perspectives au niveau transport

- contrôle de flux/congestion
- fiabilité assistée par les routeurs
- auto-configuration des membres du groupe

Copyright 2004 by Timur Friedman

63

Perspectives au niveau application

- allocation des adresses multicast
- nommage d'objets partagés

Copyright 2004 by Timur Friedman

64

Bibliographie

- [RFC 1112] S. Deering, «Host Extensions for IP Multicasting», August 1989.
- [RFC 1075] D. Waltzman, S. Deering, C. Partridge, «Distance Vector Multicast Routing Protocol», November 1988.
- [RFC 1584] J. Moy, «Multicast Extensions to OSPF», March 1994.
- [RFC 2189] A. Ballardie, «Core Base Trees (CBT Version 2) Multicast Routing: Protocol Specification», September 1997.
- [RFC 2201] A. Ballardie, «Core Base Trees (CBT Version 2) Multicast Architecture», September 1997.
- [RFC 2236] R. Fenner, «Internet Group Management Protocol, Version 2», November 1997.
- [RFC 2362] D. Estrin, D. Farinacci, A. Helmy, D. Thaler, S. Deering, M. Handley, V. Jacobson, C. Liu, P. Sharma, L. Wei, «Protocol Independent Multicast-Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification, June 1998.
- C. Diot, W. Dabbous, J. Crowcroft, «Multipoint Communication: A Survey of Protocols, Functions and Mechanisms», IEEE JSAC, Vol. 15, N°3, April 1997.
- S. Floyd, V. Jacobson, S. McCanne, C.G. Liu, L. Zhang, «A Reliable Multicast Framework for Lightweight Sessions and Applications Level Framing», Proc. of ACM SIGCOMM'95, October 1995.
- S. Paul, K.K. Sabnani, J.C. Lin, S. Bhattacharyya, «Reliable Multicast Transport Protocol (RMTP)», IEEE JSAC, Vol. 15, N°3, April 1997.
- S. Paul, «Multicasting on the Internet and its Applications», Kluwer Academic Publishers, 1998.
- <http://www.mbone.com>

Copyright 2004 by Timur Friedman

65