
La couche Réseau

*Comment parvenir à destination avec
ou sans « route » pré-établie ?*

Une route est-elle un chemin ?

Fonctions de la couche réseau

- Relier plusieurs réseaux
- Acheminer les données entre les équipements de différents réseaux
- Contrôler l'état des aiguilleurs et des autres équipements de communication
- Harmoniser certaines caractéristiques d'acheminement telles que
 - schémas d'adressage
 - limites de longueur des éléments de réseau
 - mécanismes d'accès aux réseaux
 - délais d'attente permis
 - mécanismes de reprise d'erreur
 - rapports d'état du réseau
 - techniques d'aiguillage
 - méthodes de contrôle d'accès du réseau
 - modes d'acheminement de la communication

Aiguillage

Un système d'aiguillage est

- un sous-ensemble d'équipements d'un réseau
- dont la fonction principale est de déterminer le chemin emprunté
- par les éléments de réseau (paquets)
- émis par d'autres équipements

Connexion (rappel)

- Les services *avec connexion* négocient une entente (la connexion) entre la source et la destination avant de transférer les données. Il y a donc une première étape où la source communique avec la destination pour établir la connexion, une étape intermédiaire où la connexion est utilisée pour le transfert puis une dernière étape où la connexion est rompue.
- Les services *sans connexion* ne négocient aucune entente préalable. La source transmet un élément de réseau qui contient en entête l'adresse de la destination. Il n'y a donc qu'une étape : le transfert.

Circuits virtuels et datagrammes

- Le *circuit virtuel* réserve un ensemble de liaisons formant un chemin entre la source et la destination. Le chemin entre la source et la destination est en premier lieu fixé puis c'est ce chemin qui sera utilisé pour la transmission des éléments de réseau pendant la durée de la communication.
- Le *datagramme* n'utilise aucune procédure d'établissement préalable de chemin. Les éléments de réseau sont transmis successivement d'aiguilleur en aiguilleur selon la disponibilité des liaisons entre la source et la destination.

La couche Réseau avec IPv4

Les mystères de l'aiguillage IP dévoilés

L'adressage IP

- Les principes de l'adressage IP
- Les classes d'adresses
- Les masques de réseaux
- Utilisation des sous-réseaux

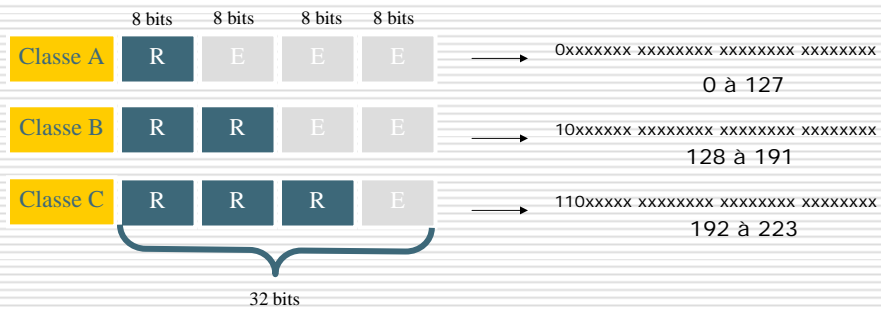
L'adressage IP Principes d'aiguillage (version minimale)

- Définir un schéma d'adressage en deux parties
 - adresse de réseau;
 - adresse d'équipement (au sein d'un réseau).
- Aiguiller le paquet vers une interface en fonction de son adresse de réseau (de destination)
 - Pour chaque paquet,
 - déterminer l'interface en fonction de l'adresse de réseau;
 - en cas d'échec, utiliser l'interface « par défaut ».
- Pour ce faire, pour chaque aiguilleur, définir
 - une liste d'aiguillage (« tableau de routage ») associant une adresse de réseau à une interface privilégiée
 - une interface « par défaut »

L'adressage IP Principes d'aiguillage (illustration)

□ ... au tableau!

L'adressage IP Les classes de réseaux



Classe D: 224 à 239 - Diffusion (*multicast*)

R : # réseau

Classe E: 240 à 255 - Expérimentale

E : # équipement

Voir le RFC 1597

L'adressage IP

Les adresses « spéciales »

- 00000000 00000000 00000000 00000000
 - l'équipement lui-même
- 0... ..0 <équipement>
 - l'équipement sur le réseau local
- 11111111 11111111 11111111 11111111
 - diffusion sur le réseau local
- <réseau> 1... ..1
 - diffusion sur le réseau
- 01111111 xxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx
 - bouclage

Adressage IP

La rançon du succès

- Épuisement des adresses de réseau
- Épuisement des adresses « tout court »
- Aiguillage dans les grands réseaux
- Aiguillage interne

L'adressage IP

Une première « extension » - les sous-réseaux

- Introduction du concept de sous-réseau
- Ajout d'une information complémentaire, le masque, permettant de faire varier la portion de l'adresse déterminant le sous-réseau
- Le masque de sous-réseau permet de
 - Diminuer le nombre d'unités par segment
 - Réduire la taille des domaines de diffusion
 - Mieux structurer l'adressage IP
 - Réduire les tables d'aiguillage

L'adressage IP

Une première « extension » - masques de sous-réseaux

- Dans le masque de sous-réseau
 - les 1 identifient les parties réseau et sous-réseau
 - les 0 identifient la partie équipement

192	168	10	123
<u>11000000.10101000.00001010.01111011</u>			
Et logique			
255	255	255	192
11111111.11111111.11111111.11000000			
=			
11000000.10101000.00001010.01000000			
192	168	10	64

L'adressage IP

Une première « extension » - calcul des sous-réseaux

- À quelle classe appartient l'adresse ?
- Combien de bits équipements sont empruntés ?
- 2 bits empruntés $-2 =$ nombre de sous-réseaux
- 2 bits restants $-2 =$ nombre d'hôtes par sous-réseau

L'adressage IP

Une première « extension » - Réseaux utilisables

- Le premier et le dernier sous-réseau sont théoriquement inutilisables
 - confusion entre l'adresse réseau principale et l'adresse réseau du sous-réseau,
 - confusion entre l'adresse de diffusion principale et l'adresse de diffusion du sous-réseau.
- La première adresse est réservée pour le réseau ou le sous-réseau.
- La dernière adresse est réservée pour la diffusion du réseau ou du sous-réseau.

L'adressage IP

Calcul de sous-réseaux - un cas d'aberration

- Que se passe-t-il si le masque est « discontinu » ?
 - Quel est l'adresse du réseau ?
 - Quelle est la plage d'adresses de ce sous réseau ?

CIDR (*classes interdomain routing*)

Normalisation des sous-réseaux

- Restreindre les bits du (sous-réseau) aux « n » bits initiaux, les bits résiduels composant l'adresse
- Notation a.b.c.d/n

CIDR

Internet et sous-réseaux privés

- Introduction de sous-réseaux « privés » non aiguillables sur les réseaux publics
- Les plages disponibles pour l'adressage privé sont :
 - 10.0.0.0 à 10.255.255.255 (10.0.0.0/8)
 - 172.16.0.0 à 172.31.255.255 (172.16.0.0/12)
 - 192.168.0.0 à 192.168.255.255 (192.168.0.0/24)
- Voir RFC 1597

Le paquet IP (sans ruban)

Version	Longueur en-tête	Type de service	Longueur totale du paquet	
Numéro de paquet		Indicateur	Déplacement	
Durée de vie	Protocole Id	Somme de contrôle		
Adresse IP de la source				
Adresse IP de la destination				
Options			Remplissage	
Données du transport				

La paquet IP

Les champs (1/3)

- Version (4 bits)
 - identification de la version du protocole IP (4, 5 ou 6)
- Longueur (4 bits)
 - longueur de l'en-tête en mots (32 bits)
- Type de service (8 bits)
 - Priorité (3 bits)
 - 0 la plus faible,
 - 7 la plus forte)
 - Qualité de service (3 bits)
 - D (1 bit) : faible attente
 - T (1 bit) : flux important
 - R (1 bit) : fiable
 - RUF (2 bits)
- Longueur totale du paquet (16 bits)
 - exprimée en octets
- Numéro du paquet (16 bits)
 - numéro permettant d'associer les fragments d'un même datagramme en cas de fragmentation

La paquet IP

Les champs (2/3)

- Indicateurs (3 bits) :
 - DF : indique si le paquet peut être fragmenté
 - MF : indique si le fragment est le dernier du paquet
 - RUF : non-utilisé
- Déplacement (13 bits)
 - indique le décalage du fragment de donnée en multiple de 8 octets par rapport au données transportées dans le datagramme originel. 0 pour un datagramme en 1 seul fragment, ou pour le premier fragment.
- Durée de vie (8 bits)
 - durée maximum de vie du paquet dans le réseau (en seconde)
- Protocole (8 bits)
 - identification du protocole de transport responsable de la charge utile du paquet
- Somme de contrôle (16 bits)
 - code détecteur d'erreur, doit être recalculé à chaque aiguillage (XOR)

La paquet IP

Les champs (3/3)

- Adresse IP de la source (32 bits)
 - ...
- Adresse IP de la destination (32 bits)
 - ...

- Options (taille variable entre 0 et 40 octets, en multiples de 4)
 - Chaque option est codée comme suit
 - Code (1 octet) : indique le type de traitement à appliquer aux options
 - Copy (1 bit) : indique si les options doivent être recopiées dans les fragments
 - Classe (2 bits) :
 - 0 : datagramme ou contrôle
 - 2 : mise au point
 - 1 et 3 : réservé
 - Numéro (5 bits) : nom de l'option dans la classe
 - Longueur (1 octet) : longueur en octets des données de l'option
 - Données de l'option (0 à 37 octets)
 - Remplissage (0 à 3 octets) : pour aligner sur une frontière de 4 octets

Le paquet IP

Les options (1/3)

- Sécurité
- Aiguillage strict
- Aiguillage partiel
- Enregistrement du chemin
- Horodatage

- voir
 - <http://www.iana.org/assignments/ip-parameters>
 - RFC 2780

Le paquet IP

Les options (2/3)

Copy	Class	Number	Value	Name	Reference
0	0	0	0	EOOL - End of Options List	[RFC791,JBP]
0	0	1	1	NOP - No Operation	[RFC791,JBP]
1	0	2	130	SEC - Security	[RFC1108]
1	0	3	131	LSR - Loose Source Route	[RFC791,JBP]
0	2	4	68	TS - Time Stamp	[RFC791,JBP]
1	0	5	133	E-SEC - Extended Security	[RFC1108]
1	0	6	134	CIPSO - Commercial Security	[???
0	0	7	7	RR - Record Route	[RFC791,JBP]
1	0	8	136	SID - Stream ID	[RFC791,JBP]
1	0	9	137	SSR - Strict Source Route	[RFC791,JBP]
0	0	10	10	ZSU - Experimental Measurement	[ZSu]
0	0	11	11	MTUP - MTU Probe	[RFC1191]*
0	0	12	12	MTUR - MTU Reply	[RFC1191]*
1	2	13	205	FINN - Experimental Flow Control	[Finn]
1	2	30	222	EXP - RFC3692-style Experiment (**)	[RFC4727]

Le paquet IP

Les options (3/3)

Copy	Class	Number	Value	Name	Reference
1	0	14	142	VISA - Experimental Access Control	[Estrin]
0	0	15	15	ENCODE - ???	[VerSteeg]
1	0	16	144	IMITD - IMI Traffic Descriptor	[Lee]
1	0	17	145	EIP - Extended Internet Protocol	[RFC1385]
0	2	18	82	TR - Traceroute	[RFC1393]
1	0	19	147	ADDEXT - Address Extension	[Ullmann IPv7]
1	0	20	148	RTRALT - Router Alert	[RFC2113]
1	0	21	149	SDB - Selective Directed Broadcast	[Graff]
1	0	22	150	- Unassigned (Released 18 October 2005)	
1	0	23	151	DPS - Dynamic Packet State	[Malis]
1	0	24	152	UMP - Upstream Multicast Pkt.	[Farinacci]
0	0	25	25	QS - Quick-Start	[RFC4782]
0	0	30	30	EXP - RFC3692-style Experiment (**)	[RFC4727]
0	2	30	94	EXP - RFC3692-style Experiment (**)	[RFC4727]
1	0	30	158	EXP - RFC3692-style Experiment (**)	[RFC4727]

Les protocoles auxiliaires

- ARP - Address Resolution Protocol
 - Résolution d'adresse IP en adresse MAC
- RARP - Reverse Address Resolution Protocol
 - Résolution d'adresse MAC en adresse IP
- ICMP - Internet Control Message Protocol
 - Gestion des messages du protocole IP
- IGMP - Internet Group Management Protocol
 - Protocole de gestion de groupes (de diffusion)
- BOOTP – Boot Protocol
 - Configuration dynamiques des adresses (v1)
- DHCP – Dynamic Host Control Protocol
 - Configuration dynamiques des adresses (v1)

Les algorithmes d'aiguillage IP

- CR versus CIDR
 - masques variables au lieu de classes statiques
 - priorisation linéaire
 - priorisation par le masque
 - priorisation par la métrique
 - priorisation par masque et métrique

La mise à jour des tables d'aiguillage

- RIP
- OSPF
- BGP
- ...

Les problèmes

- L'épuisement des adresses
- La fragmentation
- La qualité de service
- L'amélioration de la diffusion (broadcast et multicast)
- La performance
 - simplification du protocole
 - simplification de l'entête
- La mobilité
- L'interopérabilité
 - présente : avec IPv4... et les autres
 - future

Les faux problèmes

- La sécurité
- La performance
 - réduction de la taille des tables d'aiguillage

En attendant IPv6

- NAT
- IPSec