Licence informatique & vidéoludisme
Semestre 4

Systèmes et réseaux

Chapitre 8
Couche transport

Pablo Rauzy <pr@up8.edu>
pablo.rauzy.name/teaching/sr

Couche transport

Couche transport

- La couche transport est la quatrième couche du modèle OSI.
- Elle est en charge des communications de bout en bout entre *services*.
- C'est généralement la plus haute couche où on se préoccupe des erreurs de transmissions.
- Le service offert par cette couche est donc une abstraction complète des services réseaux fournis par les couches du dessous : au dessus, on transfert simplement des octets, potentiellement garantis sans corruptions ou pertes.

Principaux protocoles

- Les deux principaux protocoles de niveau 4 sont incontestablement UDP et TCP.
  - On a déjà vu un cas d'utilisation de chacun de ces protocoles lors de la séance d'introduction sur le chargement d'une page web.

UDP

- UDP signifie *User Datagram Protocol*.
- Son rôle est de permettre simplement et à moindre frais la transmission de données entre deux services définis par une adresse IP et un *numéro de port*.
- Il ne fournit aucune garantie sur la livraison des datagrammes, ni sur leur ordre d'arrivée.

Cas d'utilisations

- UDP est utilisé essentiellement dans deux cas :
  - pour transmettre des petites quantité de données,
  - pour transmettre rapidement beaucoup de données, dans les cas ou perdre un datagramme de temps en temps n'est pas grave.
- Le premier cas d'utilisation typique est le DNS.
- Le second cas d'utilisation sont le streaming, la VoIP, ou les jeux en ligne.

Entêtes UDP

- Les entêtes d'UDP sont réduits au strict minimum :
  - le port source,
  - le port destination,
  - longueur totale du datagramme (entêtes+données),
  - somme de contrôle.

Port Source (16 bits)	Port Destination (16 bits)
Longueur (16 bits)	Somme de contrôle (16 bits)
Données (longueur variable)	

La somme de contrôle

- Elle est calculée non seulement sur les entêtes UDP, mais aussi sur :
  - les données,
  - certains des entêtes IP.
- Il existe une variante UDP-Lite qui permet de choisir sur combien d'octets à partir du début du paquet est calculée la somme de contrôle.

+	Bits 0 - 7	8 - 15	16 - 23	24 - 31
-96	Adresse Source			
-64	Adresse Destination			
-32	Zéros	Protocole	Taille UDP	
0	Port Source		Port Destination	
32	Longueur		Somme de contrôle	
64	Données			

- Pour ouvrir une socket UDP, on utilise le type `SOCK_DGRAM`.
- Rappel :
  - ```
    #include <sys/socket.h>
    int socket(int domain, int type, int protocol);
    ```
- Avec zéro comme protocole il sera choisit automatiquement en fonction du type.
  - Pour faire les choses parfaitement et proprement, il faudrait utiliser `getprotobyname` avec `"udp"` pour obtenir une `struct protoent` dont le membre `p_proto` contient la bonne valeur pour le paramètre `protocol` (en l'occurrence, 17).
    ```

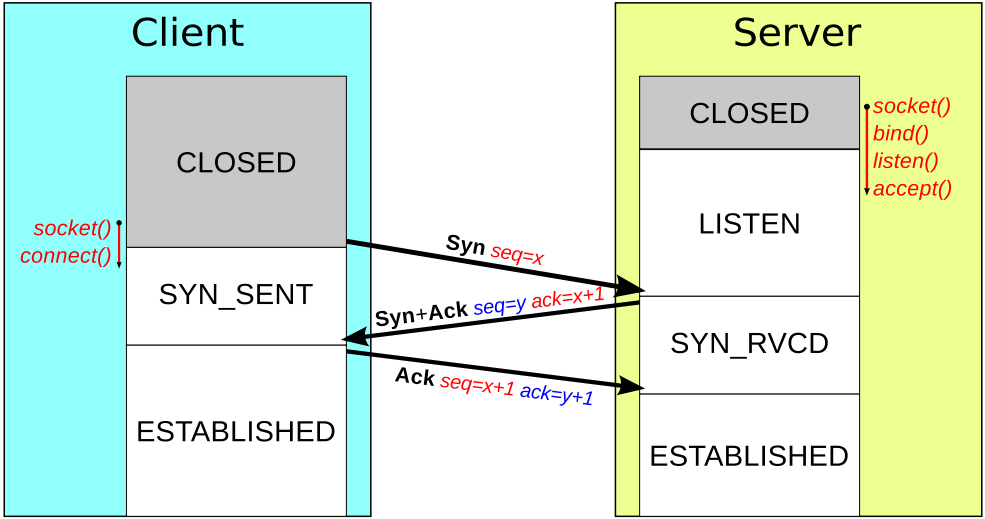
TCP

- TCP signifie *Transmission Control Protocol*.
- C'est un protocole de transport *fiable* en *mode connecté*.
- Fiable, cela signifie que TCP garanti aux couches d'au dessus que :
  - les *segments* arrivent tous à destination,
  - les segments sont dans l'ordre à destination,
  - les données échangées sont intègres.
- Une *session* TCP se passe en 3 étapes :
  - l'ouverture de la connexion,
  - l'échange de données,
  - la fermeture de la connexion.

L'ouverture de la connexion

- Dans TCP, la connexion est ouverte par un *handshake* en trois temps entre le client et le serveur.
- Le but de cet échange est d'établir des numéros de séquence qui permettront de garantir l'ordre et la complétude de l'ensemble des segments transmit.
- L'ouverture se passe en 3 étapes :
  - Le client envoie un segment SYN au serveur avec un numéro de séquence aléatoire A.
  - Le serveur répond au client avec un segment SYN-ACK.
    Il contient un numéro d'acquittement qui vaut A+1.
    Il contient aussi un numéro de séquence aléatoire B.
  - Le client répond au serveur avec un segment ACK.
    Le numéro de séquence du segment vaut A+1.
    Le numéro d'acquittement vaut B+1.

Schéma


Client
CLOSED
socket()
connect()
SYN_SENT
ESTABLISHED
Server
CLOSED
socket()
bind()
listen()
accept()
LISTEN
SYN_RVCD
ESTABLISHED
Syn seq=x
Syn+Ack seq=y ack=x+1
Ack seq=x+1 ack=y+1

L'échange de données

- Pendant l'échange de données :
  - les sommes de contrôle sont utilisées pour vérifier l'intégrité des segments,
  - les numéros de séquence et acquittement pour vérifier que l'ensemble des données est bien arrivé et est ordonnable.

L'échange de données

- Pendant l'échange de données :
  - les sommes de contrôle sont utilisées pour vérifier l'intégrité des segments,
  - les numéros de séquence et acquittement pour vérifier que l'ensemble des données est bien arrivé et est ordonnable.
- Comme pour UDP la somme de contrôle est calculée sur les entêtes et les données.

L'échange de données

- Pendant l'échange de données :
  - les sommes de contrôle sont utilisées pour vérifier l'intégrité des segments,
  - les numéros de séquence et acquittement pour vérifier que l'ensemble des données est bien arrivé et est ordonnable.
- Comme pour UDP la somme de contrôle est calculée sur les entêtes et les données.
- À chaque transfert de segment :

L'échange de données

- Pendant l'échange de données :
  - les sommes de contrôle sont utilisées pour vérifier l'intégrité des segments,
  - les numéros de séquence et acquittement pour vérifier que l'ensemble des données est bien arrivé et est ordonnable.
- Comme pour UDP la somme de contrôle est calculée sur les entêtes et les données.
- À chaque transfert de segment :
  - l'émetteur envoie :
    - numéro de séquence : initial + nombre d'octets envoyés,
    - numéro d'acquittement : prochain numéro de séquence attendu du destinataire ;

L'échange de données

- Pendant l'échange de données :
  - les sommes de contrôle sont utilisées pour vérifier l'intégrité des segments,
  - les numéros de séquence et acquittement pour vérifier que l'ensemble des données est bien arrivé et est ordonnable.
- Comme pour UDP la somme de contrôle est calculée sur les entêtes et les données.
- À chaque transfert de segment :
  - l'émetteur envoie :
    - numéro de séquence : initial + nombre d'octets envoyés,
    - numéro d'acquittement : prochain numéro de séquence attendu du destinataire ;
  - le destinataire répond avec un segment ACK :
    - numéro de séquence : numéro d'acquittement du segment reçu,
    - numéro d'acquittement : numéro de séquence reçu augmenté du nombre d'octets reçus ;

L'échange de données

- Pendant l'échange de données :
  - les sommes de contrôle sont utilisées pour vérifier l'intégrité des segments,
  - les numéros de séquence et acquittement pour vérifier que l'ensemble des données est bien arrivé et est ordonnable.
- Comme pour UDP la somme de contrôle est calculée sur les entêtes et les données.
- À chaque transfert de segment :
  - l'émetteur envoie :
    - numéro de séquence : initial + nombre d'octets envoyés,
    - numéro d'acquittement : prochain numéro de séquence attendu du destinataire ;
  - le destinataire répond avec un segment ACK :
    - numéro de séquence : numéro d'acquittement du segment reçu,
    - numéro d'acquittement : numéro de séquence reçu augmenté du nombre d'octets reçus ;
  - si au bout d'un temps limite (qui est adapté au fur et à mesure des échanges) l'émetteur ne reçoit pas d'ACK, il renvoie le segment,

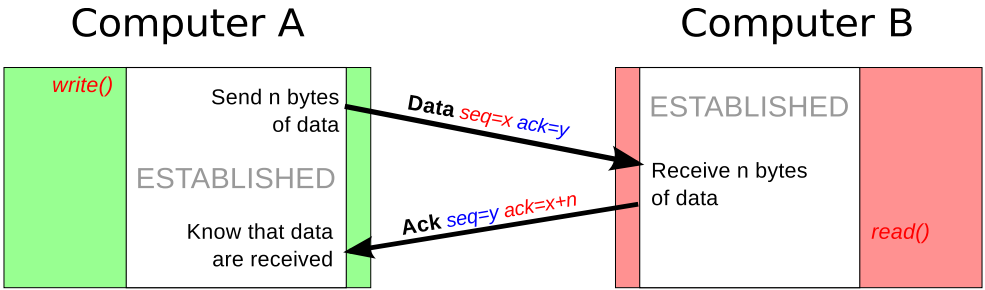
L'échange de données

- Pendant l'échange de données :
  - les sommes de contrôle sont utilisées pour vérifier l'intégrité des segments,
  - les numéros de séquence et acquittement pour vérifier que l'ensemble des données est bien arrivé et est ordonnable.
- Comme pour UDP la somme de contrôle est calculée sur les entêtes et les données.
- À chaque transfert de segment :
  - l'émetteur envoie :
    - numéro de séquence : initial + nombre d'octets envoyés,
    - numéro d'acquittement : prochain numéro de séquence attendu du destinataire ;
  - le destinataire répond avec un segment ACK :
    - numéro de séquence : numéro d'acquittement du segment reçu,
    - numéro d'acquittement : numéro de séquence reçu augmenté du nombre d'octets reçus ;
  - si au bout d'un temps limite (qui est adapté au fur et à mesure des échanges) l'émetteur ne reçoit pas d'ACK, il renvoie le segment,
  - si le destinataire reçoit deux fois le même segment il s'en rend compte grâce au numéro de séquence et ignore le second,

L'échange de données

- Pendant l'échange de données :
  - les sommes de contrôle sont utilisées pour vérifier l'intégrité des segments,
  - les numéros de séquence et acquittement pour vérifier que l'ensemble des données est bien arrivé et est ordonnable.
- Comme pour UDP la somme de contrôle est calculée sur les entêtes et les données.
- À chaque transfert de segment :
  - l'émetteur envoie :
    - numéro de séquence : initial + nombre d'octets envoyés,
    - numéro d'acquittement : prochain numéro de séquence attendu du destinataire ;
  - le destinataire répond avec un segment ACK :
    - numéro de séquence : numéro d'acquittement du segment reçu,
    - numéro d'acquittement : numéro de séquence reçu augmenté du nombre d'octets reçus ;
  - si au bout d'un temps limite (qui est adapté au fur et à mesure des échanges) l'émetteur ne reçoit pas d'ACK, il renvoie le segment,
  - si le destinataire reçoit deux fois le même segment il s'en rend compte grâce au numéro de séquence et ignore le second,
  - dans chaque segment est indiqué une taille de buffer disponible chez son émetteur, qui signale combien il peut recevoir d'octet avant avant d'envoyer un ACK.

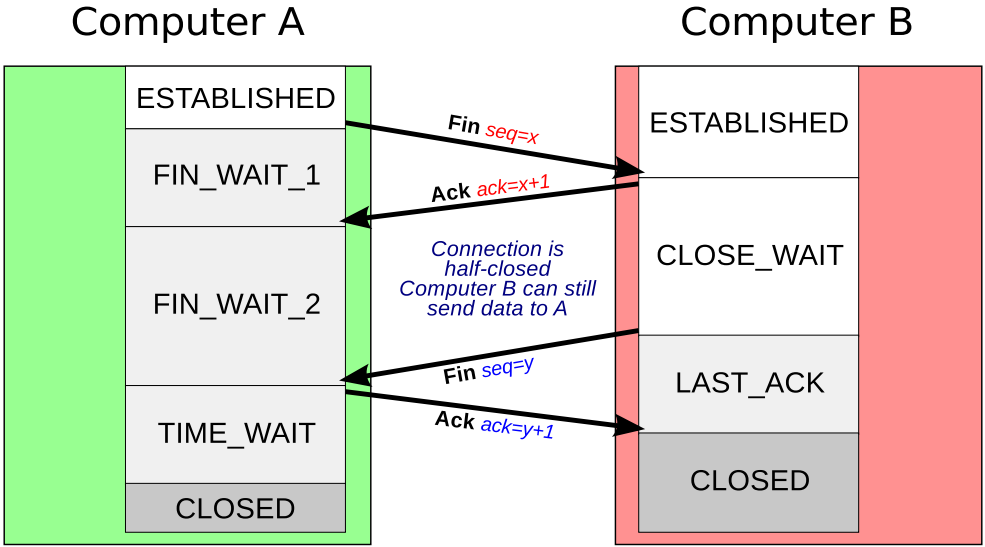
Schéma


Computer A
Computer B
write()
Send n bytes of data
ESTABLISHED
Know that data are received
Data seq=x ack=y
Ack seq=y ack=x+n
ESTABLISHED
Receive n bytes of data
read()

La fermeture de la connexion

- La fermeture de connexion se fait indépendemment de chaque côté mais avec confirmation, donc en quatre temps en tout.
- D'abord un des deux participants A ferme sa connexion vers l'autre B :
  - A envoie un segment FIN avec son numéro de séquence courant X,
  - B répond un segment ACK avec comme numéro d'acquittement X+1.
- Ensuite, B ferme sa connexion vers A :
  - B envoie un segment FIN avec son numéro de séquence courant Y.
  - A répond un segment ACK avec comme numéro d'acquittement Y+1.

Schéma


Computer A
Computer B
ESTABLISHED
FIN_WAIT_1
FIN_WAIT_2
TIME_WAIT
CLOSED
ESTABLISHED
CLOSE_WAIT
LAST_ACK
CLOSED
Fin seq=x
Ack ack=x+1
Connection is half-closed
Computer B can still send data to A
Fin seq=y
Ack ack=y+1

Entêtes TCP

Offsets	Octet	0								1								2								3							
Octet	Bit	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
0	0	Source port																Destination port															
4	32	Sequence number																															
8	64	Acknowledgment number (if ACK set)																															
12	96	Data offset				Reserved 0 0 0			N S	C W R	E C E	U R G	A C K	P S H	R S T	S Y N	F I N	Window Size															
16	128	Checksum																Urgent pointer (if URG set)															
20 ...	160 ...	Options (if *data offset* > 5. Padded at the end with "0" bytes if necessary.) ...																															

Programmation

- Pour ouvrir une socket TCP, on utilise le type `SOCK_STREAM`.
- Rappel :
  - ```
    #include <sys/socket.h>
    int socket(int domain, int type, int protocol);
    ```
- Avec zéro comme protocole il sera choisit automatiquement en fonction du type.
  - Pour faire les choses parfaitement et proprement, il faudrait utiliser `getprotobyname` avec `"tcp"` pour obtenir une `struct protoent` dont le membre `p_proto` contient la bonne valeur pour le paramètre `protocol` (en l'occurrence, 6).
    ```

QUIC

- Un mot rapide sur QUIC.
  - QUIC a été introduit il y a une dizaine d'année, son déploiement n'est pas généralisé.
  - Il s'agit d'un protocole de niveau transport aussi mais qui pour des raisons de compatibilité avec le matériel et les systèmes existants est encapsulé dans UDP.
  - Il a pour objectif de remplacer TCP notamment pour les connexions HTTP (en v2 et v3) pour lesquels il permet le *multiplexing*.
  - Il inclut aussi directement TLS (*transport layer security*) plutôt que d'en faire une couche supplémentaire comme le fait TCP.