

Généralités

Définition

Un *réseau informatique* est un ensemble de composants matériels ou logiciels, permettant d'assurer un service de communication.

Généralités

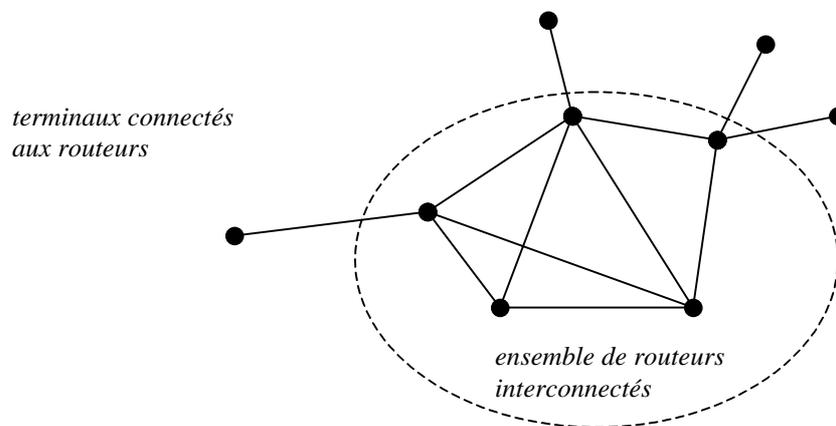
(...)

Types de réseaux

- *LAN (Local Area Network)* : Réseaux locaux pour de courtes distances avec des débits de quelques dizaines de Mbits / seconde jusqu'à quelques centaines.
- *MAN (Metropolitan Area Network)* : Destinés à couvrir de très grands périmètres qui sont fédérateurs de réseaux locaux.
- *WAN (Wide Area Network)* : Réseaux terrestres à travers des câbles posés et réseaux satellitaires.

Architectures de base

- *Architecture hiérarchique* (en arbre).
- *Architecture maillée* : Tout terminal doit se connecter à un *routeur* ou *commutateur* jusqu'à atteindre sa destination.



- *Architecture en bus* (généralement bidirectionnel).
- *Architecture en anneaux*.

Protocoles

Un *protocole* est un ensemble de règles de communication et de messages assurant un service de communication.

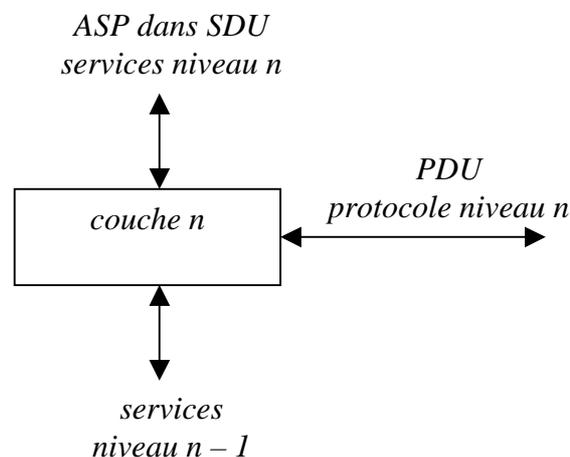
- *Protocole propriétaire* : Pour chaque marque d'ordinateur correspond un protocole différent. Problèmes de compatibilité. Nécessité d'utiliser des interfaces...
- *Protocole ouvert* : Le concept *OSI (Open System Interconnection)* de l'*ISO (International Standart Organisation)*. Toutes communications passent par un seul réseau ouvert, qui assure le transfert des informations, ce qui rend tout le monde compatible.

Structure en couches : *modèle OSI à 7 couches*

Une couche assurant la transmission de l'application demandée avec envoi de messages.	7	<i>couche application</i>	Gère les applications de types réseaux : courrier électronique, transfert de fichier, appel de procédure distantes...
	6	<i>couche présentation</i>	Assure une transparence en terme de codage (ex. <i>ASCII</i>).
	5	<i>couche session</i>	S'occupe de fiabiliser la communication utilisateurs, gère des tours de parole, synchronisation.
Une couche de communication de base permettant de transmettre physiquement en respectant un certain nombre de règles.	4	<i>couche transport</i>	Optimise l'utilisation de la couche réseau et assure des travaux de type fragmentation de message (ex. <i>TCP</i>).
	3	<i>couche réseau</i>	Offre un nombre de services dont un service d'adressage (<i>IP</i>) permettant d'atteindre son destinataire, un service de routages déterminant un chemin à l'intérieur du réseau maillé et un contrôle du flux pour ne pas saturer le réseau.
	2	<i>couche liaison de données</i>	Permet d'assurer une liaison fiable par une bonne synchronisation et une détection d'erreurs.
	1	<i>couche physique</i>	Emet des signaux assurant la bonne transmission.

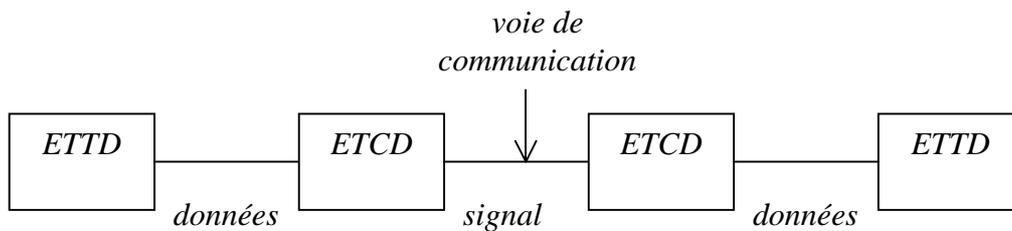
Protocole et service

Encapsulation des services couche par couche.



- *ASP (Abstract Service Protocol) dans SDU (Service Data Unit)* : Les primitives de service ASP classiques sont *CON, DIS, DT*.
- *PDU (Protocol Data Unit)* : Les entités de protocole *PDU* classiques sont *CR, CC, AR, DR, DC, DATA*.

Transmission physique d'information



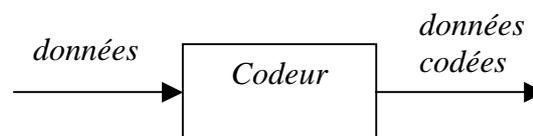
- *ETTD* : Equipement terminaux de transmissions des données.
- *ETCD* : Equipement terminaux de contrôles des données.

Signaux

Signal périodique $a(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$, déterminé par son *amplitude*, sa *phase* et sa *période*.

- *Bande passante* : Le système de transmission possède une bande passante (filtrage des signaux passe-bas et passe-haut).
- *Débit d'information* : En bits / seconde. Dans le cas d'un signal s bruité (par un bruit b), le *débit maximum* s'exprime (formule de *Shanon*) $D = W \log_2 \left(1 + \frac{s}{b} \right)$ avec $W = f_2 - f_1$ la largeur de la bande passante.

Codage des signaux



- *Codage NRZ*.

<i>données</i>	<i>codage</i>
0	- a
1	+ a

Problème de non détection des lignes (cas où il n'y a que des 0 ou des 1)

- *Code Manchester*.

<i>données</i>	<i>codage</i>
<i>0</i>	<i>front d'amplitude montant</i>
<i>1</i>	<i>front d'amplitude descendant</i>

Inconvénient. Ce codage utilise une largeur de bande double par rapport à NRZ.

- *Multiplexage.*

Autorise plusieurs émetteurs à envoyer leur message sur la même voie de communication, sans mélanger l'information à la sortie.

- 1) *Multiplexage temporel* : Ensemble de voies « basses vitesses » (VB_i). Débit utile inférieur au débit théorique de la ligne de transmission (divisé par le nombre de transmission en parallèle), cas des voies muettes.
- 2) *Multiplexage statistique* : Optimisation multiplexage temporel. Utilise un codage spécial type *Huffman* en vue d'améliorer la transmission, notamment prise en charge des voies muettes.
- 3) *Multiplexage fréquentiel* : Partage de la bande passante disponible sur un système de transmission en *canaux*.
 - a. *Emission* : ETCD multiplexeur, adaptateur de fréquence, attribution d'un canal et transposition fréquentielle par rapport au signal de base.
 - b. *Réception* : ETCD démultiplexeur, filtrage en fréquence sélectionnant le canal.
- 4) *Multiplexage en longueur d'onde.*

- *Modulation.*

Fréquence porteuse / Signal modulé. C'est la modulation qui porte l'information et non le signal modulé lui-même.

- 1) *Modulation d'amplitude.*
- 2) *Modulation de fréquence.*
- 3) *Modulation de phase.*

Fréquence porteuse / Signal modulé. C'est la modulation qui porte l'information et non le signal lui-même.

On peut combiner les diverses modulations (par exemple, une modulation d'amplitude sur 4 niveaux + une modulation de phase sur 2 niveaux). La *valence* est le nombre de niveaux de modulations. La *rapidité de modulation* est le nombre de modulation par seconde et s'exprime en *bauds*.

La modulation assure une bonne transmission, caractérisée par un débit maximum. La formule de Nyquist montre que $\text{Débit}_{\max} (\text{bit} / \text{s}) = \text{Rapidité} (\text{bauds}) \times \log_2 (\text{valence})$.

Modem : Modulateur – Démodulateur (ETCD). Le modem est défini par une fréquence de base et un type de modulation.

Supports de transmission

<i>support de transmission</i>		<i>caractéristique</i>
<i>fil métallique</i>		<i>100 Mbits/s (courte distance)</i>
<i>câble coaxial</i>		<i>haut débit (réseaux locaux)</i>
<i>fibre optique</i>		<i>supérieur à 100 Mbits/s</i>
<i>transmission par onde</i>	<i>antenne hertzienne</i>	
	<i>antenne infrarouge</i>	<i>10 Mbits/s</i>
	<i>satellite géostationnaire</i>	<i>2 Mbits/s</i>

Codage des informations

Codes généraux

- *Code CCITT n° 2 (Telex).*
Utilisation de 2 *drapeaux* (lettres et chiffres).
- *Code EBDIC (8 bits).*
- *Codage de Huffman.*
Code de longueur variable. Plus le caractère est fréquent, moins on utilise de bits pour le coder. Le code d'un élément ne doit pas avoir de préfixe représentant un autre élément.
- *Codage alphamosaïque (minitel).*
Ensemble de jeux de caractères (alphabet, mosaïque) identifiés par des *drapeaux*.
- *Codage des images photographiques (noir & blanc, niveaux de gris, couleur RVB).*

Codages contre les erreurs

Le codeur ajoute des bits de contrôles (redondance).



Stratégies. Si $X' = X$, pas d'erreur $\rightarrow U$. Si $X' \neq X$, erreur ! Si l'erreur est corrigible $\rightarrow U$, sinon (erreur non corrigible) demande de réémission.

Blocs de données : $U = u_1 u_2 \wedge u_k \rightarrow X = x_1 x_2 \wedge x_n$ avec k la dimension du code et n la longueur du code, tels que $n \geq k$. Il y a $n - k$ bits de contrôles.

Un code systématique est de la forme $U \rightarrow X = Ux_{k+1} \Lambda x_n$.

Le rendement du code est $r = \frac{k}{n}$.

L'efficacité du code est $e = \frac{\text{nombre de messages reconnus faux}}{\text{nombre de messages faux}}$.

Le poids de Hamming d'un élément de code est le nombre de bits non nuls.

La distance de Hamming entre deux éléments est le poids de la somme (calcul en binaire) des éléments. Par exemple, la distance entre 0000 et 1111 est 4.

Détection & Correction

$D_{\min} = \min\{\text{distance de Hamming entre } u \text{ et } v / u, v \in \text{code}\}$ est la distance minimale associée à un code.

Si $D_{\min} = 2d + 1$, alors la détection est d'ordre $\leq 2d$ et la correction est d'ordre $\leq d$.

Si $D_{\min} = 2d$, alors la détection est d'ordre $\leq 2d - 1$ et la correction est d'ordre $\leq d - 1$.

Considérons le code suivant $\{0 \rightarrow 0000 ; 1 \rightarrow 1111\}$, $k = 1$, $n = 4$. Ce code possède 3 bits de contrôles. On a $D_{\min} = 4$. Donc, détection d'ordre ≤ 3 et correction d'ordre ≤ 1 .

Soit X le bloc émis et X' le bloc reçu. On appelle vecteur d'erreur $E = X \oplus X'$. Si $E = 0$, pas d'erreur. Si $E \neq 0$, il y a une erreur, localisé sur les bits 1 de E .

Soit p la probabilité d'avoir une erreur sur 1 bit. La probabilité qu'il n'y ait pas d'erreur est donc $1 - p$ (toujours pour 1 bit). La probabilité de bien recevoir n bits est donc $(1 - p)^n$ et la probabilité pour qu'il y ait au moins une erreur est $1 - (1 - p)^n$.

Codes linéaires

Un code linéaire est un code systématique avec les $n - k$ bits de contrôles dépendant linéairement des k bits d'info.

Soit $X = (x_1 \ \Lambda \ x_n)$. La matrice de contrôle est une matrice de dimension $n - k \times n$, de la forme $H = (A \ I_{n-k})$ avec A de dimension k . La matrice de contrôle vérifie $H \times X^T = O$. Le vecteur U étant connu, cette dernière relation permet d'écrire un système linéaire et de calculer les bits de contrôles $(x_{n-k+1} \ \Lambda \ x_n)$.

1) Codage.

La matrice génératrice d'un code est $G = (I_k \ -A^T)$ de dimension $k \times n$; elle vérifie $G \times H^T = O$ et $U \times G = X$. Le sous-produit matriciel $U \times -A^T$ calcule les bits de contrôle.

Considérons le code ($n = 6, k = 3$) défini par la matrice $H = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$. On

déduit $G = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$. Considérons un bloc de données U décrivant toutes les

entrées possibles : $U = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ \text{M} & \text{M} & \text{M} \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$. On calcule $X = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & | & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & | & 1 & 1 & 0 \\ \text{M} & \text{M} & \text{M} & | & \text{M} & \text{M} & \text{M} \\ 1 & 1 & 1 & | & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$.

2) Décodage.

Le syndrome d'un vecteur Y est $s(Y) = Y \times H^T$. On a $s(Y) = O$, si Y appartient au code. En revanche, si on introduit une erreur, $Y = X + E$ avec E le vecteur d'erreur, alors $s(Y) = s(E)$ car $s(X) = O$.

Localisation d'erreur. Soit X' le vecteur reçu. Si $s(X') = O$, alors il n'y a pas d'erreur et $X' = X$. Si il y a une (seule) erreur, $s(X') \neq O$, on peut localiser cette erreur en recherchant la ligne identique à $s(X')$ dans la matrice H^T . La position de l'erreur dans X' correspond au rang de la ligne trouvée. On peut ensuite la corriger.

Poursuivons notre exemple avec la matrice $H^T = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ et $X' = (0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0)$.

On vérifie : $s(X') = (0 \ 0 \ 0)$. Supposons qu'une erreur se produise sur le second bit, on reçoit $X' = (0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0)$. On calcule alors le syndrome $s(X') = (1 \ 0 \ 1)$ qui correspond à la deuxième ligne de H^T ; l'erreur est localisée et peut être corrigé.

Codes cycliques

Un code cyclique est tel que, si $X^0 = (x_0 \ \Lambda \ x_{n-1})$ appartient au code, tous les X^i obtenus par des permutation circulaire de X^0 appartiennent également au code.

Un code cyclique linéaire est un idéal dans l'algèbre des polynômes modulo $x^n + 1$ à coefficients binaires.

1) *codage.*

Soit un mot $U = (a_0 \ \Lambda \ a_{k-1})$. On cherche à calculer $X = (a_0 \ \Lambda \ a_{n-1})$, le mot du code associé à U . On écrit $U(x) = \sum_{i=0}^{k-1} a_i x^{k-1-i}$ de degrés $k-1$. Le bit de poids fort est le plus à gauche. Par exemple pour $k=4$, si $U = 1011$, on obtient $U(x) = x^3 + x + 1$.

Algorithme de codage. Soit g un polynôme diviseur de degrés $n-k$, le nombre de bits de contrôle. On cherche à calculer $X(x) = \sum_{i=0}^{n-1} a_i x^{n-1-i}$, et plus particulièrement les bits de contrôles.

- On commence par effectuer un décalage de $n-k$ bits, ce qui se traduit par le produit $x^{n-k} \times U(x)$ (polynôme de degrés $n-1$). Donc $X(x) = x^{n-k} \times U(x) + R(x)$.

Les bits de contrôles sont déterminés par $R(x) = \sum_{i=k}^{n-1} a_i x^{n-1-i}$.

- On effectue la division euclidienne de $x^{n-k} \times U(x)$ par $g(x)$, ce qui donne $x^{n-k} \times U(x) = g(x)p(x) + r(x)$ avec $r(x)$ le reste de degrés $< n-k$.
- On pose $R(x) = r(x)$. Ainsi les bits de contrôles sont déterminés. En effet, on a $X(x) = g(x)p(x) + \underset{0}{\underset{1}{\underset{2}{\underset{3}}{r(x)}}} = g(x)p(x)$. En conclusion, g divise X .

2) *Détection d'erreur.*

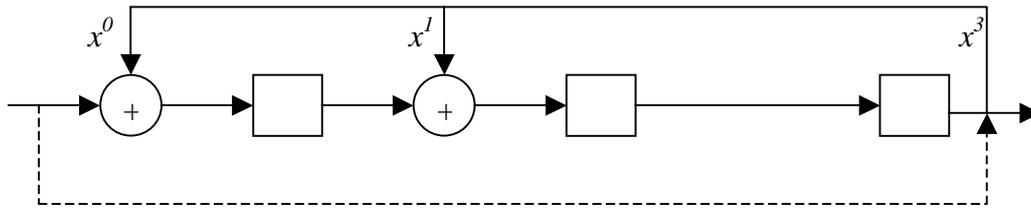
A la réception d'un X' , on effectue la division euclidienne entre $X'(x)$ et $g(x)$. Si le reste est nul, alors il n'y a pas d'erreur ; sinon il s'est produit une erreur.

Supposons $E(x) = x^i$. Pour qu'une erreur (seule) soit détectable, il faut que g ne divise pas x^i (pour tout i).

Supposons $E(x) = x^i + x^j = x^j(x^{i-j} + 1)$. Afin de pouvoir réaliser la détection de deux erreurs, il faut en plus que g ne divise pas $x^k + 1$ pour tout k .

3) *Circuit de codage et de décodage.*

Soit g un polynôme diviseur, par exemple $g(x) = x^3 + x + 1 = \sum_{i=0}^{n-k-1} c_i x^i$. Le circuit associée se représente de la façon suivante.



Le mot en entrée est $U = 1001$; on cherche à calculer les bits de contrôles dans $X = 1001???$.

		bits de contrôle			
	entrée	1 ^{er} bit	2 ^{ème} bit	3 ^{ème} bit	sortie
<i>Initialisation</i>					
		0	0	0	
4 cycles ¹	1	1	0	0	1
	0	0	1	0	0
	0	0	0	1	0
	1	0	1	0	1
<i>Débranchement du lien direct.</i>					
3 cycles ²	0	0	0	1	X
	0	1	1	0	X
	0	0	1	1	X
<i>Débranchement de la rétroaction.</i>					
3 cycles ³	X	X	0	1	1
	X	X	X	0	1
	X	X	X	X	0

En conclusion, on obtient le mot $X = 1001110$

¹ entrée du mot U de dimension k , bit par bit, à commencer par le bit de poids fort.

² décalage de $n - k$ bits, ce qui se traduit par autant de zéro en entrée.

³ vidage du buffer ($n - k$ décalages) et récupération des bits de contrôles en sortie.