

Réseaux 2

La couche physique

Juliusz Chroboczek

14 septembre 2020

Rappel : 5 couches numérotées de 1 à 7 :

Application	(7)
Transport	(4)
Internet ou Réseau	(3)
Lien	(2)
Physique	(1)

Chaque couche :

- utilise le service fourni par la couche inférieure ;
- fournit un service à la couche supérieure.

Couche physique (lien) :

- locale au lien : elle transmet des données localement à un lien ;
- utilise les facilités fournies par la nature (électrons, photons, fonctions d'onde, vibrations sur une ficelle entre deux pots de yaourt, etc.) ;
- fournit un service à la couche lien :
 - transmission de **symboles** ;
 - **localement au lien** ;
 - de manière **non-fiable**

La ligne série



La ligne peut être dans deux états :

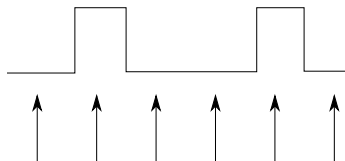
- l'état *mark*, par exemple +24 V ;
- l'état *space*, par exemple -24 V.

La **couche physique** (1) produit une suite de **symboles** *mark* et *space*.

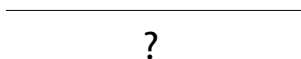
C'est la **couche lien** qui s'occupe de les interpréter comme une suite de bits.

Synchronisation

Pour pouvoir décoder la suite de symboles, il faut que le récepteur sache quand échantillonner le signal :

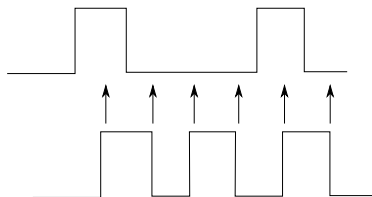


Synchronisation difficile ou impossible lorsque le signal a peu de transitions :



Synchronisation : horloge explicite

Solution la plus simple : mettre une **horloge explicite** :



Quand on n'a rien à dire, il suffit de désactiver l'horloge.

Une ligne série avec horloge explicite produit une suite ininterrompue de symboles. Comment interpréter cette suite de symboles est **le problème de la couche lien**.

Synchronisation : code Manchester

Solution : s'assurer qu'il y a suffisamment de transitions (« self-synchronising code »).

Par exemple, le code Manchester utilise les deux symboles :

- mark-space ;
- space-mark.

Évite le besoin d'une deuxième ligne, mais :

- réduit le débit (à bande-passante égale) ;
- un peu plus compliqué à implémenter.

Synchronisation : communication asynchrone

Une **ligne série asynchrone** transmet les symboles par groupes de 8 :



- lorsque la ligne est libre, elle est dans l'état **mark** ;
- pour émettre un groupe, on émet :
 - un symbole **space** (le « start bit ») ;
 - 8 symboles codant les données ;
 - au moins un symbole **mark** (le « stop bit »).

La transition entre le « stop bit » et le « start bit » garantit qu'il y a au moins une transition tous les 10 symboles.

Comment interpréter ce flot de groupes de bits est **le problème de la couche lien**.

Synchronisation : communication synchrone

Une **ligne série synchrone** transmet un flot ininterrompu de symboles.

- il faut émettre quelque chose même lorsque la ligne est oisive ;
- il faut insérer suffisamment de transitions.

Le récepteur devra donc ignorer le motif oisif et supprimer les symboles insérés pour la synchronisation. **C'est le problème de la couche lien.**

Plus de deux symboles

Dans les exemples précédents, le canal permettait de transmettre deux types de symboles (mark et space). Si le canal est propre, on peut envoyer trois niveaux ou plus.

Comment interpréter ces symboles **est le problème de la couche lien**. (Par exemple, elle peut coder 3 bits dans deux symboles ternaires.)

Digression : détection et correction d'erreurs

En TD, nous étudierons :

- la **détection d'erreurs**
par exemple : envoyer chaque symbole deux fois ;
- la **correction d'erreurs**
par exemple : envoyer chaque symbole trois fois.

La **détection d'erreurs** est nécessaire
(pas acceptable de délivrer des données erronées) ;
elle est réalisée par les **couches lien et transport**.

La **correction d'erreurs** est optionnelle
(les couches basses ne sont pas fiables)
elle est parfois réalisée à la **couche physique**.

Conclusion

La **couche physique** permet de transmettre une suite de symboles. Cette suite de symboles n'est pas adaptée aux besoins des couches supérieures :

- c'est un flot de symboles individuels ou petits groupes, on veut des unités plus grandes ;
- il peut y avoir des contraintes arbitraires (symboles insérés, motif oisif) ;
- il peut y avoir plus de deux symboles ;
- le flot peut contenir des erreurs.

Adapter ce flot de symboles aux besoins de la couche 3 est **un des rôles de la couche lien**.

Modulation

Un lien radio transmet **la dérivée** du signal électrique.

Il faut donc coder le signal de façon à ce que la dérivée reste dans des bornes raisonnables (et le décoder au récepteur).

C'est le rôle de la **modulation** et **démodulation**.

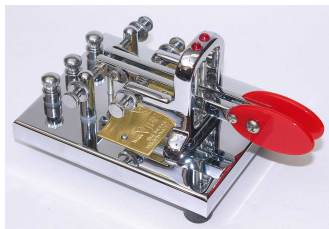
Onde continue

On choisit une fréquence f . Deux symboles :

- space : pas de signal : 0 ;
- mark : $\cos(ft)$.

Il faut prendre soin de ne pas introduire de discontinuités aux frontières entre les symboles. On parle d'**onde continue** (*continuous wave, CW*).

C'est la technique de modulation utilisée pour les transmissions en code morse.



Modulation d'amplitude

CW est un cas particulier de la modulation d'amplitude.

n symboles :

$$s_0 = 0 \cos(ft)$$

$$s_1 = a_1 \cos(ft)$$

$$s_2 = a_2 \cos(ft)$$

$$s_{n-1} = a_{n-1} \cos(ft)$$

Pour démoduler, on remarque que

$$\int a \cos(ft) \times \cos(ft) dt \sim a$$

$$\int a \cos(ft) \times \cos(f't) dt \approx 0$$

Il suffit donc de multiplier par un oscillateur réglé à la bonne fréquence et intégrer.

Modulation de phase

En modulation de phase, c'est la phase qui varie :

$$s_0 = a \cos(ft + 0)$$

$$s_1 = a \cos(ft + \phi_1)$$

$$s_2 = a \cos(ft + \phi_2)$$

$$s_{n-1} = a \cos(ft + \phi_{n-1})$$

Modulation de quadrature

La modulation de quadrature combine la modulation d'amplitude avec la modulation de phase :

$$s_{ij} = a_j \cos(ft + \phi_j).$$

De façon équivalente, c'est la superposition de deux modulations d'amplitude décalées de $\pi/2$ (« en quadrature ») :

$$s_{ij} = b_j \cos(ft) + c_j \sin(ft).$$

Pour démoduler, il suffit de remarquer que :

$$\int (b \cos(ft) + c \sin(ft)) \times \cos(ft) dt \sim b$$
$$\int (b \cos(ft) + c \sin(ft)) \times \sin(ft) dt \sim c$$

Passage aux complexes

Tout devient plus facile si on considère notre onde comme la partie réelle d'une fonction complexe :

$$\begin{aligned} a \cos(ft + \phi) &= \text{R}(ae^{ift+\phi}) \\ &= \text{R}((ae^{i\phi})e^{ift}) \\ &= \text{R}((b + ic)e^{ift}) \\ &= b \cos(ft) + c \cos(ft) \end{aligned}$$

On note généralement les symboles comme des **nombre complexes** de la forme :

$$ae^{i\phi} = b + ic$$

Comme quoi, l'analyse complexe, ça sert à quelque chose.

FDM

La modulation de quadrature est susceptible aux interférences :

$$\int (b \cos(ft) + c \sin(ft) + d \cos(f't)) \times \cos(ft) dt \sim d$$
$$(d \gg a, b, f' \approx f)$$

FDM :

- on divise la bande de fréquences en deux sous-bandes ;
- on transmet un symbole dans chaque sous-bande.

En cas d'interférence, on ne perd qu'un symbole.

OFDM

OFDM :

- on divise la bande de fréquences en n sous-bandes (par exemple $n = 56$);
- on transmet un symbole (lentement) dans chaque sous-bande.

Pour l'implémenter, il faut faire une transformée de fourier en temps réel. C'est de la science-fiction.

OFDM transmet un vecteur de 56 symboles simultanément, dont certains sont corrompus par des interférences. Idée : combiner OFDM avec de la correction d'erreurs.

Cette technique est utilisée par le WiFi (depuis 802.11g) ainsi que par la 4G. La science-fiction, c'est maintenant.

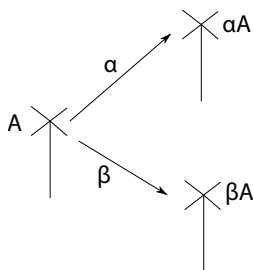
SIMO

Une antenne émet un symbole A .

Le récepteur reçoit $\alpha A + n$,

($\alpha = ae^{i\phi}$), où :

- $a < 1$ est l'atténuation ;
- ϕ est le délai ;
- n est le bruit.



Avec deux antennes, le récepteur reçoit

$$(\alpha A + n, \beta A + m)$$

Si α et β sont connus, il calcule

$$\alpha^{-1}(\alpha A + n) + \beta^{-1}(\beta A + m) = \alpha^{-1}n + \beta^{-1}m$$

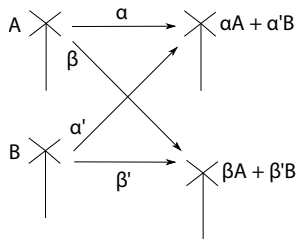
Les signaux s'ajoutent, pas les bruits.

MIMO

Avec deux antennes à l'émetteur, on peut émettre deux signaux indépendants. L'émetteur émet (A, B) ; le récepteur reçoit

$$U = \alpha A + \alpha' B$$

$$V = \beta A + \beta' B$$



Pour récupérer le signal d'origine (A, B) , il suffit d'inverser la matrice :

$$\begin{matrix} \alpha & \alpha' \\ \beta & \beta' \end{matrix}$$

Cette technique permet de **doubler le débit**. Elle est utilisée en 4G et en WiFi (depuis 802.11n). (Je vous disais bien que les complexes, ça sert à quelque chose.)