M points dans le plan

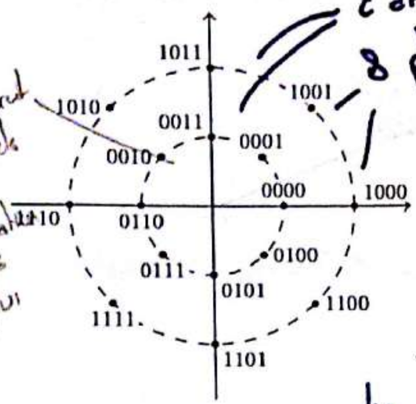
La modulation combinée phase/amplitude permet de moduler **conjointement** deux paramètres de la porteuse.

pas toujours vrai, mais en général

- Le couple amplitude/phase prend M valeurs, et reste constant pendant la période T de transmission d'un symbole.

8 amplitudes
8 phases

un bruit d'amplitude plus faible causera une perturbation plus importante sur la petite amplitude plutôt que la plus grande



$M = 16$
4 symboles binaires
1er bit pour les amplitudes
les 3 autres pour la phase

Figure : Exemple de constellation d'une modulation ϕ/A.

Notes

nb. de symboles binaires : $\log_2 M$

On voit l'utilisation du code de Gray pour diminuer la proba. d'erreur

Zone de décision : Voronoi

autre zone

Pour 8 points

L'erreur n'est donc pas équivalente pour tous les symboles, c'est ça qui fait que l'on ne va généralement pas utiliser cette technique de modulation

une zone de décision

Démodulateur sous-optimal, que l'on utilise généralement = pratique

Démodulateur optimal = théorique

La modulation en quadrature est la modulation conjointe en **amplitude** de deux porteuses qui sont en **quadrature**.

- $s(t) = I(t) \cdot \cos(\omega_0 t) - Q(t) \cdot \sin(\omega_0 t)$
- Elle est équivalente à une modulation conjointe phase/amplitude.
- $I = A\cos\phi$, $Q = A\sin\phi$.
- I peut prendre M_I valeurs, Q prend M_Q valeurs, la valence de la modulation est $M = M_I M_Q$.

Notes

$s(t) = A_k \cos(\omega_0 t + \phi_k)$ sur $\boxed{\underbrace{[kT, kT+T]}}$ = instant auquel on envoie le k^e symbole.

$= A_k \mathcal{R}(e^{j\omega_0 t} e^{j\phi_k})$

$= \mathcal{R}(A_k e^{j\phi_k} e^{j\omega_0 t})$

$= A_k [\cos\phi_k \cos\omega_0 t - \sin\phi_k \sin\omega_0 t]$

$= \mathcal{R}[(I_k + jQ_k) e^{j\omega_0 t}]$

$I_k = A_k \cos\phi_k$

$Q_k = A_k \sin\phi_k$

$= A_k \cos\phi_k \cos\omega_0 t - A_k \sin\phi_k \sin\omega_0 t$

$= I_k \cos\omega_0 t - Q_k \sin\omega_0 t$

$s(t) = A(t)\cos(\omega_0 t + \phi(t))$

$s(t) = I(t)\cos\omega_0 t - Q(t)\sin\omega_0 t$

(A, ϕ) : coordonnées polaires du point

(I, Q) —— cartésiennes —

Constellation QAM

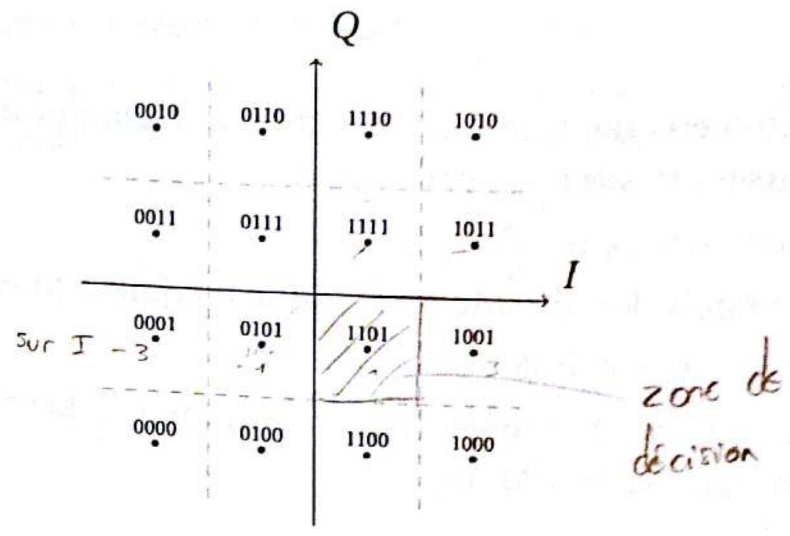


Figure : Constellation de la QAM 16

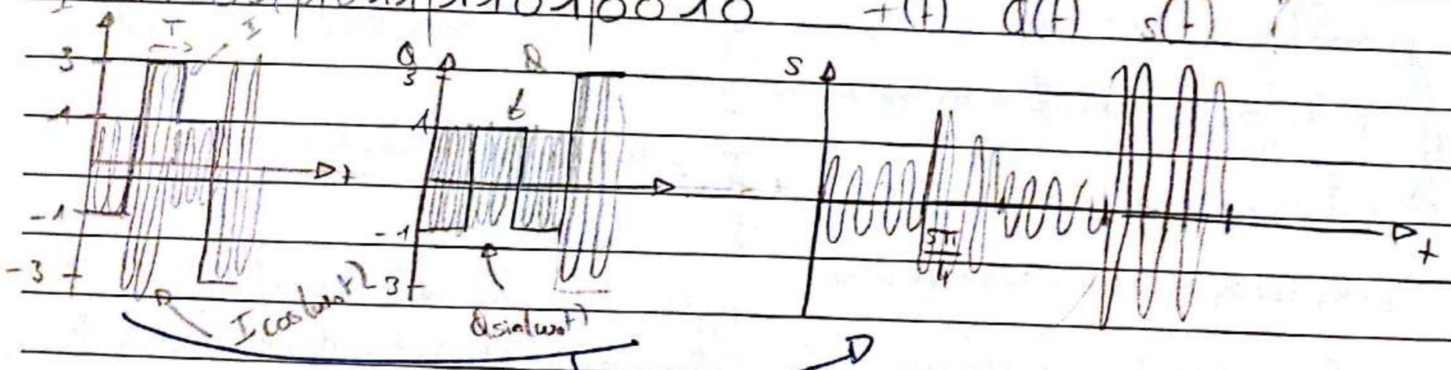
Amplitude : distance au centre

Phase : angle

Notes

QAM 16 : I(t) et Q(t) sont des signaux NRZ de valence 4

0101 | 1011 | 1101 | 0010 I(t) Q(t) s(t) ?



débit binaire ×2 de I et Q

Probabilité d'erreur

L'augmentation de la valence augmente P_e

- La sensibilité au bruit se caractèrise visuellement sur la constellation.
- Plus les points sont proches, plus elle est importante.
- Par exemple, à valence égale, la PSK est plus sensible que la QAM.

Car QAM ne transmet pas que sur la phase

Débit ≃ 2 × PSK ou ASK

Notes

D'un point de vue théorique, la théorie de l'information nous dit que

$$C \leq B \log_2\left(1 + \frac{P}{N}\right)$$

capacité du canal = débit maximal atteignable

B bande dispo sur le canal

P/N RSB

Canal AWGN → Additive White Gaussian Noise

$D = R \log_2 M$

Ex. : RSB de 20 dB

$\frac{P}{N} = 10^{\frac{20}{10}} = 100$

$RSB_{dB} = 10 \log_{10}(P/N)$

$\Rightarrow P/N = 10^{\frac{RSB_{dB}}{10}}$

Au mieux $R = \frac{1}{T} = B$

Donc $M \leq 1 + \frac{P}{N}$

$M \leq 100$