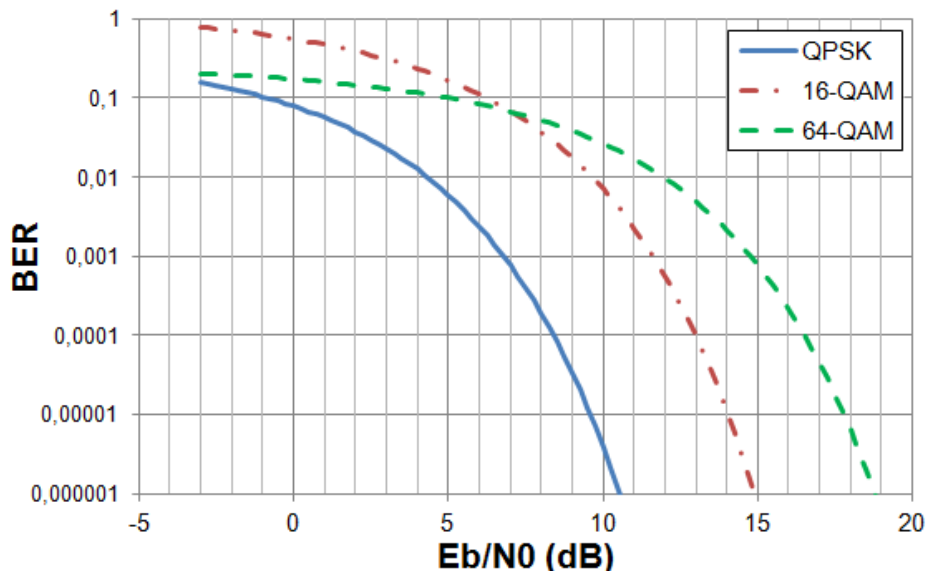


Tous documents autorisés / 35 min

Le barème sur 10 points est donné à titre indicatif.

Il sera tenu compte des justifications apportées à chaque réponse, ainsi que de la présentation.

On souhaite étudier les performances d'un nouveau protocole radio pour un réseau local de données. Un canal de 5 MHz de bande passante est utilisé pour la transmission. On suppose qu'il est AWGN et que la température ambiante est de l'ordre de 27°C. Une modulation adaptative est employée, c'est-à-dire que la modulation employée s'adapte en fonction des conditions de rapport signal à bruit mesuré par le récepteur, de sorte à maintenir un taux d'erreur binaire inférieur à 0.1 %. Trois modulations peuvent être employées : QPSK, 16-QAM ou 64-QAM. Ci-dessous, les relations entre le taux d'erreur binaire et les conditions de rapport signal à bruit sont tracées pour les quatre types de modulation.



1. Quelle est la modulation la plus robuste au bruit ? La moins robuste au bruit ? (1 pt)

La plus robuste est la QPSK, la moins robuste la 64-QAM (BER de 0.001 pour une valeur de Eb/N0 la plus importante).

2. Calculez le débit de symboles maximum transmissibles sur le canal de transmission ? En déduire les débits binaires maximums pour les trois types de modulation. (3 pts)

$$\text{Critère de Nyquist : } \dot{M}_{\max} = 2B = 10 \text{ MBds}$$

$$\text{QPSK : } D = 2 \text{ bits/symbole} \rightarrow \dot{D}_{\max} = D \dot{M}_{\max} = 20 \text{ Mbits/s}$$

$$\text{16-QAM : } D = 4 \text{ bits/symbole} \rightarrow \dot{D}_{\max} = D \dot{M}_{\max} = 40 \text{ Mbits/s}$$

$$\text{64-QAM : } D = 6 \text{ bits/symbole} \rightarrow \dot{D}_{\max} = D \dot{M}_{\max} = 60 \text{ Mbits/s}$$

3. Quel est l'intérêt d'avoir une modulation adaptative ? (1 pt)

Le système choisit, en temps réel, le meilleur compromis entre robustesse au bruit et débit binaire en fonction des conditions de bruit.

4. Le récepteur mesure un rapport signal à bruit SNR égal à 21 dB. Quelle est la modulation utilisée dans ces conditions de réception ? (2 pts)

La modulation s'adapte selon le rapport signal à bruit mesurée. La règle choisie est que la modulation sélectionnée est celle qui fournit le meilleur débit binaire tout en garantissant un BER < 0.1 %.

Pour un SNR de 20 dB, on peut calculer les rapports Eb/N0 pour les trois modulations possibles et en déduire les BER associés :

$$\frac{E_b}{N_o} (dB) = 10 \times \log\left(\frac{S}{N}\right) + 10 \times \log\left(\frac{B}{F_b}\right)$$

	<i>QPSK</i>	<i>16-QAM</i>	<i>64-QAM</i>
<i>Débit binaire (Mbits/s)</i>	20	40	60
<i>Eb/N0 (dB)</i>	15	12	10
<i>BER</i>	$\ll 10^{-6}$	$0.5 \cdot 10^{-4}$	0.02

Seules les modulations QPSK et 16-QAM respectent la contrainte BER < 0.1 %, donc le système devrait choisir la modulation 16-QAM.

5. Que se passe t-il si le rapport signal à bruit SNR perd 1 dB ? (1 pt)

	<i>QPSK</i>	<i>16-QAM</i>	<i>64-QAM</i>
<i>Débit binaire (Mbits/s)</i>	20	40	60
<i>Eb/N0 (dB)</i>	14	11	9
<i>BER</i>	$\ll 10^{-6}$	0.002	0.04

Seule la modulations QPSK respecte la contrainte BER < 0.1 %, donc le système devrait basculer sur la modulation QPSK.

6. Quel devrait être la valeur du rapport signal à bruit minimal pour assurer une transmission avec le débit binaire maximal ? (2 pts)

Le débit binaire maximal est atteint avec la modulation 64-QAM. Le BER est < 0.1 % pour un rapport Eb/N0 > 15 dB. Le SNR doit donc être supérieur à 26 dB.