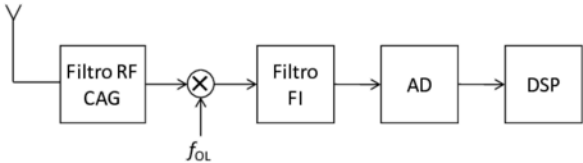


Problema 1

Una estació base basada en Software Radio facilita les comunicacions per diferents estàndards mitjançant la configuració del software. Per poder transmetre i rebre diferents formes d'ona a diferents freqüències, la part analògica i els convertors han de facilitar la transmissió i recepció de diferents bandes i amplades de banda. S'assumeix un receptor segons el model de la figura que ha de ser capaç de rebre senyals de LTE (atenent les diferents amplades de banda). Cal tenir en compte que tots els canals de LTE que es rebin tindran la mateixa amplada de banda i separació entre canals. S'analitzen les prestacions necessàries pel convertor AD per poder desmodular múltiples canals de LTE.



FFT	128	256	512	1024	1536	2048
Bw o separació entre canals	1,4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Num. subportadoras	72	180	300	600	900	1200

Recordeu que la separació entre subportadores és de 15 kHz.

La banda de transmissió de LTE està situada entre els 2,0 i 3,0 GHz. El filtre de FI es troba a 75 MHz, té una banda de pas de 18 MHz i les seves bandes de transició són de 2 MHz.

La sensibilitat del receptor és de -103 dBm. Segons les especificacions de LTE, el nivell del senyal desitjat pot estar tan sols 3 dB per damunt de la sensibilitat del receptor. Els canals adjacents poden tenir una potència fins a 80 dB per damunt del senyal desitjat. S'especifica una qualitat mínima de 12 dBs.

El convertor AD és un tipus FLASH i amb una freqüència de mostreig màxima de 125 MHz.

Vin = ±5V, Zin=1kΩ

- 1.- Quina és l'amplada de banda mínima necessària pel convertor?
- 2.- Quina freqüència de mostreig triem? Quin és el mínim nombre de bits necessaris per garantir la qualitat exigida?
- 3.- Assumint 15 bits, quina es la mínima freqüència de mostreig que permeti recuperar els senyals correctament?
- 4.- Quin és el SFDR_i de l'AD segons l'apartat 3)?
- 5.- Quin es el màxim valor del jitter d'apertura per tal que la SNR_{total} sigui igual o millor que la qualitat exigida? La SNR total s'obté com $SNR_{total} = (1/SNR_A + 1/SNR_B + \dots + 1/SNR_M)^{-1}$ on les SNR_i indiquen les diferents fonts de degradació del senyal. Cal assumir n = 15 bits i f_s = 42,5 MHz.

SOLUCIÓ

1) La freqüència màxima de la banda centrada en 75 MHz es $75 + 18/2 \text{ MHz} = 84 \text{ MHz}$.
Llavors $B_w, AD = 84 \text{ MHz}$

2) AD Flash amb $f_{s,\max} = 125 \text{ MHz}$

$$f_i = 75 - B_{w, \text{LTE}, \max} - bt/2 = 65 \text{ MHz}$$

$$f_h = 75 + B_{w, \text{LTE}, \max} + bt/2 = 85 \text{ MHz}$$

On bt és la banda de transició, $bt=2 \text{ MHz}$.

$$f_{s,\max} < 2 \cdot f_h \Rightarrow \text{Submostreig:}$$

$$2f_h/K \leq f_s \leq 2f_i/(K-1)$$

$$2 \leq K \leq f_h/(f_h - f_i) = 4,25$$

K	$f_{s,\min}$	$f_{s,\max}$
2	85 MHz	130 MHz
3	56,67 MHz	65 MHz
4	42,5 MHz	43,3 MHz

$$f_s = 125 \text{ MHz}$$

$$\text{SNRQ} = 6.02n + 1.76 \text{ dBs} + 10 \log U + 10 \log P_x/P_{AD,\max} \geq 12 \text{ dBs}$$

$$\text{Relació de sobremostreig } U1(\text{canal } 20\text{MHz}) = f_s/(2 \cdot f_B) = 125 \text{ MHz}/(2 \cdot 18 \text{ MHz}) = 3,42$$

$$\text{Relació de sobremostreig } U2(\text{Canal } 1,4\text{MHz}) = f_s/(2 \cdot f_B) = 125 \text{ MHz}/(2 \cdot 1,4 \text{ MHz}) = 44,64$$

On b canal 20MHz, $b=18\text{MHz}$

On b canal 1,4 MHz, $b=72\text{portadores} \cdot 15\text{kHz}=1,08\text{MHz}$

Potències rebudes pitjor cas:

$$\text{La potència del senyal útil } P_x = -100 \text{ dBm} = 10^{-13} \text{ W}$$

La potència de cada un dels bloquejadors

$$P_B = -100\text{dBm} + 80 \text{ dB} = -20 \text{ dBm} = 10^{-5} \text{ W} = P_x \cdot 10^8$$

$$\text{Nombre de canals } N1(\text{canal } 20\text{MHz}) = (18 \text{ MHz} + 2\text{MHz})/18\text{MHz} = 1.1$$

$$\text{Nombre de canals } N2(\text{canal } 1,4\text{MHz}) = 20\text{MHz} / 1,4\text{MHz} = 14,28$$

Per canal 20MHz: $N=1$

$$\text{SNRQ} = 6.02n + 1.76 \text{ dBs} + 10 \log 3,42 + 10 \log P_x/(P_x + (N-1) \cdot P_x \cdot 10^8) \geq 12 \text{ dBs}$$

El terme del marge dinàmic, amb $N=1$, desapareix.

$$n \geq 0,81 \rightarrow n=1 \text{ bit}$$

Per canal 1,4MHz: N=4

$$B_w = f_b = 72 \cdot 15 \text{ kHz} = 1,08 \text{ MHz}$$

$$U = 125 \text{ MHz} / 2 / 1,08 \text{ MHz}$$

$$\text{SNRQ} = 6,02n + 1,76 \text{ dBs} + 10 \log U + 10 \log P_x / (P_x + (N-1) \cdot P_x \cdot 10^8) \geq 12 \text{ dBs}$$

$$\text{SNRQ} = 6,02n + 1,76 \text{ dBs} + 10 \log 57,97 + 10 \log P_x / (P_x + 13 \cdot P_x \cdot 10^8) \geq 12 \text{ dBs}$$

$$\text{SNRQ} = 6,02n + 1,76 \text{ dBs} + 16,49 - 91,13 \text{ dBs} \geq 12 \text{ dBs}$$

$$n \geq 13,91 \rightarrow n = 14 \text{ bits}$$

3) Donat $n = 15$ bits

Busquem U

$$10 \log U \geq 12 \text{ dBs} - 1,76 \text{ dB} - 6,02 \text{ dB} \cdot n - 10 \log P_x / (P_x + 13 \cdot P_x \cdot 10^8) = 11,07$$

$$U \geq 10^{1,107}$$

$$f_s \geq 2 \cdot U \cdot f_b = 2 \cdot 10^{1,107} \cdot 1,08 \text{ MHz} = 27,63 \text{ MHz}$$

$f_s = 27,63 \text{ MHz}$ viola el teorema de Nyquist!

Tornem a les taules de submostreig i agafem la més baixa possible, $f_s = 42,5 \text{ MHz}$, per damunt de $27,63 \text{ MHz}$ que no compleix amb Nyquist.

4) Donat: $n = 15$ bits

$f_s = 42,5 \text{ MHz}$ (resultat de l'apartat 3)

$$SFDR_i = 10 \log \frac{P_{AD,max}}{P_{QF}} \text{ [dBFS]}$$

$$P_{AD,max} = 0,0125 \text{ W}$$

$$P_{QF} = \frac{\Delta^2}{12} \cdot \frac{f_b}{f_s/2} \cdot \frac{1}{Z_{AD,in}}$$

$$\Delta = V_{FS}/2^n = 0,305 \cdot 10^{-3}$$

$$U = f_s / (2 \cdot f_b) = 42,5 \text{ MHz} / (2 \cdot 1,08 \text{ MHz}) = 15,17$$

$$P_{QF} = 0,393 \cdot 10^{-12} \text{ W}$$

$$SFDR_i = 105,01 \text{ dBFS}$$

5) Dado: $n = 15$, $f_s = 42,5 \text{ MHz}$

Sabem que $f_{\max} = 75 \text{ MHz} + B_{W,max,LTE}/2 \text{ MHz} = 75 \text{ MHz} + 19 \text{ MHz}/2 = 83 \text{ MHz}$

Calculem:

$$U = 42,5 \text{ MHz} / 2 / 1,08 \text{ MHz} = 19,67$$

$$\text{SNR}_{\text{QF}}(\text{dB}) = 1.76\text{dB} + 6.02 \cdot 15 + 10 \cdot \log(19,67) - 91,13\text{dB} = 13,86 \text{ dB}$$

$$\text{SNR}_{\text{QF}}(\text{linear}) = 24,37 \text{ (13,86 dB)}$$

$$\text{SNR}_{\text{total}}(\text{dB}) = (1/\text{SNR}_{\text{QF}} + 1/\text{SNR}_{\text{ja}})^{-1} \geq 15,84 \text{ (12 dB)}$$

...

$$1/\text{SNR}_{\text{ja}} \leq 1/\text{SNR}_{\text{total}} - 1/\text{SNR}_{\text{QF}} = 1/15,84 - 1/24,37 = 0.104$$

$$\text{SNR}_{\text{ja}} \geq 9,6$$

$$\text{SNR}_{\text{ja}}(\text{dB}) \geq 9,12 \text{ dB}$$

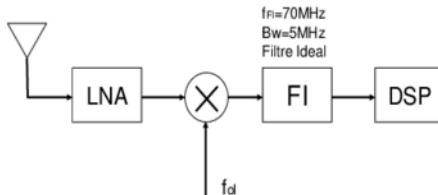
$$20 \log \frac{1}{2\pi f_{\text{max}} t_a} \geq 9,12 \text{ dB}$$

$$\frac{1}{2\pi f_{\text{max}} t_a} \geq 2,857$$

$$t_a \leq 1310,4 \text{ ps}$$

Problema 2

Es planteja la utilització d'un sistema de comunicacions sense fils per donar cobertura en una àrea dins d'una ciutat i analitzar l'impacte que els problemes de cobertura puguin tenir sobre les característiques del convertidor AD i subsistemes associats. Els paràmetres bàsics d'aquest sistema són una banda de recepció entre 1800 i 1845 MHz, una amplada de banda de cada canal de 200 kHz, una separació entre canals de 250 kHz, una potència transmesa de 30 dBm i una S/N en recepció de 9 dBs. El receptor de l'usuari s'enganxa en cada moment a una estació base (BS) que presenta millors nivells de potència de senyal. L'esquema del receptor és el que podem veure a la figura on el LNA presenta un guany fix de 6 dB. Amb aquest guany el A/D només se satura quan el terminal està molt a prop de l'estació base (BS).



1. Si es tria una freqüència de mostreig de 80 MHz, quin es el nombre de bits mínim necessari per al convertidor AD per un usuari col·locat a la màxima distància de la BS? Cal considerar una àrea de cobertura mínima de 300 metres.
2. Si considerem un convertidor A/D de 10 bits, quina és la mínima distància de la BS a la que es pot ubicar un usuari? Cal considerar en aquest cas que el terminal de l'usuari està rebent tots els canals amb igual potència.
3. Si considerem un convertidor A/D de 10 bits, quina és la màxima distància de la BS a la que es pot ubicar un usuari?
4. Una opció que es planteja per tal de millorar aquesta cobertura i arribar a un mínim de 3000 metres és augmentar la freqüència de mostreig. Determinar quina seria la mínima freqüència de mostreig que permet aconseguir-ho si realment aquesta és una opció vàlida. (Resultat amb una precisió del 0,1%).
5. Si ara s'afegeix un CAG amb un guany variable entre 0 i 20 dB, quina es la nova freqüència de mostreig mínima mantenint la cobertura fins als 3000 metres? El nombre de bits de l'A/D és el resultat de la pregunta 1.

Dades:

$$PR = PT \cdot GT \cdot GR \left(\frac{c}{4\pi fR} \right)^2$$

Guany antena transmissora i receptora: 0 dB
Marge de tensions d'entrada al convertidor A/D: $\pm 5V$
Impedància entrada A/D: 1000 Ω

- 1) Si es tria una freqüència de mostreig de 80 MHz, quin és el nombre de bits mínim necessari pel convertidor AD per un usuari col·locat a la màxima distància de la BS? Cal considerar una àrea de cobertura mínima de 300 metres.

$$S/N = 6.02n + 1.76dB + 10 \log U + 10 \log \left(\frac{P_x}{P_{AD, \max}} \right) \geq 9dB$$

$$10 \log U = 10 \log \frac{f_s / 2}{f_b} = 10 \log \left(\frac{80MHz / 2}{200kHz} \right) = 23dB$$

Cas pitjor pel nombre de bits mínim :

Una senyal d'entrada al AD ubicada a la màxima distància de la BS

Es pot comprovar que els N canals no saturen el marge dinàmic del AD

A més, com no hi ha CAG, el nombre de canals és irrelevant pel terme del marge dinàmic.

$$P_T = 30dBm(1W)$$

$$G_T = G_R = 0dB(1)$$

$$P_{r, \min} = P_T \cdot G_T \cdot G_R \cdot \left(\frac{c}{4\pi f R_{\max}} \right)^2 = 1.862 \cdot 10^{-9} W$$

$$10 \log \left(\frac{P_x}{P_{AD, \max}} \right) = 10 \log \left(\frac{P_{r, \min} \cdot G_{RF}}{P_{AD, \max}} \right) = 10 \log \left(\frac{1.862 \cdot 10^{-9} W \cdot 4}{12.5 \cdot 10^{-3}} \right) = -62.25dB$$

$$n \geq (9 - 1.76 - 23 + 62.24) / 6.02 = 7.72bits$$

$$n = 8bits$$

- 2) Si considerem un convertidor AD de 10 bits, quina és la mínima distància de la BS a la que es pot ubicar un usuari? Cal considerar que el terminal de l'usuari està rebent tots els canals.

Una restricció important ve donada per la saturació del marge dinàmic del convertidor.

G_L = Guany del Canal (atenuació en el fons)

N (Nombre de canals) = 20

$$P_{r, AD, \max} = 20 \cdot P_T \cdot G_L \cdot G_{RF} \leq 12.5mW$$

$$G_L \max = 1.56 \cdot 10^{-4}$$

$$R_{\min} = \left(\frac{P_T \cdot G_T \cdot G_R}{P_R} \right)^{1/2} \frac{c}{4\pi f} = \left(\frac{G_T \cdot G_R}{G_L} \right)^{1/2} \frac{c}{4\pi f} = 1.04 metres$$

5) Si fem un conversor AD de 10 bits, quina és la màxima distància de la BS a la que es pot ubicar un usuari?

$$S/N = 6.02n + 1.76dB + 10\log U + 10\log\left(\frac{P_x}{P_{AD,max}}\right) \geq 9dB$$

$$10\log U = 10\log \frac{f_s/2}{f_b} = 10\log \frac{80MHz/2}{200kHz} = 23dB$$

P_{AD} cas pitjor = 1 canal amb $P_{r,min}$ i la resta que no arriben a saturar l'AD

$$10\log\left(\frac{P_x}{P_{AD,max}}\right) \geq 9 - 1.76 - 23 - 6.02 \cdot 10bits = -75.96dB$$

$$10\log\left(\frac{P_{r,min} \cdot G_{RF}}{P_{AD,max}}\right) = 10\log\left(\frac{P_T \cdot G_L \cdot G_{RF}}{12.5 \cdot 10^{-3}}\right) \geq -75.96dB$$

$$G_{L,max} = -101dB = 7.85 \cdot 10^{-11}$$

$$R_{max} = \left(\frac{P_T \cdot G_T \cdot G_R}{P_R}\right)^{1/2} \cdot \frac{c}{4\pi f} = \left(\frac{G_T \cdot G_R}{G_L}\right)^{1/2} \cdot \frac{c}{4\pi f} = 1461metres$$

- 4) Una opció que es planteja per tal de millorar aquesta cobertura i arribar a un mínim de 3000 metres és augmentar la freqüència de mostreig. Determinar quina seria la mínima freqüència de mostreig que permet aconseguir-ho si realment aquesta és una opció vàlida. (Resultat amb una precisió de l'1%)

$$S/N = 6.02n + 1.76dB + 10\log U + 10\log\left(\frac{P_x}{P_{AD,max}}\right) \geq 9dB$$

$$G_L = \frac{P_R}{P_T} = G_T \cdot G_R \cdot \left(\frac{c}{4\pi fR}\right)^2 = 1.86 \cdot 10^{-11}$$

$$10\log\left(\frac{P_x}{P_{AD,max}}\right) = 10\log\left(\frac{P_T \cdot G_L \cdot G_{RF}}{12.5 \cdot 10^{-3}}\right) = -82.25dB$$

$$10\log U \geq 9dB - 1.76dB - 6.02 \cdot 10bits + 82.25dB = 29.29dB$$

$$10\log U = 10\log \frac{f_s/2}{f_b} = 29.29dB \Rightarrow f_s \geq 339.9MHz$$

- 5) Si ara s'afegeix un CAG amb un guany variable entre 0 i 20 dB, quina es la nova freqüència de mostreig mínima mantenint la cobertura fins els 3000 metres?

$$S/N = 6.02n + 1.76dB + 10 \log U + 10 \log \left(\frac{P_x}{P_{AD,max}} \right) \geq 9dB$$

$$G_L = \frac{P_R}{P_T} = G_T \cdot G_R \cdot \left(\frac{c}{4\pi f R} \right)^2 = 1.86 \cdot 10^{-11}$$

$$10 \log \left(\frac{P_x}{P_{AD,max}} \right) = 10 \log \left(\frac{P_T \cdot G_L \cdot G_{RF} \cdot G_{CAG}}{12.5 \cdot 10^{-3}} \right) = -62,25dB$$

$$10 \log U \geq 9dB - 1.76dB - 6.02 \cdot 8bits + 62,25dB = 21,33dB$$

$$10 \log U = 10 \log \frac{fs/2}{fb} = 21,33dB \Rightarrow fs \geq 54,37MHz$$

Hem de triar k=3 (mostreig pas banda)

Parametres	Resultats	K	fmostreig min	fmostreig max
fl	6,75E+07	2	72500000,0	135000000,0
fh	7,25E+07	3	48333333,3	67500000,0
fmostreig		4	36250000,0	45000000,0
fh-fl	5,00E+06	5	29000000,0	33750000,0
Kmax	14,5	6	24166666,7	27000000,0
fmostreigNiquist	1,00E+07	7	20714285,7	22500000,0
		8	18125000,0	19285714,3
		9	16111111,1	16875000,0
		10	14500000,0	15000000,0
		11	13181818,2	13500000,0
		12	12083333,3	12272727,3
		13	11153846,2	11250000,0
		14	10357142,9	10384615,4

Segons Nyquist f_{min}=10MHz

Resposta correcta f_s = 54,33 MHz per K=3

