

Laborationsrapport i TSKS10 *Signaler, Information och Kommunikation*

Elliot Norlander
ellno907 (använd kanal), 010925-7733
Jacob Sjölin
jacsj573, 010922-0277

2024-05-24

1 Inledning

Denna laboration gick ut på att kommunicera två ljudsignaler över ett bestämt frekvensband med hjälp av I/Q-modulering. En sändare och en mottagare skulle konstrueras. Sändarens uppgift var att generera den signal som skulle kommuniceras. Mottagarens uppgift var att identifiera och korrigera för fördröjning och amplitudskalning.

2 Metod

2.1 Sändare

Sändarens uppgift är att skapa den signal som ska kommuniceras. Signalerna $x_I(t)$ och $x_Q(t)$ skapas genom uppsampling. För att skapa signalen $x(t)$ I/Q-moduleras $x_I(t)$ och $x_Q(t)$. En känd pulsform slås sedan samman med $x(t)$ så mottagaren kan identifiera fördröjning och amplitudskalning.

2.1.1 Uppsampling

Det givna frekvensbandet för kanalen är $f_1 = 100$ kHz och $f_2 = 120$ kHz. Signalerna $x_I(t)$ och $x_Q(t)$ har ursprungligen samplingsfrekvens 20 kHz. För att anpassa $x_I(t)$ och $x_Q(t)$ till det givna frekvensbandet utförs en uppsampling till 400 kHz. Detta utförs genom att använda en uppsamlingsfaktor $M = 20$, där värdet på M fås från förhållandet mellan önskad sampelfrekvens och samplingsfrekvensen som erhållits från början.

2.1.2 Filtrering

Eftersom uppsamplingen sker genom nollinbakning behöver filtrering utföras för att åstadkomma interpolering hos signalen $x(t)$. Genom att använda ett FIR-filter med gradtal $N = 500$ skapas en fördröjning. Denna fördröjning är $\frac{N}{2} = 250$ sampel. För att kompensera för detta elimineras de första 250 sampel från varje signal. FIR-filtreringen skapade också en effektförlust. Denna kompenseras för genom att amplitudskala signalerna med uppsamlingsfaktorn $M = 20$.

2.1.3 I/Q-modulering

Signalen $x(t)$ skapas genom I/Q-modulering av $x_I(t)$ och $x_Q(t)$. $x(t)$ beskrivs enligt:

$$x(t) = x_I(t) \cos(2\pi f_c t) - x_Q(t) \sin(2\pi f_c t), \quad (1)$$

där $x_I(t)$ och $x_Q(t)$ är de ljudsignaler som ska kommuniceras, t är tiden i sekunder och $f_c = 110$ kHz är bärfrekvensen.

2.1.4 Pulsform

En pulsform införs så mottagaren kan identifiera fördröjning och amplitudskalning. Pulsformen, $p(t)$, är en sinusformad chirp-signal. $p(t)$ beskrivs enligt följande formel:

$$p(t) = \begin{cases} \cos(2\pi f_0(1 + \epsilon t)t), & 0 < t < 1, \\ 0, & \text{i övriga fall,} \end{cases} \quad (2)$$

$f_0 = 105$ kHz anger startfrekvensen och $f_0(1 + \epsilon t)$ = 115 kHz anger slutfrekvensen. ϵ bestäms enligt

$$\epsilon = \frac{1}{f_{up}}, \quad (3)$$

där f_{up} anger sampelfrekvensen efter uppsampling.

2.2 Mottagare

Mottagarens uppgift är att behandla insignalen $y(t)$.

$$y(t) = Ax(t - \tau) + b(t), \quad (4)$$

där τ anger fördröjningen erhållen från kanalen, A anger amplitudskalningen och $b(t)$ anger störningar från andra frekvensband. Mottagaren ska filtrera signalen, identifiera fördröjning och amplitudskalning och därefter kompensera för dem. Till sist ska mottagaren I/Q-demodulera och ned-sampla signalen för att tillhandahålla den ursprungliga signalen med sin ursprungliga sampelfrekvens.

2.2.1 Filtrering

I och med att störningar förekommer på signalen behöver detta hanteras. Störningarna $b(t)$ kan till största del elimineras med hjälp av FIR-filtrering. Därför filtreras signalen med ett FIR-filter med gränsfrekvenserna $f_1 = 100$ kHz och

$f_2 = 120$ kHz samt gradtal $N = 500$. Likt filtret i sändaren fördröjer filtret signalen med $\frac{N}{2} = 250$ sampel, vilket kompenseras för genom att ta bort de 250 första sampel från signalen.

2.2.2 Identifiering av fördröjning och amplitudskalning

När insignalen $y(t)$ tas emot från kanalen behöver mottagaren identifiera den fördröjning och amplitudskalning som orsakas i kanalen. Mottagaren behöver sedan kompensera för dessa. Korskorrelation används för att identifiera fördröjningen. Korskorrelationen mellan insignalen $y(t)$ och pulsformen $p(t)$ beskrivs av

$$r_{p,y}(\lambda) = A \int_{-\infty}^{\infty} p(t - \lambda)x(t - \tau) dt. \quad (5)$$

Genom att undersöka när beloppet $|r_{p,y}(\lambda)|$ maximeras kan fördröjningen identifieras. Detta sker då $\lambda = \tau$. Insättning av $\lambda = \tau$ ger integralen:

$$r_{p,y}(\tau) = A \int_0^1 p^2(t - \tau) dt. \quad (6)$$

För att identifiera amplitudskalningen används autokorrelation. Autokorrelationen beskrivs av

$$r_{p,p}(\lambda) = \int_{-\infty}^{\infty} p(t - \lambda) p(t) dt. \quad (7)$$

Amplitudskalningen A fås genom att dividera det största värdet av (5) med det största värdet av (7). Negativa värden på A hanteras genom att inverta A om den maximala negativa korrelationen är starkare än den positiva. Detta säkerställer att amplitudskalningen sker korrekt samtidigt som den speglar signalens riktning. För att kompensera för amplitudskalningen divideras $y(t)$ med A . Detta medför att eliminering av den konkatenerade pulsformen återstår innan $y(t)$ är återställd. Genom att utesluta den första sekunden av $y(t)$ tas denna bort.

2.2.3 I/Q-demodulering

Då mottagaren kompenserat för fördröjning och amplitudskalning genomförs I/Q-demodulering för att få tillbaka de ursprungliga signalerna. Detta görs genom användning av följande formler:

$$z_I(t) = \mathcal{H}_B^{\text{LP}} \{2y(t) \cos(2\pi f_c t)\}, \quad (8)$$

$$z_Q(t) = -\mathcal{H}_B^{\text{LP}} \{2y(t) \sin(2\pi f_c t)\}, \quad (9)$$

där $\mathcal{H}_B^{\text{LP}}$ är ett FIR-filter som har gradtal $N = 500$ och bandfrekvens $B = 20$ kHz.

2.2.4 Nedsampling

Avslutningsvis genomförs nedsampling på signalerna $z_I(t)$ och $z_Q(t)$ till den ursprungliga sampelfrekvensen, det vill säga 20 kHz, med hjälp av samplingsfaktorn $M = 20$.

3 Resultat

För att säkerställa att kommunikationen har gått rätt till kontrolleras SNR-värdet för $z_I(t)$ och $z_Q(t)$. Om SNR-värdet för de två signalerna överstiger 25 dB betyder det att signalerna $z_I(t)$ och $z_Q(t)$ är, i huvudsak, lika $x_I(t)$ och $x_Q(t)$. SNR-värdena beräknas enligt:

$$\text{SNR}_{z_I}(t) = 20 \log_{10} \frac{|x_I(t)|}{|z_I(t) - x_I(t)|}, \quad (10)$$

$$\text{SNR}_{z_Q}(t) = 20 \log_{10} \frac{|x_Q(t)|}{|z_Q(t) - x_Q(t)|}. \quad (11)$$

Resultatet från (10) och (11) visar att $\text{SNR}_{z_I}(t) = 44.9$ dB och $\text{SNR}_{z_Q}(t) = 31.1$ dB.

Efterfrågade parametrar presenteras enligt:

- Kanals fördröjning är $\tau = 22.5 \mu\text{s}$
- Kanals amplitudskalning är $A = 1.0$