

Laborationsrapport i TSKS10 *Signaler, Information och Kommunikation*

Anton Wegeström
antwe841, 000423-2351

2023-05-10

1 Inledning

Denna laboration gick ut på att, med hjälp av I/Q-modulering, kommunicera två audiosignaler över en kanal som tidsförskjuter och amplitudskalalar signalen. I/Q-modulering är en metod för att kommunicera två signaler över samma kanal samtidigt.

1.1 Mål

Målet med laborationen är att skapa en sändare och en mottagare i Matlab som kan sända respektive ta emot en signal. Denna signal ska bestå av två audiosignaler som har I/Q-modulerats. Sändaren och mottagaren ska kunna avgöra och kompensera för amplitudskalning och tidsförskjutning orsakad av kanalen så pass bra att insignalerna och utsignalerna är väsentligen lika. Detta anses vara uppfyllt då signal-brus-förhållandena (SNR) mellan insignalerna och deras respektive utsignaler är minst 25 dB.

2 Metod

Uppgiftens lösning är uppdelad i två delar: sändaren och mottagaren.

2.1 Sändaren

Sändaren har som uppgift att modifiera insignalerna så att de kan sändas över kanalen, kombinera insignalerna till en gemensam utsignal och ge mottagaren förutsättningar för att avgöra kanalens egenskaper.

2.1.1 Uppsampling

För att kunna kommunicera över kanalen måste signalen som skickas ha sampelfrekvensen $f_{su} = 400$ kHz. Eftersom audiofilerna, $x_I(t)$ och $x_Q(t)$, har sampelfrekvensen $f_s = 20$ kHz behöver de uppsamplas. Vid uppsampling används nollinbakning; för att interpolera mellan de ursprungliga samplen lågpasfiltreras signalen med ett FIR-filtrer. Filtret hade gradtalet 200 då det gav bra resultat utan att vara orimligt högt och valdes genom att testa olika gradtal tills ett bra hittades. Samma gradtal används framöver av samma anledning. Filtret har gränsfrekvensen 10 kHz; eftersom insignalerna har

sampelfrekvensen 20 kHz kan det antas att signalerna inte innehåller frekvenser större än 10 kHz, detta då signalerna uppfyller samplingsteoremet. Filtret skapar en fördröjning av $\frac{n}{2}$, där n är filtrets gradtal, vilket måste kompenseras för. Nollinbakningen och lågpasfiltreringen resulterar även i en effektskalning vilket kompenseras för genom multiplikation med uppsamlingsfaktorn M där

$$M = \frac{f_{su}}{f_s} = \frac{400 \text{ kHz}}{20 \text{ kHz}} = 20 \quad (1)$$

De uppsamplade signalerna betecknas som $x_{IU}(t)$ och $x_{QU}(t)$.

2.1.2 I/Q-modulering

När signalerna är uppsamplade och skalade kan de I/Q-moduleras. Detta skapar den nya signalen $x(t)$. I/Q-modulering beskrivs av

$$x(t) = x_{IU}(t) \cos(2\pi f_c t) - x_{QU}(t) \sin(2\pi f_c t), \quad (2)$$

där f_c är bärfrekvensen.

2.1.3 Chirp-signal

För att mottagaren ska kunna bestämma kanalens egenskaper behöver den veta hur en känd signal förändras av kanalen. Denna signal bör lämpligtvis ha en autokorrelation som har ett tydlig maximum i origo och är liten för övrigt. En sådan signal är chirp-signalen som definieras enligt

$$c(t) = \begin{cases} \alpha \cos(2\pi f_0(1 + \epsilon t)t), & 0 < t < T \\ 0, & \text{för övrigt} \end{cases} \quad (3)$$

där α är amplitudskalning, T signalens längd i sekunder och signalen startar i frekvensen f_0 och slutar i frekvensen $f_0(1 + 2\epsilon t)$. Start- och slutfrekvens valdes till $f_c \pm 100$ Hz för att ligga i det tilldelade frekvensbandet. T valdes godtyckligt till 1 och α valdes till 0.1 genom att testa olika värden tills chirp-signalen hade en amplitud liknande resten av signalen. Chirp-signalen läggs till i början av $x(t)$ precis innan den skickas över kanalen. Den nya signalen bestående av $c(t)$ och $x(t)$ benämns $x_c(t)$.

2.2 Mottagaren

Mottagaren har som uppgift att filtrera ut signalen ur kanalen, bestämma och kompensera för kanalens amplitudskalning och tidsförskjutning, I/Q-demodulera och slutligen nedsampla signalen.

2.2.1 Filtrering

Mottagaren börjar med att filtrera ut det tilldelade frekvensbandet med lite marginal för att minimera eventuella störningar från närliggande band. Med störningarna bortfiltrerade kan signalen beskrivas av

$$y_c(t) = Ax_c(t - \tau) \quad (4)$$

där A är kanalens amplitudskalning och τ kanalens tidsförskjutning. Denna filtrering görs med ett FIR-filtrer. Filtrets gradtal valdes till 200 och gränsfrekvenserna valdes till 35.1 kHz och 54.9 kHz. Dessa gränsfrekvenser valdes för att ligga innanför det tilldelade bandet [35-55 kHz] och ha lite marginal för att motverka eventuella störningar från andra band. Som tidigare medför filtreringen en fördröjning som måste kompenseras för.

2.2.2 Kanalegenskaper

För att bestämma kanalens egenskaper används två metoder: korskorrelation och jämförelse av signalenergin. Korskorrelation är en metod för att jämföra hur lika två saker, i detta fall signaler, är varandra. Korskorrelation av två signaler, i detta fall $y_c(t)$ och $c_r(t)$ ges av

$$r_{c_r, y_c}(\lambda) = \int_{-\infty}^{\infty} c_r(t - \lambda) y_c(t) dt \quad (5)$$

där $c_r(t)$ är en chirp-signal, identisk med den i sändaren, som har skapats i mottagaren. Med $y_c(t)$ beskrivet enligt ekvation 4 fås

$$r_{c_r, y_c}(\lambda) = A \int_{-\infty}^{\infty} c(t - \lambda) x_c(t - \tau) dt \quad (6)$$

Beloppet av korrelationen är som störst då $\lambda = \tau$. τ kan sedan översättas från antal sampel förskjutet till mikrosekunder förskjutet. När förskjutningen är känd kan den kompenseras för genom att förskjuta tillbaka signalen enligt

$$y_c(t) = \begin{cases} y_c(t + \tau f_{su}), & t > 0 \\ 0, & \text{för övrigt} \end{cases} \quad (7)$$

För att bestämma kanalens amplitudskalning jämförs normen av den nya chirp-signalen med den ursprungliga. Kvoten mellan normen av den ursprungliga chirp-signalen och normen av den nya chirp-signalen ger beloppet av amplitudskalningen enligt

$$|A| = \frac{\|c\|}{\|c_r\|} \quad (8)$$

Eftersom skalningen både kan vara positiv och negativ måste även det bestämmas. Skalningens tecken S_A ges

av

$$S_A(\tau) = \begin{cases} 1, & r_{c_r, y_c}(\tau) \geq 0 \\ -1, & r_{c_r, y_c}(\tau) < 0 \end{cases} \quad (9)$$

Amplituden fås slutligen enligt

$$A = |A| S_A(\tau) \quad (10)$$

Amplitudskalningen av $y_c(t)$ kan korrigeras genom att dividera $y_c(t)$ med A .

Eftersom syftet med att lägga till en chirp-signal i början av signalen var för att ta fram kanalens egenskaper kan den nu tas bort. Den nya signalen $y(t)$ skapas genom att trunkera $y_c(t)$. Detta görs enligt

$$y(t) = \begin{cases} y_c(t + T f_{su}), & t > 0 \\ 0, & \text{för övrigt} \end{cases} \quad (11)$$

2.2.3 I/Q-demodulation

Demodulering av de två signalerna beskrivs matematiskt enligt:

$$z_I(t) = \mathcal{H}_{10 \text{ kHz}}^{LP} \{2y(t) \cos(2\pi f_c t)\} \quad (12)$$

och

$$z_Q(t) = -\mathcal{H}_{10 \text{ kHz}}^{LP} \{2y(t) \sin(2\pi f_c t)\} \quad (13)$$

där $z_I(t)$ och $z_Q(t)$ ska vara väsentligen lika $x_{IU}(t)$ respektive $x_{QU}(t)$. Filterna (\mathcal{H}) har gradtalet 200, och gränsfrekvensen 10 kHz valdes av samma anledning som vid uppsamlingen. Eftersom signalerna lågpasfilteras måste de som tidigare kompenseras för förskjutningen som sker.

2.2.4 Nedsampling

Slutligen kan signalerna nedsamlas till deras ursprungliga sampelfrekvent 20 kHz. Detta görs genom att endast spara var 20:e sampel. Till skillnad från uppsampling behöver signalen inte lågpasfilteras eller amplitudskalnas.

3 Resultat

Kanalens egenskaper avgjordes vara följande:

- Kanalens fördröjning är $\tau = 197,5 \mu s$.
- Kanalens amplitudskalning är $A = -0,6$.

Målet med laborationen var även att de ursprungliga och de mottagna signalerna skulle ha ett SNR-värde på minst 25 dB. Dessa värden ges av:

$$\text{SNR}_{z_I} = 20 \log_{10} \left(\frac{\|x_I\|}{\|z_I - x_I\|} \right) \quad (14)$$

$$\text{SNR}_{z_Q} = 20 \log_{10} \left(\frac{\|x_Q\|}{\|z_Q - x_Q\|} \right) \quad (15)$$

vilket ger $\text{SNR}_{z_I} = 40,4 \text{ dB}$ och $\text{SNR}_{z_Q} = 35,2 \text{ dB}$, vilket är betydligt högre än det krävda värdet på 25 dB. Sändaren och mottagaren har därmed lyckats överföra signalen över kanalen och kompenserat för amplitudskalningen och tidsförskjutningen.