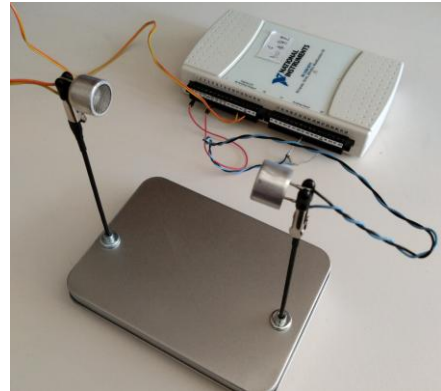


Merjenje razdalje z ultrazvokom – »chirp« - merjenje frekvence

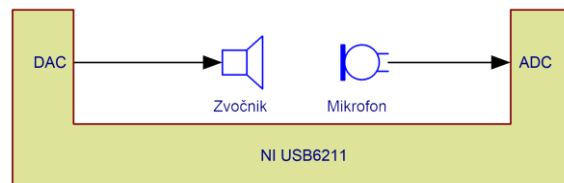
Razdaljo lahko merimo na veliko različnih načinov, a pri tej vaji bomo uporabili ultrazvok in dejstvo, da se zvok razširja po prostoru s hitrostjo približno 330 ms^{-1} . Pri prejšnjem eksperimentu je zvočnik oddal kratek pisk, ta potuje od zvočnika do mikrofona ter prispe do njega z zamudo, ki je sorazmerna razdalji med zvočnikom in mikrofonom. Na sliki 1 je postavitve poskusa. Pomeriti bo torej treba čas potovanja piska, v času je skrita informacija o razdalji.



Slika 1: Postavitve eksperimenta z zvočnikom in mikrofonom

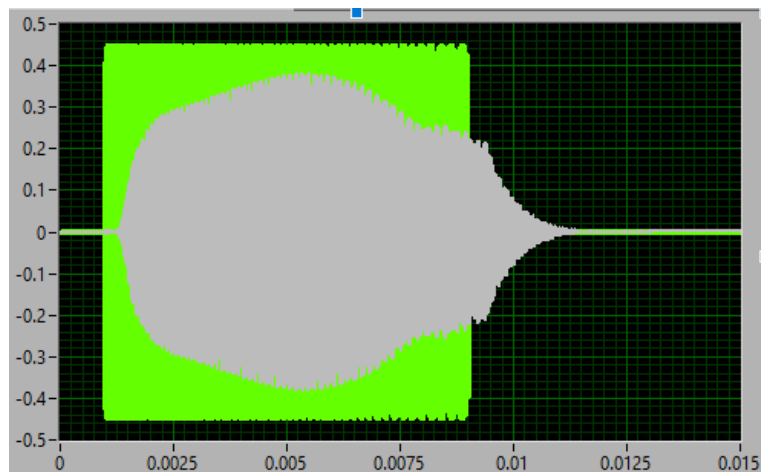
Ultrazvočni oddajnik in sprejemnik sta prirejena za frekvenco med 40 in 41 kHz. Pri prejšnjem eksperimentu je zaradi vnihanja in iznihavanja zvočnika z mikrofonom ovojnica zaznanega piska popačena in s pomočjo matematike je bilo treba najti na eksponentno usihajočem robu detektiranega piska primeren odčitek ter iz njega izračunati čas potovanja. Poskusimo tokrat drugače.

Tudi tokrat bomo pisk za poganjanje zvočnika generirali z osebnim računalnikom in ga posredovali zvočniku preko NI vmesnika. Upornost zvočnika je velika, zato ga lahko poganjamo z vmesnikom brez dodatnega ojačevalnika. Mikrofona daje signal, ki je pri majhni razdalji relativno velik (do nekaj 100 mV) in ga lahko vzorčimo z istim vmesnikom, dodaten ojačevalnik ni potreben. Bločna shema postavitve poskusa je spet na sliki 2.



Slika 2: Shema povezav med bloki za ta eksperiment

V vsaki ponovitvi meritve razdalje bomo generirali kratek pisk in prisluhnili odzivu mikrofona. Pisk naj se začne s frekvenco blizu spodnje meje delovanja zvočnika (pri 40 kHz), nato naj frekvenca enakomerno narašča do zgornje meje delovanja zvočnika (pri 41 kHz). Takšen pisk s tujko imenujemo »chirp« in omogoča, da namesto iskanja začetka ali konca piska (s stalno frekvenco) enostavno merimo frekvenco prejetega signala z mikrofona in izračunamo trenutek, ko je ta (na primer) na sredi oddajanih frekvenc (torej pri 40.5 kHz). Tako določanje, ki temelji na frekvenci in ne amplitudi, je lahko bolj natančno, ker motnje iz okolice lahko spremenijo amplitudo, frekvence pa ne morejo.



Slika 3: Signali: oddani (zeleno) in detektirani (sivo) pisk; horizontalna skala v sekundah, vertikalna v voltih; razdalja 80 mm

Za merjenje kasnitve s pomočjo »chirp« piska je potrebno:

- a) Pripraviti paket vzorcev, ki vsebuje »chirp« pisk.

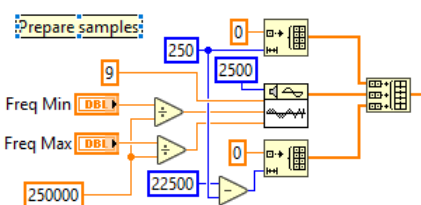
- b) Za vsako ponovitev meritve sproti računati frekvenco z mikrofonom zajetega signala.
- c) Določiti časovno značko trenutka, ko je frekvenca zajetega signala enaka frekvenci »chirp« piska na sredini paketa.
- d) Preračunati časovno značko v razdaljo med zvočnikom in mikrofonom.

Izvedba

Z vmesnikom NI USB6211 bomo generirali signal za pogon zvočnika in zajemali signal z mikrofona. Signala imata frekvenco približno 40 kHz, zato je po Nyquistu najmanjša dopustna frekvenca vzorčenja nad 80 kHz. Žal pri taki frekvenci vzorčenja signal za pogon zvočnika ni niti najmanj sinusne oblike; izberimo raje precej večjo frekvenco vzorčenja. Vmesnik zmore do 250 kHz po merilnem kanalu. Zajemamo le en signal (z mikrofona), zato izberimo kar to.

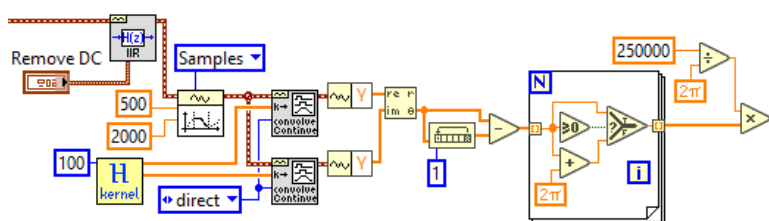
Ker meritev ponavljamo, je treba v vsaki ponovitvi generirati enak signal za zvočnik, slika 2, zelena sled. Zdi se smiselno, da paket vzorcev za tak signal izračunamo enkrat ob zagonu programa in ga pošljemo v vmesnik, nato pa od vmesnika zahtevamo le ponavljanje tega paketa; ni potrebe po spreminjanju oblike, amplitude ali frekvence signala v paketu med ponavljanimi meritvami. To implementiramo po shemi, ki je opisana v »Zgledi programov za zajemanje in generiranje signalov v Labview«, slika 5, stran 9, s pripadajočim besedilom. Za potrebe tega eksperimenta paket vzorcev sestavimo iz treh delov (Labview, slika 4):

- tišine (same ničle), 1 ms, 250 vzorcev pri frekvenci vzorčenja 250 kHz,
- piska »chirp« (sinusni signal) z mejnima frekvencama, ki ju nastavimo z drsnikoma in znaša na primer 40 in 41 kHz, 10 ms, 2500 vzorcev pri frekvenci vzorčenja 250 kHz in
- tišine (same ničle), 89 ms, 22500-250 vzorcev pri frekvenci vzorčenja 250 kHz.



Slika 4: Tako sestavimo paket vzorcev za zvočnik

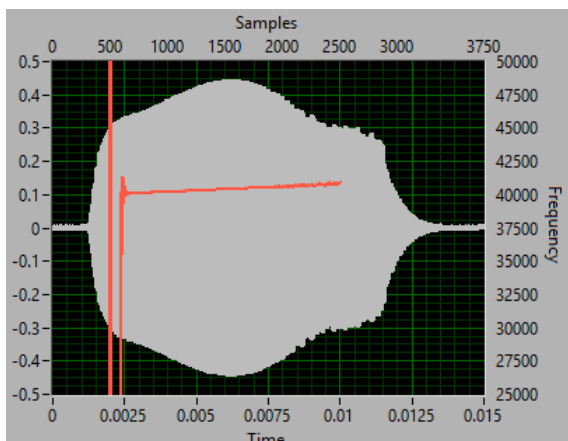
Frekvenco zajetega signala računamo sproti po metodi, opisani v »Uporaba mikroprocesorjev«, poglavje 15.2.3. Program je na sliki 5. Najprej zajeti signal pasovno filtriramo z IIR filtrom tako, da izločimo morebitne motnje in



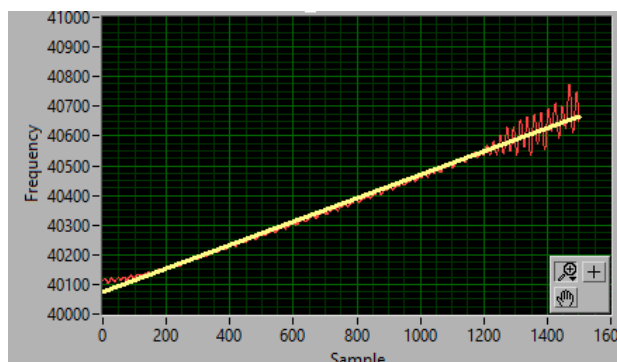
Slika 5: Tako sproti določamo frekvenco zajetega signala

enosmerno komponento (DC); ostane naj le signal s frekvenco okoli 40 kHz. Glede na paket vzorcev za zvočnik je smiselno obdelovati le zajeti signal v intervalu od vzorca z indeksom 500 do vzorca z indeksom 2000, zato ta interval vzorcev izluščimo iz zajetega signala. Za računanje frekvence potrebujemo zajeti signal in njegov za 90 stopinj zasukan par; tega dobimo s pomočjo Hilbertove transformacije, hkrati tudi originalni signal zakasnim za enako mero, kot to počne enota za Hilbertovo transformacijo. Iz obeh signalov izračunamo trenutni fazni kot v kompleksni ravnini (ta je med 0 do 2π), potem pa poiščemo razliko med dvema zaporedno izračunanima kotoma. Ta je sorazmerna trenutni frekvenci opazovanega signala. Pri spremembi kota iz četrtega v prvi kvadrant je ta razlika negativna in izračunana frekvenca bi imela napačno vrednost, zato negativne razlike kotov popravimo za 2π v zanki »for«. Na koncu sledi preračunavanje razlike kotov v frekvenco. Rezultat preračunavanja skupaj z zajetim signalom je na sliki 6, kjer rdeča sled predstavlja izračunano frekvenco signala. Zanima nas linearni del, ki enakomerno narašča od 40 kHz do 41 kHz, enako kot v oddajanem pisku »chirp«.

Večja, ko je razdalja med zvočnikom in mikrofonom, bolj je ta del pomaknjen v desno, saj zvok do mikrofona potuje dlje in zato zajeti signal kasneje doseže isto frekvenco.

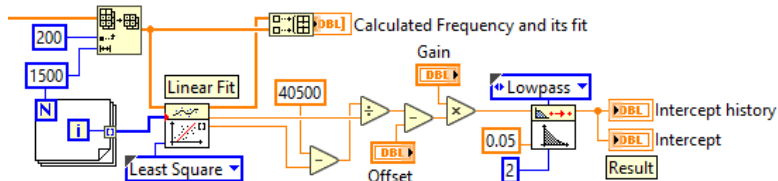


Slika 6: Detektirani pisk (sivo) in njegova frekvenca (rdeče); hor. skala v sekundah, ver. v voltih



Slika 7: Izračunana frekvenca (rdeče) in najboljši linearni približek (rumeno)

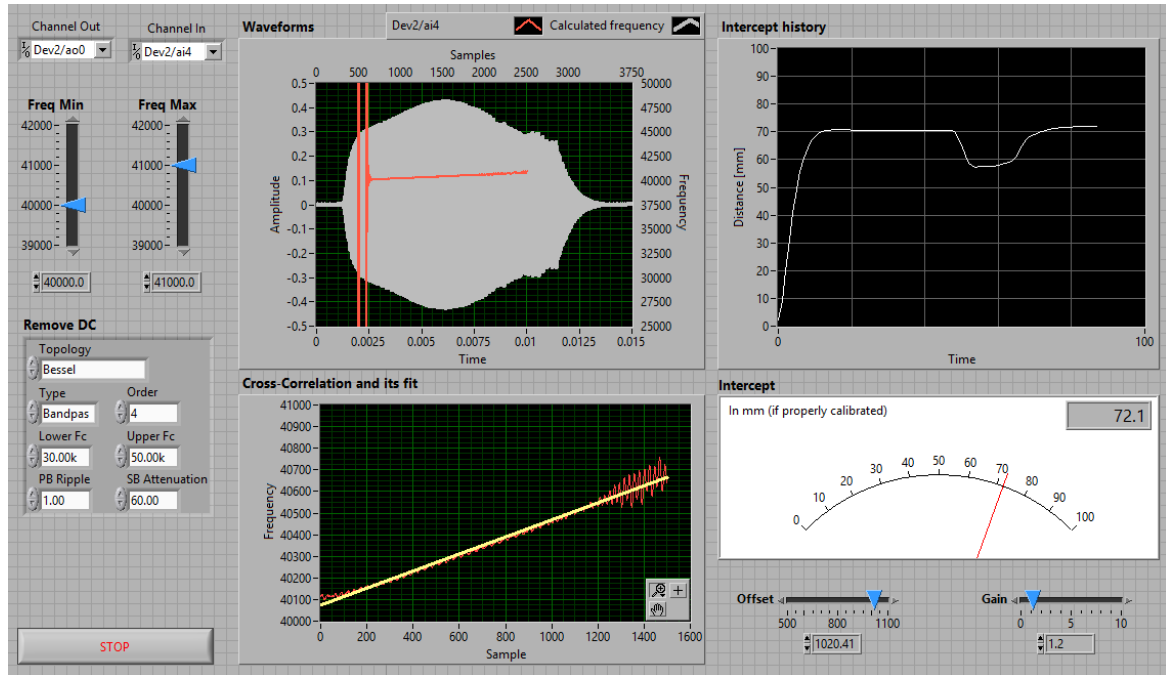
Izračunano frekvenco lahko opazujemo tudi natančneje v povečanem merilu, slika 7, rdeča sled. Dolžina diagrama je spet zmanjšana za tisti del, ki ne prinaša potrebne informacije. Tokrat je izračunani frekvenci prirejena premica ($\text{Frequency} = A \cdot \text{Sample} + B$), rumena sled. Iz parametrov A in B lahko izračunamo čas, ko premica prečka značko pri polovici frekvenčnega razpona (40.5 kHz) po formuli: $\text{Sample (za 40.5 kHz)} = (40500 - B)/A$. Dobimo vzorec (čas) v realnem zapisu, iz katerega s primernim skaliranjem dobimo razdaljo med zvočnikom in mikrofonom. Za konec zaporedne izmerke še povprečimo z nizkoprepustnim filtrom in prikažemo v diagramu ter na inštrumentu s kazalcem. Ta del programa je na sliki 8.



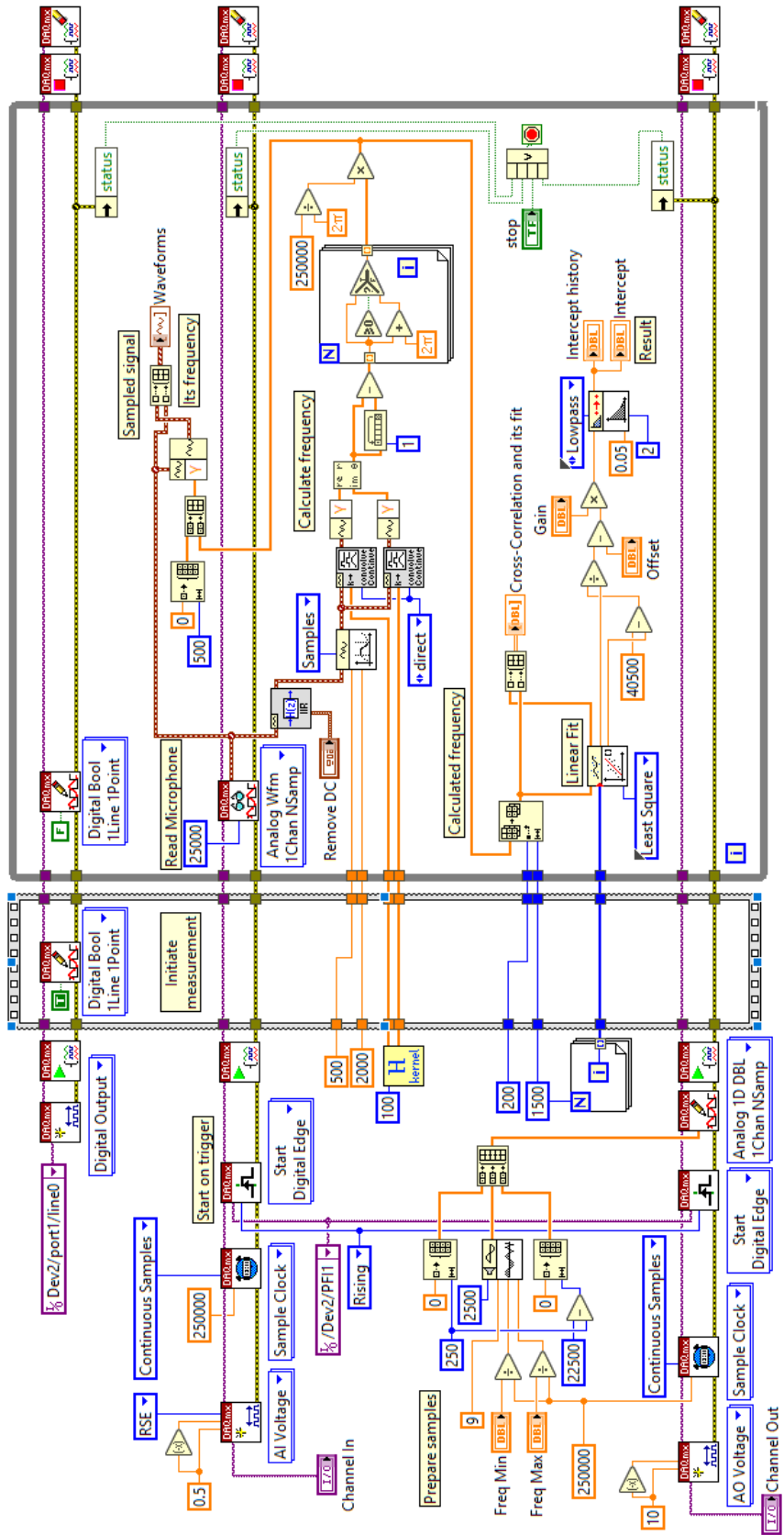
Slika 8: Še iskanje trenutka, ko frekvenca zajetega signala prečka izbrano vrednost in preračun časa v razdaljo

Če naj bo preračunavanje natančno in točno, morata verigi za generiranje signala za zvočnik in zajemanje signala z mikrofona teči usklajeno. Obe verigi morata startati istočasno, zato ju umestimo v prototip za sinhroni start obeh verig, ki je opisan v »Zgledi programov za zajemanje in generiranje signalov v Labview«, slika 11, stran 15, skupaj s pripadajočim besedilom. Celoten program je na sliki 9, primer uporabniškega vmesnika pa na sliki 8.

Merjenje razdalje z ultrazvokom – “chirp” – merjenje frekvence



Slika 8: Primer uporabniškega vmesnika



Slika 9: Program Labview