

# Intersample overshoots

## Inleiding

Wanneer een tijdcontinue golfvorm bemonsterd wordt, komen de monsters meestal niet precies op de pieken van de golfvorm te liggen. Dat betekent ook dat wanneer een tijdcontinue golfvorm wordt gereconstrueerd uit een bemonsterd signaal, sommige pieken van het tijdcontinue signaal gewoonlijk groter zullen zijn dan het grootste monster.

Bij veel digitale opnamen is het grootste monster genormaliseerd op volle schaal. De gereconstrueerde golfvorm moet tussen de monsters in dus groter dan volle schaal kunnen worden, dit wordt doorgaans aangeduid met de term intersample over of intersample overshoot. Om vastlopen of overlopen te voorkomen, moeten interpolatie- en reconstructiefilters voldoende oversturingsmarge (headroom) hebben.

Digitale interpolatiefilters worden vaak ontworpen met helemaal geen marge. Daardoor zijn DAC's met digitale interpolatiefilters vaak niet in staat om opnamen waarvan het grootste monster op volle schaal genormaliseerd is af te spelen zonder keihard vast te lopen. Vergelijkbare problemen treden op bij bemonsteringsfrequentieomzetter (sample rate converters).

Veel meer informatie valt te vinden op de webstek van Benchmark Media, bijvoorbeeld [https://benchmarkmedia.com/blogs/application\\_notes/intersample-overs-in-cd-recordings](https://benchmarkmedia.com/blogs/application_notes/intersample-overs-in-cd-recordings)

Dit effect is in het algemeen het ergste bij betrekkelijk lage bemonsteringsfrequenties. Des te lager de bemonsteringsfrequentie, des te groter de afstand kan zijn tussen de piek van het tijdcontinue signaal en de dichtstbijzijnde monsters.

Men zou kunnen stellen, en waarschijnlijk nog terecht ook, dat het onverstandig is om de grootste monsters op volle schaal te normaliseren. Daar heb je echter weinig aan als je naar een CD wil luisteren die nu eenmaal zo genormaliseerd is. Wanneer je computerbestanden beluistert in plaats van CD's of andere digitale geluidsdragers, kun je stomweg het bestand bewerken en wat zachter zetten om het probleem op te lossen.

## Testsignaal om te controleren of er marge is

Met een eenvoudige tweetoonstest valt te bepalen of een DAC marge heeft voor intersample overshoots. Ik heb dit signaal opgewekt

$$\frac{1}{2} \sin\left(\frac{1}{2} \pi \left(n + \frac{1}{2}\right)\right) + \frac{1}{2} \sin\left(\frac{2}{3} \pi \left(n + \frac{1}{2}\right)\right)$$

waarbij de positieve en negatieve volle schaal +1 en -1 zijn. Het gehele getal  $n$  is het volgnummer van het monster. Bij een bemonsteringsfrequentie van 44,1 kHz bestaat het signaal uit frequentiecomponenten van 11025 Hz en 14700 Hz.

Voor gehele  $n$  wordt het resultaat van de vergelijking nooit groter dan

$$\frac{1}{4} \sqrt{2} + \frac{1}{4} \sqrt{3} \approx 0,7865660925$$

Na ideale interpolatie met bijvoorbeeld een factor vier geldt nog steeds dezelfde vergelijking, alleen kan  $n$  nu elk veelvoud van  $1/4$  zijn. De piekwaarde wordt dan 0,9619397663.

Tweevoudige interpolatie: piekwaarde 0,9330127019

Viervoudige interpolatie: piekwaarde 0,9619397663

Achtvoudige interpolatie: piekwaarde 0,9733555533

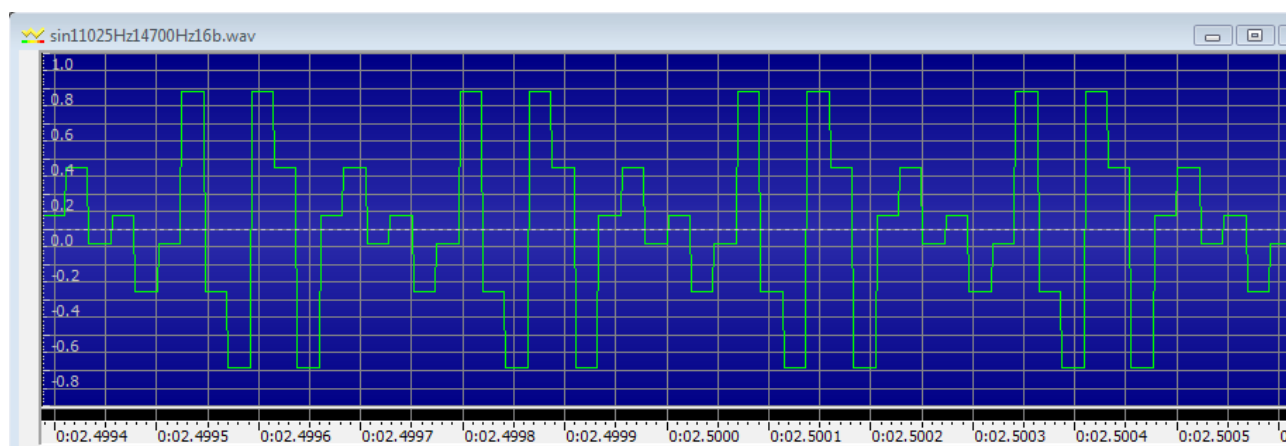
Zestienvoudige interpolatie: piekwaarde 0,9741925986

Tweeëndertigvoudige interpolatie: piekwaarde 0,9754082668

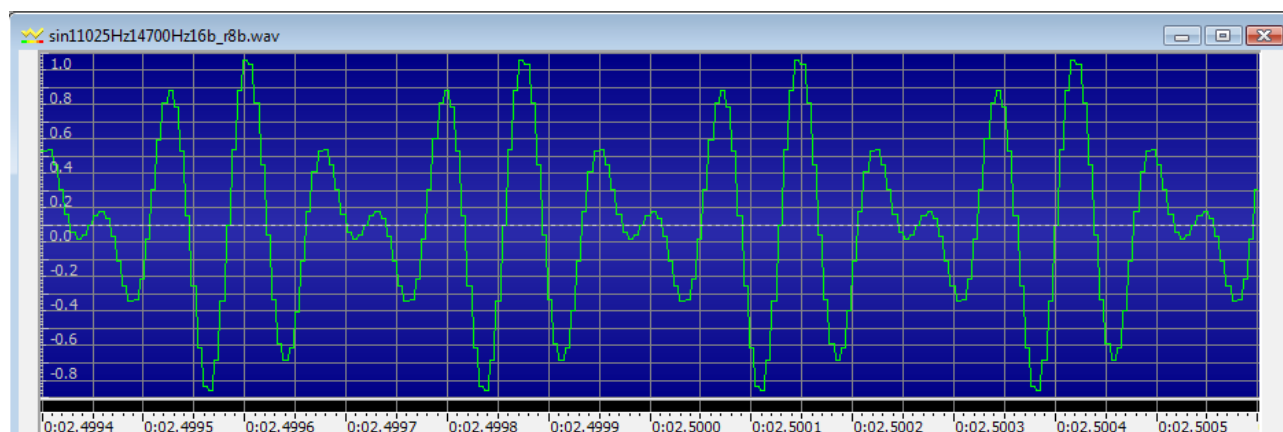
Ik heb ook een versie van het signaal gemaakt waarbij de grootste monsters genormaliseerd zijn, dus

$$\frac{4}{\sqrt{2}+\sqrt{3}} \left( \frac{1}{2} \sin\left(\frac{1}{2} \pi \left(n + \frac{1}{2}\right)\right) + \frac{1}{2} \sin\left(\frac{2}{3} \pi \left(n + \frac{1}{2}\right)\right) \right)$$

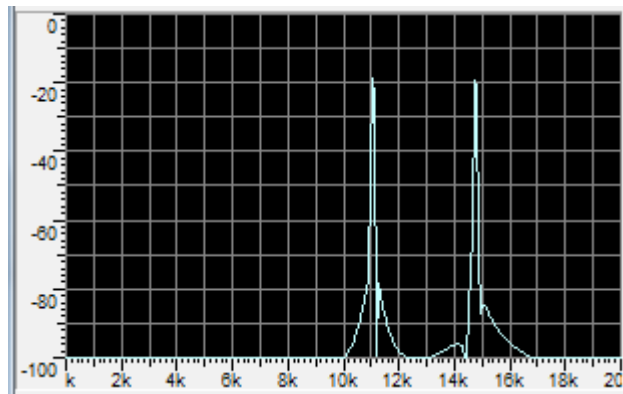
De golfvorm van het testsignaal zonder normalisatie is:



Wanneer r8brain dit interpolateert naat 176,4 kHz bemonsteringsfrequentie wordt het:

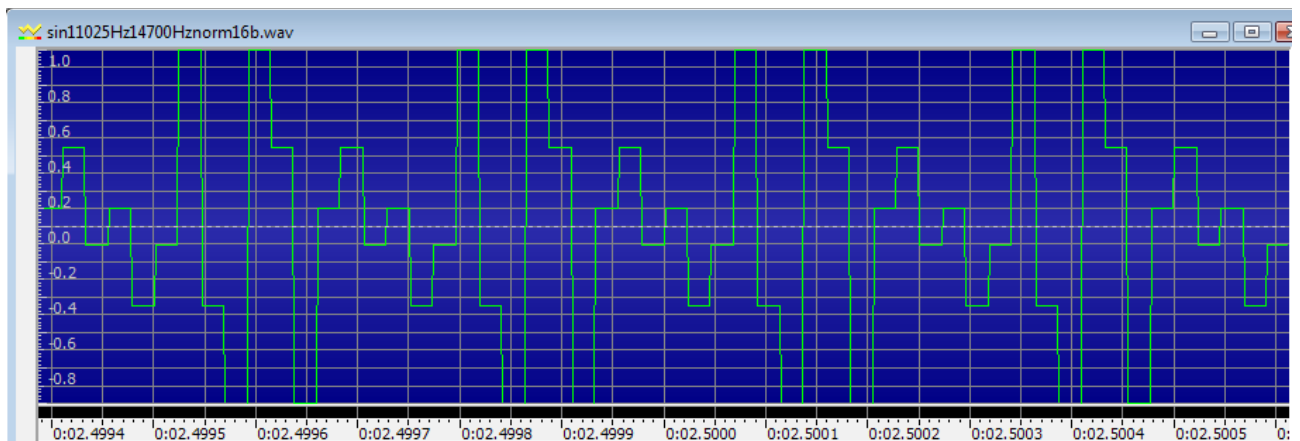


en het spectrum daarvan is:

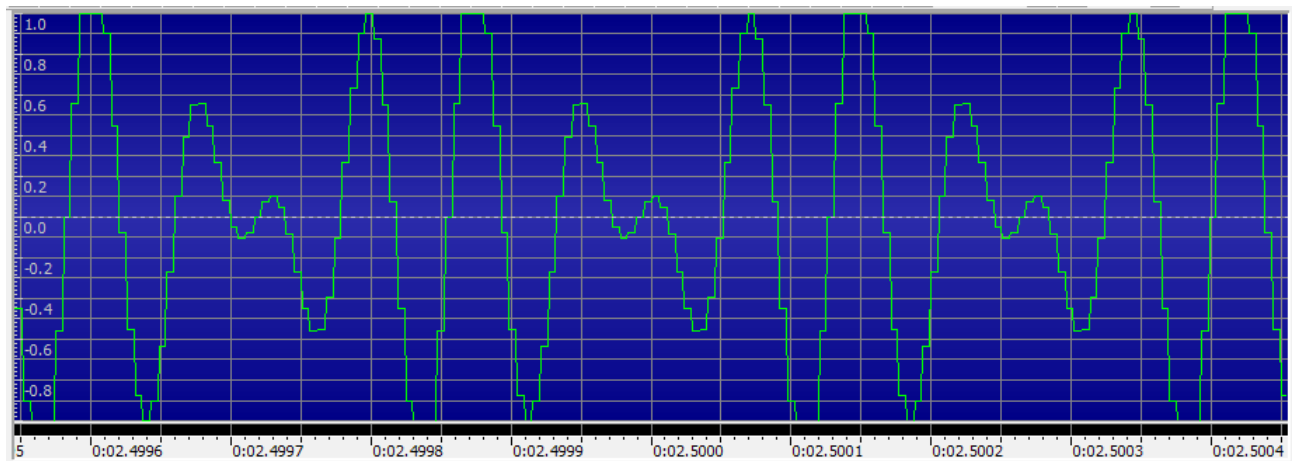


dus de pieken staan nog op 11025 Hz en 14700 Hz.

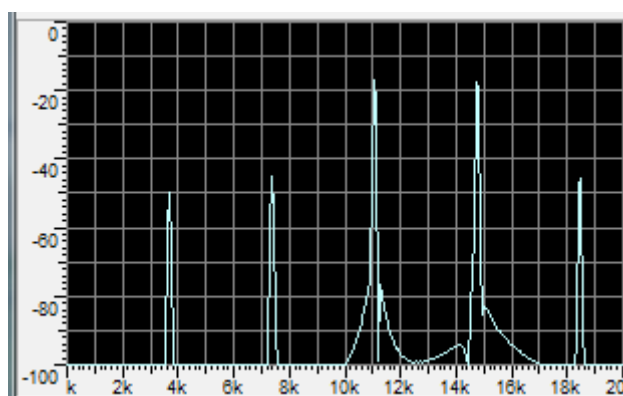
De golfvorm van het genormaliseerde testsignaal is:



en r8brain maakt daar dit van:



Het vastlopen is duidelijk zichtbaar. Het spectrum is



waarin duidelijke intermodulatieproducten te zien zijn op alle veelvouden van 3675 Hz.

Om te controleren of een DAC marge (headroom) heeft voor intersample overshoots:

1. Luister naar het genormaliseerde bestand `sin11025Hz14700Hznorm16b.wav` (vooral niet te hard zetten!)
2. Vergelijk het geluid met dat van het ongenormaliseerde bestand, `sin11025Hz14700Hz16b.wav`. Als dit bestand wat zachter is maar er verder erg op lijkt, is er kennelijk een marge van minstens 1,48 dB...1,87 dB.
3. Vergelijk het ook met `sin11025Hz14700Hznorm16b_r8b_r8b_att.wav`. Dit bestand heeft volop intermodulatieproducten: het is eerst geïnterpoleerd met r8brain, dat daardoor vastliep, daarna terug geconverteerd naar de oorspronkelijke bemonsteringsfrequentie en iets verzwakt. Als het geluid in stap 1 meer lijkt op dat van stap 3 dan op dat van stap 2, kan de DAC niet met intersample overshoots overweg.

## Hoorbaarheid bij muziek

Ik heb geen idee of er muzieksignalen zijn waarbij dit effect hoorbaar is. Het maakt me ook niet veel uit, audio-DAC's horen gewoon niet vast te lopen op muziek. In ieder geval zijn intersample overshoots niet zeldzaam; volgens Benchmark Media bevat Steely Dan's *Gaslighting Abbie* van *Two Against Nature* zo'n 3,7 intersample overshoots per seconde.