

Puls, pulsrespons, percussieve klanken, ritmen

Een klop op de deur, een tik met een hamer, slagwerk- en percussie-instrumenten, het afsteken van een rotje, het doorprikken van een ballon. Puls-achtige geluiden komen heel vaak voor.

Impulsieve trillingen hebben met elkaar gemeen dat ze "eenmalig" zijn en niet door een continu werkzame kracht worden onderhouden, zoals dat bijvoorbeeld wèl gebeurt bij een aangestreden toon op een viool of een autoclaxon. Je kunt een puls-achtig geluid ook goed beschrijven in termen van de ADSR-contourgenerator (Sound Design H4.1): bij een pulsvormig geluid is de *Sustain* altijd nul. Daarom kun je ook het geluid van tokkelinstrumenten (gitaar, harp, piano etc.) in zekere zin beschouwen als puls-achtig.

Dat je zo gemakkelijk het verschil kunt horen tussen verschillende soorten pulsen, illustreert dat ons gehoor ook uitstekend werkt als het gaat om extreem korte geluidjes van bijv. slechts *enkele milliseconden!* Een vioolbouwer die bezig is met het uitgutsen van het bovenblad van een viool, zie je regelmatig het blad vlakbij z'n oor houden, terwijl hij er op allerlei plaatsen met z'n nagel op tikt. Op elke plaats van het blad klinkt zo'n tik weer een beetje anders, helderder of doffer, en op basis van die klankverschillen beoordeelt hij op welke plekken het blad misschien nog ietsje dunner moet worden. De klank en de kwaliteit die de viool uiteindelijk zal gaan krijgen hangen mede af van de subtiele timbreverschillen van die tikjes!

definitie van een puls

Wat moeten we nu in meer *wetenschappelijke* zin verstaan onder een puls?

Als het gaat om een *continu* signaal, is het antwoord niet zo gemakkelijk (de zg. *Dirac puls* is gedefinieerd als een limiet), maar bij een *discreet* signaal verstaan we onder een puls niets anders dan "*één enkele, losse sample, omgeven door stilte*". De discrete pulsfunctie $d[n]$ wordt als volgt gedefinieerd:

$$d[n] = \begin{cases} 1 & \text{als } n = 0 \\ 0 & \text{als } n \neq 0 \end{cases}$$

Bijvoorbeeld de uitdrukking $S1[n] = 8000 d[n]$ betekent dat alle samples op spoor S1 gelijk zijn aan 0, behalve $S1[0]$, die gelijk is aan 8000. Dat signaal kun je 't snelst maken met de volgende code:

Wis buffers

```
Wis buffer (F1...F32, S1, S2, S3) S1
```

```
S1[0] = 8000
```

Opdracht 1

de klank van een discrete puls

Plaats bovenstaande code in het Commandovenster van WaveWizard en klik op Start en daarna op Play.

N.B! Als je een *oude* computer of laptop hebt, loop je kans dat je de puls niet hoort, of de ene keer wel en de andere keer niet. Nieuwere (of duurdere) geluidskarten geven extreem korte geluiden als pulsen meestal wel goed weer.

a Omschrijf de *klank* van de puls. (dof? helder? veel bas? weinig bas?)

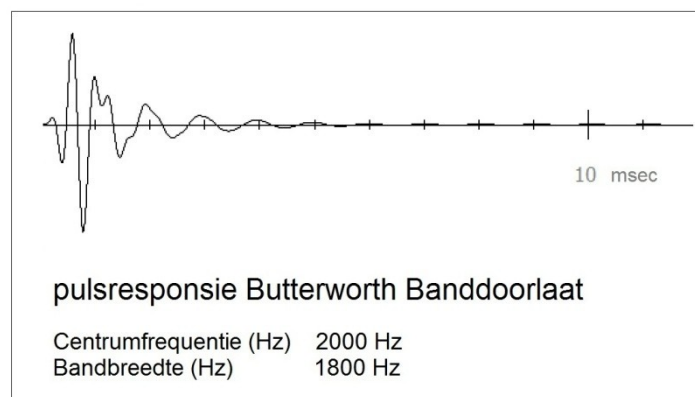
- b Wat is de waarde van $d[n - k]$ als $n = k$?
- c Wat is de waarde van $d[n - k]$ als $n = 2k$ en $k \neq 0$?

pulsrespons van een filter: "gekleurde" puls

Zoals je in Opdracht 1 hebt vastgesteld, is een puls extreem kort en heeft een "neutrale" klank: scherp en dof tegelijk. Wanneer je de puls door een filter haalt, verandert de klank dramatisch. Maar er gebeurt ook nog iets anders: de output van het filter bestaat *altijd* uit *meerdere* samples.

Opdracht 2 Gefilterde puls

- a Open [Preset_puls_banddoorlaat.txt](#), klik op Start en beluister het resultaat.
- b Gebruik Zoom om onderstaande afbeelding te krijgen in het Grafiekvenster.



In dit plaatje zie je hoe een filter reageert op slechts één enkele puls. We noemen deze reactie de **pulsrespons** van het filter. Kennelijk heeft het filter aan de puls, nieuwe pulsen toegevoegd, en daarmee het pulsgeluid als het ware "uitgesmeerd" over de tijd. Dit is, zoals je weet, kenmerkend voor *elk* filter. Het is niet mogelijk een filter te maken dat deze eigenschap *niet* heeft, want, zoals we in H4 en H5 hebben gezien, een filterwerking ontstaat *uitsluitend* doordat je aan een geluid reflecties toevoegt. We geven enkele voorbeelden.

Voorbeeld (1) niet-recursief filter (echo-feedforward)

In H4.3 zagen we dat we met de niet-recursieve differentievergelijking

$$y[n] = x[n] + x[n - 1]$$

een reflectie toevoegen aan een geluid. Als inputsignaal $x[n] = d[n]$, dan krijgen we voor outputsignaal $y[n]$:

$$y[0] = d[0] + d[-1] = 1 + 0 = 1$$

$$y[1] = d[1] + d[0] = 0 + 1 = 1$$

$$y[2] = d[2] + d[1] = 0 + 0 = 0$$

etc.

Dus: als inputsignaal $x[n]$ uit slechts één enkele puls bestaat, dan bestaat $y[n]$ uit twee pulsen, te weten het directe geluid plus een reflectie.

Voorbeeld (2) recursief filter (echo-feedback)

In H4.4 zagen we dat we met de recursieve differentievergelijking $y[n] = x[n] + ay[n - 1]$ *oneindig veel* reflecties toevoegen aan een geluid. Als inputsignaal $x[n] = d[n]$, dan krijgen we voor outputsignaal $y[n]$ de reeks samples $1, a, a^2, a^3, a^4, \dots$ zoals we hebben voorgerekend in de tabel in die paragraaf.

Dus: als inputsignaal $x[n]$ uit slechts één enkele puls bestaat, dan bestaat $y[n]$ uit oneindig veel pulsen, te weten het directe geluid plus oneindig veel reflecties. Als $a < 1$, dan treedt er exponentiële demping op en is er sprake van een *stabiel* filter.

Recursieve filters hebben een oneindige pulsrespons.
Niet-recursieve filters hebben een eindige pulsrespons.

Voorbeeld (3) Butterworthfilters zijn eveneens recursief

Ook de *Butterworth*filters waarmee je in H5 en H7 hebt gewerkt, zijn recursieve filters die één enkele puls uitbreiden tot een oneindig lange reeks outputpulsen. Omdat Butterworthfilters stabiel zijn, treedt er demping op, zodat je in de figuur hierboven een golfvorm ziet, die *niet* oneindig lijkt te duren.

Opdracht 3 percussieve klank

Experimenteer met de centrumfrequentie en de bandbreedte van het filter in de code van de vorige opdracht en luister naar de klankverschillen.

- a Wat merk je op aan de pulsresponsie als je de bandbreedte steeds kleiner maakt?
- b Wat merk je op aan de pulsresponsie als je de centrumfrequentie steeds groter maakt?
- c Zet **Centrumfrequentie** op 2000 Hz en **Bandbreedte** op 20 Hz. Je hoort een toontje dat heel abrupt eindigt in een klickend geluid. Hoe komt dat en wat doe je eraan?

Vraag

- a Met wat voor soort filter zou je het geluid van een stemvork of kerkklok het gemakkelijkst kunnen imiteren, recursief of niet-recursief?
- b Kun je dat illustreren met een voorbeeld uit de module Sound Design?

pulstreinen en ritmepatronen

Een aantal losse pulsen op regelmatige tijdstippen achter elkaar, zoals je die in de vorige opdracht tegen kwam, noemen we een *pulstrein*. Je herinnert je van Sound Design H5.2 (Opdracht 44) ook de term *pulstoon*. Het verschil zit 'm hierin dat bij een pulstrein de periode (tijdafstand tussen twee pulsen) altijd uitdrukbaar is als een veelvoud van de sampletijd T_s (H3.2). Bijvoorbeeld bij een pulstrein op tijdstippen $S1[0]$, $S1[17]$, $S1[34]$, $S1[51]$, ... is de periode gelijk aan $17 T_s$. Dat betekent dat je met een pulstrein slechts tonen met een *beperkt* aantal frequenties kunt maken (waarom?). Dit terwijl je met de **Toongenerator** een pulstoon kunt maken met elke willekeurige frequentie (natuurlijk altijd kleiner dan $0,5 F_s$, denk aan de stelling van Nyquist).

Daar staat tegenover dat je in een pulstrein elke puls een ander volume en een andere klank kunt geven. Je kunt er dus ritme-patronen mee maken, door elke zoveelste puls een accent te geven en/of een andere klankkleur. En dat kun je weer niet met een pulstoon die je aanmaakt met de **Toongenerator**.

Opdracht 4 maak een ritme

Luister naar [ritme.mp3](#). De bijbehorende preset is [Preset_puls_banddoorlaat_ritme.txt](#).

Breng kleine veranderingen aan in de preset en luister naar het resultaat.

Kun je op basis hiervan zelf een leuk of interessant ritme-patroon maken?

Antwoorden

Opdracht 1

de klank van een discrete puls

- a De een discrete puls klinkt extreem scherp, maar tegelijkertijd ook ploffend, dof. Er zitten dus zowel veel hoge tonen in als bassen.
- b Als $n = k$, dan is $n - k = 0$ en $d[0] = 1$.
- c Als $n = 2k$ dan is $n - k = k \neq 0$ zodat $d[k] = 0$.

Opdracht 3 percussieve klank

- a Als je de bandbreedte steeds kleiner maakt, wordt de pulsresponsie steeds langer.
- b Als je de centrumfrequentie steeds groter maakt, neemt de periode van de pulsresponsie af en hoor je een hoger toontje.
- c Door de kleine bandbreedte is de pulsresponsie langer geworden dan het aantal samples dat het filter uitrekent. Verhoog de waarde van **pulsduur**.

Vraag

- a Recursief.
- b Snaarplukvergelijking, H7.2.