

## Blow yer horn!

**8 Variaties op eenzelfde principe: de brass-familie, trompet, trombone, hoorn en tuba. En hoe langer je in die familie verkeert, hoe meer eigenaardigheden je bemerkt.**

### **werkelijkheid en model: de afstand waarop je iets bekijkt**

De praktijk is vaak weerbarstiger dan de theorie. En niets is minder waar voor physical modeling synthese. De handigheid van modellen is dat ze een vereenvoudiging zijn van de werkelijkheid. Je bekijkt de werkelijkheid wat afstandelijker. Dat maakt die werkelijkheid dan begrijpelijker en geeft er meer inzicht in.

Echter, altijd wel in je achterhoofd houden dat zo'n model een abstractie is en dus ook niet gelijk is aan datgene wat je model voorstelt. Soms vergeet je dat wel eens, of je staat er helemaal niet meer bij stil dat dat zo is. Het kan dan gebeuren dat je impliciete modelvorming jouw eigen werkelijkheid wordt. Het handige gereedschap verandert dan in een gekleurde bril waardoor je naar het te onderzoeken ding of probleem kijkt.

Als voorbeeld nemen we ons PLL model. Je kon er heel aardig blaas- en strijkinstrumenten mee simuleren. Die werking van een trompet wordt dan ineens heel inzichtelijk. De lippen als excitatie-oscillator gekoppeld aan een open buis. In zo'n aan beide einden open buis kan de lucht op verschillende manieren in trilling worden gebracht. Zulke zogenoemde staande golven verhouden zich bij zo'n open buis in frequentie als de rij der gehele getallen.

In muziektermen gesproken kunnen we zodoende de natuurtonenreeks ofwel een aaneengesloten harmonische serie vormen. Even terug naar het PLL model. De daadwerkelijke triller die de lippen behelzen wordt virtueel voorgesteld door een zaagtandoscillator. Dit geeft verreweg het beste resultaat, zeker als je dat vergelijkt met de andere golfvormen. Bijvoorbeeld met een driehoeksgolf als input voor de resonator lijkt het hele instrument zich te

transformeren in een fluit.

Toch heb je je misschien wel eens afgevraagd hoe dat nou kan: de liptrilling voorgesteld als een zaagtandtrilling. Sterker, misschien heb je beide trillingen al wel vergeleken. Blaas eens gewoon op je lippen alsof je op een trompet zou spelen. Luister en vergelijk dat met de klank van een zaagtand. Ai, da's nogal een groot verschil... Weliswaar zit er nog geen resonator aan je lippen, maar toch, zó'n groot verschil?

### **Wat sterkere glazen in die bril**

Je was net zo tevreden met je PLL-bril. Is de praktijk dan toch weerbarstiger dan de theorie? Ja en nee. Nee omdat globaal gesproken de interactie tussen oscillator en resonator via de sample and hold terugkoppeling heel dicht komt bij wat er werkelijk akoestisch gebeurt in een koperen blaasinstrument.

Ja de praktijk is inderdaad weerbarstiger omdat het PLL-model maar voor een deel het echte gebeuren in zo'n brass instrument beschrijft. Nog erger, er zit een fundamentele fout in! Precies: die zaagtand als input klopt niet.

Ach met wat gezond boerenverstand en praktische vergelijking van liptrilling en zaagtand hadden we er al op kunnen komen. Dat zaagtandsignaal klink veel boventoonrijker dan wat er direct uit je lippen komt. Waarom klink zo'n trompet dan toch zo boventoonrijk. Soms zo boventoonrijk dat het gewone spraakgebruik er zelfs een term voor heeft: schetteren.

Naast het foute excitatie-signaal zit er een tweede basale fout in het model. Dat is namelijk de aanname dat de resonator een bijna geheel cilindrische buis is die zich akoestisch gedraagt alsof die aan beide zijden open is, zoals dat bij fluiten het geval is (uitgezonderd panfluiten). Die bijna geheel cilindrische buis, die aan het eind trechtervormig uitloopt klopt wel.

Maar, akoestisch gezien is de buis aan één kant *gesloten*. Aan de kant van het mondstuk. Je kunt het zelfs

proefondervindelijk uitproberen. Neem een pvc-buis van ongeveer een meter en probeer daar de eigenresonanties van in trilling te brengen, zoals je dat ook zou doen bij een trompet. Als je dat lukt dan hoor je evenwel niet de zelfde reeks tonen als op een trompet, maar een serie tonen die qua intervallen overeenkomen met het overblazen op een klarinet (akoestisch een cilindrische buis die aan één kant gesloten is). Een oneven reeks harmonischen: 1, 3, 5, 7. enz.

Makkelijker dan dit zelf uit te testen is de volgende website te bezoeken,

[www.phys.unsw.edu.au/~jw/brassacoustics.html#sound](http://www.phys.unsw.edu.au/~jw/brassacoustics.html#sound). Je krijgt dan nieuwe sterkere glazen in je PLL-bril en ontdekt details die je nog niet eerder had gezien. Hier wordt haarfijn duidelijk hoe de werkelijkheid er uit ziet van wat dichterbij gezien. Naast die uitmuntende uitleg vind je er ook een keur aan klinkende audiovoorbeelden.

Kortom hier ontdekt je dat de praktijk inderdaad ingewikkeld is. In het kort komt het er op neer dat het uiteinde van de trompet, de trechtervormige beker, er voor zorgt dat de *lagere* resonantiefrequenties *hoger* worden. Het mondstuk daarentegen *verlaagt* de *hogere* resonanties.

Door een zorgvuldige afstemming van mondstuk- en bekervorm kan worden bewerkstelligd dat de overblaastonen een harmonische reeks vormen. Ook heeft de beker als effect dat hoge tonen beter worden afgestraald dan lage. De werking van een high pass filter dus. Dat resulteert erin dat de boventonen, aanwezig in het lipsignaal, relatief sterker worden.

Dan is er ook nog een andere interactie (dan de S&H feedback) tussen resonator en lippen: het lipsignaal wordt ook nog vervormd, wat betekent dat er boventonen bij komen. Vervorming is het tegengestelde van filtering. Met filtering kun je frequenties verzwakken, weghalen.

Met vervorming kun je extra nieuwe frequenties toevoegen; denk maar aan de grote hoeveelheid diverse distortion stomp boxes uit de gitaarwereld. Enerzijds worden dus de hogere frequenties in het lipsignaal bevoordeeld, anderzijds

worden er door de vervorming extra frequenties (boventonen) aan toegevoegd. Nu, dat verklaart dan dat ondanks de relatief boventoonarme liptrilling de trompet toch kan schetteren. Wil je alles nog eens door een heel andere bril zien, ga dan naar <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/music/brassa.html>, een andere uitmuntende universiteitssite, geen audiovoorbeelden, wel heel inzichtelijke afbeeldingen.

### **PLL–Brass, een update**

Deze patch is in wezen slechts uit uitbreiding en verfijning van het oorspronkelijke PLL–model. De aanpassing zit in het meer op de realiteit gebaseerde inputsignaal, de liposcillator aan de ene kant, en aan de andere kant in de toevoeging van de vervormingsfunctie.

Bij de voorbereiding van deze workshop moest ik terug denken aan lang geleden, 1988. De ICMC (International Computer Music Conference, wordt elk jaar in een ander land georganiseerd door de International Computer Music Association) vond toen plaats in Keulen. Een heel stel muziektechnologie–studenten ging daarheen. Nee, ik niet. Kennelijk had ik wat gemist. Euforische verhalen over physical modelling synthese van ene R. W. Berry van de School of Music van de universiteit van Durham uit Engeland.

Nog nooit hadden ze zulke geloofwaardige trompetsimulaties gehoord. Alles kreeg nog meer reliëf door de manier waarop en met welke middelen hij dat realiseerde. Toen wij al lang met Atari's en Macs bezig waren gebruikte Berry een simpele 6502 gebaseerde microcomputer waarmee hij een modulaire analoge synthesizer aanstuurde. Behalve de bekende standaardmodules had hij het systeem uitgebreid met zelf gebouwde resonatoren gebaseerd op een analoge vertragsingslijn met emmertjesgeheugen, ook wel BBD's genoemd (Bucket Brigade Delay).

Behalve de enthousiaste verhalen brachten die studenten ook Berry's paper mee waarin hij een beschrijving geeft van een aantal van zijn op de natuurkundige werkelijkheid gebaseerde patches. Die paper heb ik altijd gebruikt als

aanvulling op lessen. Nou, daar moest ik opeens aan denken bij het maken van deze workshop, omdat ik me herinnerde dat hij een vervormingsfunctie beschreef m.b.t. een trompetpatch.

Die patch had ik echter tot nog toe nooit uitgeprobeerd. Mooie aanleiding dus dat nu wel te doen. De overdrachtsfunctie:  $x(x+\text{offset})$ .  $x$  Stelt het inputsignaal voor. Dit signaal nu wordt vermenigvuldigd met zich zelf na dat daar een offsetwaarde (tussen 0 en 1) bij is opgeteld. Hoe deze functie is gerealiseerd zie je in de licht rose modules in de patch.

Samen met het meer op de werkelijkheid gebaseerde inputsignaal levert het datgene op wat je in de 8 varianten van PLL Brass hoort. Met wat eenvoudig boerenverstand heb ik de liposcillator benaderd: de lippen zijn van een nogal zacht ‘materiaal’, dat kan dus nooit een trilling opleveren met zo’n abrupte overgang als in een zaagtand.

Als basis dient een sinusoscillator gevolgd door een *Shape Exp* module. De mate van vervorming wordt geregeld door een mix van de *Dynamics Lfo* en *Embouchure Lfo* (die tezamen de blaaskracht voorstelt). Zo wordt verkregen dat bij ‘harder blazen’ ook meer vervorming ontstaat, precies zoals dat ook in werkelijkheid het geval is.

Experimenteer eens met de offsetwaarde in de vervormingsfunctie en hoor hoe er bij een te lage waarde niets meer van de brassklank valt te bekennen. Dit mix-stuursignaal bestuurt ook nog de ruismodulatie op de Pitch ingang van de *Lip Osc* (via *DrF-Pitch*, een mixermodule waarmee de mate van dynamische ruismodulatie kan worden ingesteld). Uiteraard wordt ook de amplitude van de *Lip Osc* in een *multiplier* module dynamisch door het zelfde control signal geregeld.

Ernst Bonis

Dit artikel werd eerder gepubliceerd in Interface 95 januari/februari 2006.

internet

acoustics of brass instruments

[www.phys.unsw.edu.au/~jw/brassacoustics.html#sound](http://www.phys.unsw.edu.au/~jw/brassacoustics.html#sound)

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/music/brassa.html>

animaties van staande golven

Dan Russell Ph. D Associate Professor of Applied Physics at Kettering University

[www.kettering.edu/~drussell/Demos.html](http://www.kettering.edu/~drussell/Demos.html)

G2

Rob Hordijk's site, zeer aan te bevelen, alles wat je wil weten over de Clavia G2 [www.xs4all.nl/~rhordijk/G2Pages/](http://www.xs4all.nl/~rhordijk/G2Pages/)

International Computer Music Association

[www.computermusic.org/](http://www.computermusic.org/)

Physical Modelling Goeroes

Julius O. Smith III (geestelijk vader van de Yamaha VL1 en VP1)

<http://ccrma.stanford.edu/~jos/>

Perry Cook

[www.cs.princeton.edu/~prc/](http://www.cs.princeton.edu/~prc/)

literatuur

Experiments in computer controlled acoustic modeling

(A step backwards??) 8-Aug-1988

R. W. Berry

ICMC Proceedings 1988