

Besturing voor een pijporgel (2)

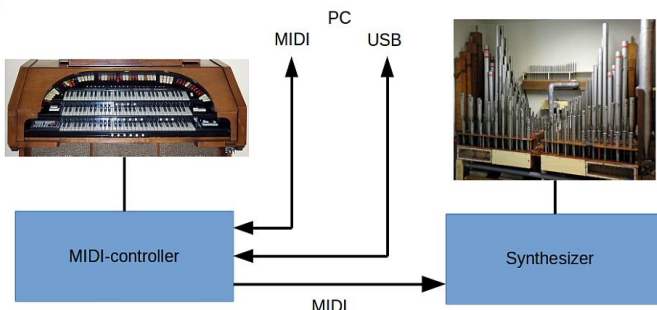
Ton Valkenburgh

Spelen met microcontrollers

In dit tweede artikel laat ik zien hoe de aansturing van de orgelpijpen wordt gerealiseerd.

Opzet

Ter herinnering laat ik nog even de globale opzet zien. Het bespelen van het orgel gebeurt vanaf een bestaand elektronisch orgel. De klavieren en pedalen hebben vrije contacten beschikbaar die gebruikt kunnen worden. Een MIDI-controller moet de stand van de contacten bijhouden en omzetten in MIDI-signalen voor de besturing (synthesizer) van de pijpen. Tussen de MIDI-controller en de Synthesizer-controller wordt een standaard MIDI-verbinding gebruikt. Dit heeft als bijkomend voordeel dat de besturing van de pijpen los te testen is met een pc of MIDI-keyboard. Uiteraard moet een pc of laptop ook aangesloten kunnen worden om MIDI-berichten op te nemen en af te spelen. Globaal ziet het er dan als volgt uit:

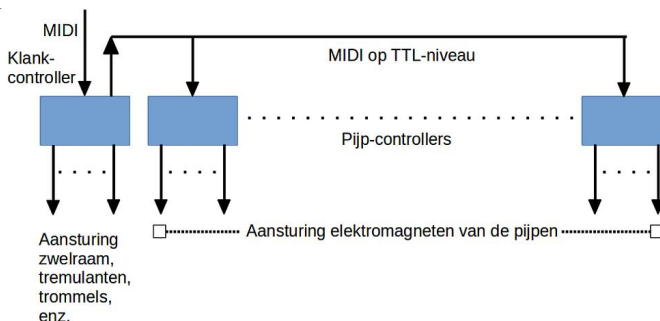


Afbeelding 1: Globale opzet

Het voordeel van deze opzet met een MIDI-verbinding tussen MIDI-controller en Synthesizer is, dat eenheid met de klavieren en pedalen voor het bespelen van het orgel zich niet direct naast de pijpen hoeft te bevinden. Het voordeel is ook dat de synthesizer vanuit een pc met een standaard Digitaal Audio Workstation kan worden getest.

De modulaire synthesizer

De synthesizer moet eenvoudig uitbreidbaar zijn. De aansturing van de pijpen wordt gegroepeerd in modules. Deze modules worden opgenomen in een Euro-rek. Er wordt gestreefd naar zo min mogelijk typen eenheden. Uiteindelijk kwam ik tot twee typen: een klankcontroller en een pijpcontroller (Zie: Afbeelding 2).



Het binnenkomende MIDI-signaal bij de klankcontroller wordt omgezet naar het 5 V = TTL-niveau en gestuurd naar de pijp-controllers.

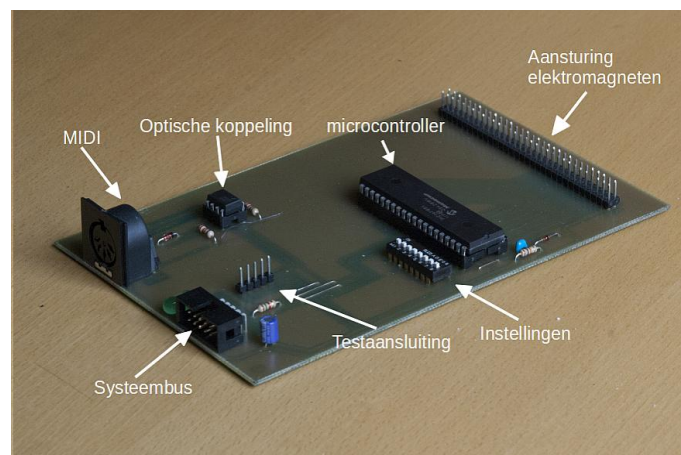
De klankcontroller zal in het algemeen worden gebruikt om het zwelraam, de tremulanten en het slagwerk aan te sturen. Deze eenheid kan echter ook worden ingesteld om maximaal 25 pijpen aan te sturen. Pijpcontrollers kunnen echter ook worden gebruikt om slagwerk aan te sturen. Alles is zo opgezet om maximale flexibiliteit te bereiken. Een klankcontroller kan met maximaal 25 pijpcontrollers worden gecombineerd.

De klankcontroller

De klankcontroller stuurt een zwelraam en de tremulanten aan. Het zwelraam en de tremulanten worden bestuurd met elektromagneten. De drivers voor deze elektromagneten zitten op een driverkaart. Een belangrijke tweede functie van de klankcontroller is het omzetten van het binnenkomende MIDI-signaal naar TTL-niveau. Vanaf de klankcontroller wordt het MIDI-signaal op TTL-niveau doorgegeven naar de pijp-controllers. De klankcontroller bevat een microcontroller (PIC16F884) van Microchip ([link 1](#)).

De klankcontroller kan ook worden gebruikt als pijpcontroller. Dit heeft het voordeel dat met één kaart zowel de klankcontroller- als de pijpcontrollerfunctie kan worden getest. Het maximaal aantal aan te sturen pijpen bedraagt 25. Bij de functie als pijpcontroller zullen, zolang de test-schakelaar op ON staat, de pijpen één voor één worden aangestuurd.

Een led op de klankcontroller licht helder op zodra de klankcontroller actief is.



Afbeelding 3: De klankcontroller

Op de klankcontroller is een dipschakelaar voor de instellingen aanwezig.

S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1
----	----	----	----	----	----	----	----

< Afbeelding 2: De Synthesizer

S5 tot en met S8 geven het pijptype (0 tot en met 15) aan. Pijptype 15 is gereserveerd voor de functie 'klankcontroller'. S4 is voor een testcyclus. S1 tot en met S3 zijn bij de functie als klankcontroller niet significant, maar bepalen bij het functioneren als pijpcontroller de laagste octaaf van de controller (CC tot en met c5)

Om te testen of de aansluiting naar het zwelraam en de tremulanten functioneren, is een testmogelijkheid gerealiseerd. Als de testschakelaar op ON staat, doorloopt het programma zijn testfunctie. Het zwelraam en de tremulanten worden achtereenvolgens bestuurd zolang deze schakelaar op ON staat.

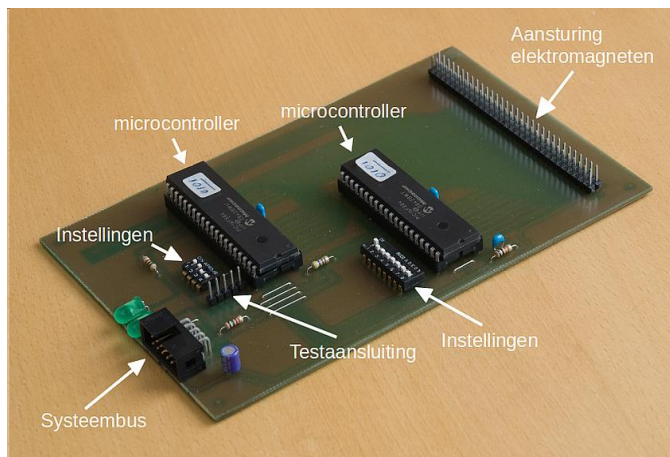
Met de test aansluiting kan de microcontroller worden geprogrammeerd. Deze aansluiting dient vooral om de firmware te testen.

De pijpcontroller

Op de kaart zitten twee microcontrollers (PIC16F884) van Microchip. Per kaart kunnen maximaal 49 pijpen (vier octaven) worden aangestuurd. De eerste microcontroller op de kaart stuurt de laagste 25 pijpen aan. De tweede microcontroller stuurt de hoogste 24 pijpen aan. Door slechts één microcontroller op de kaart te monteren wordt het maximaal aan te sturen pijpen gereduceerd tot 25.

Op de pijpcontrollers zijn dipschakelaars aanwezig voor de diverse instellingen. De instellingen zijn bedoeld voor: een pijptest, het pijptype en de laagste toon in iedere twee octaven.

Er is een 8-polige dipschakelaar en een 4-polige dipschakelaar voor de instellingen.



Afbeelding 4: De pijpcontroller

Voor iedere microcontroller is een led aanwezig die aangeeft dat een pijp door de betreffende microcontroller wordt aangestuurd.

Op de pijpcontroller zijn twee dipschakelaars aanwezig voor de instellingen.

S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	Microcontroller 0
----	----	----	----	----	----	----	----	-------------------

S4	S3	S2	S1	Microcontroller 1
----	----	----	----	-------------------

S5 tot en met S8 geven het pijptype (0 tot en met 15) aan van de pijpcontroller. Type 15 is gereserveerd voor de functie 'klankcontroller'. S4 is voor inschakelen van de testcyclus. S1 tot en met S3 bepalen de laagste octaaf van de microcontroller (CC tot en met c5).

Zolang de testschakelaar op ON staat worden één voor één de pijpen van de betreffende microcontroller aangestuurd. Met de test aansluiting kan microcontroller 0 voor de laagste 25 pijpen worden geprogrammeerd. Deze aansluiting dient vooral om de firmware te testen.

De firmware

De ontwikkelde firmware voor de gebruikte microcontrollers is voor zowel de klankcontroller als de pijpcontrollers gelijk. Updates van de firmware worden met behulp van MIDI-systeem exclusive-berichten naar de microcontrollers gestuurd. Alle controllers binnen de Synthesizer worden dan gelijktijdig van nieuwe firmware voorzien.

De volgende MIDI-berichten ([link 2](#)) worden ondersteund: Note-On, Note-Off, Program Change, Control Change (bank select, volume, sound variation en vibration rate), System Exclusive, Channel Mode (All Sounds Off) en System Reset. Om een flexibel programma te verkrijgen wordt intensief gebruik gemaakt van beslissingstabellen. In deze tabellen staan verwijzingen naar routines. De wijzer in de tabel wordt uit het MIDI-bericht gehaald.

Een MIDI-bericht bestaat uit één, twee of drie bytes. Ik laat aan de hand van een voorbeeld zien hoe dit werkt. We nemen het MIDI-bericht Note On. Dit bericht ziet er als volgt uit:

Byte 1	09	kanaal
Byte 2	Note nummer	
Byte 3	Note velocity	

Bij byte 1 is het meest significante bit een 1. Bij de andere bytes is het meest significante bit een 0.

De linker nibble2 van byte 1 geeft de functie aan en in dit geval de rechter nibble het MIDI-kanaal. De drie minst significante bits van de linker nibble worden in onderstaande tabel met startadressen van subroutines als wijzer gebruikt.

MIDI-bericht
note_off
note_on
ignore
control_change
program_change
ignore
ignore
system_real_time

De subroutine ignore is voor niet-ondersteunde berichten. Op deze wijze kan eenvoudig een uitbreiding worden gerealiseerd met een ingang in de tabel die naar een nieuwe subroutine verwijst. Soms wordt - o.a. bij de Control Change - voor de keuzes die bij de tweede byte horen ook een tabel gebruikt. In het hele programma wordt dus, daar waar mogelijk, van deze beslissingstabellen gebruik gemaakt.

Bij een kerkorgel wordt voor ieder register een eigen set pijpen gebruikt, dus ook als er overlap is in de toonhoogte. Bijvoorbeeld register Bourbon 16' en Bourbon 8' hebben wel toonhoogten vanaf 8' gemeen, maar geen fysieke pijpen. Het pijporgel waarvoor deze besturing dient is een zogenaamd unit-orgel. Dat wil zeggen dat pijpen voor meer dan één register kunnen worden gebruikt. Ook kunnen verschillende pijptypen worden gecombineerd tot een nieuwe klank. Dit reduceert het aantal pijpen aanzienlijk. In het programma moet dus wel het combineren van pijpen tot één klank worden ondersteund.

We willen niet alleen pijpen kunnen aansturen, maar bijvoorbeeld ook trommels, een triangel, xylofoon, enzovoorts. Dat houdt in dat bijvoorbeeld voor een trommel een roffel moet worden gegeven, maar voor de triangel en xylofoon een puls. Dit moet dus in de firmware instelbaar zijn.

Om deze flexibiliteit te bereiken worden tabellen gebruikt waarin deze opties kunnen worden aangegeven.

Er zijn drie tabellen

1. Pijptabel: hierin wordt per octaaf aangegeven welke pijpen voor een bepaald MIDI-programmanummer moeten worden aangestuurd;
2. Stuurtabel: hierin wordt aangegeven hoe voor een bepaald MIDI-programmanummer de pijpen moet worden aangestuurd;
3. Slagwerktafel: hierin wordt voor ieder instrument aangegeven hoe het instrument moet worden aangestuurd.

De pijptabel

In deze tabel wordt voor ieder octaaf in een 16-bits woord aangegeven welke pijpen moeten worden aangestuurd. Het nummer van het bit is gelijk aan het pijptype. Voor iedere pijp zijn acht octaven gereserveerd. Dus per pijp hebben we 16 bytes. Een bit op **On** geeft aan dat de betreffende pijp bij dit programmanummer hoort.

De stuurtabel

Per pijptype wordt in een byte aangegeven hoe de aansturing is: continu tot een **Note Off** wordt ontvangen, een puls met de lengte aangegeven in eenheden van 10 msec of dat de info in de slagwerktafel staat.

De slagwerktafel

De tabel bestaat uit een byte voor ieder slagwerkinstrument. Hierin wordt aangegeven: continu tot een **Note Off** wordt ontvangen, een puls met een lengte in eenheden van 10 msec of een roffel met een lengte in eenheden van 10 msec.

MIDI-berichtenstroom

Hieronder wordt een voorbeeld van een MIDI-berichtenreeks gegeven met de bijbehorende uit te voeren acties.

<i>Program change</i>	Koppelt het programmanummer aan een kanaal. De pijp-controllers voor dit programmanummer kijken vanaf nu naar het betreffende kanaal.
<i>Note On</i>	De pijp-controllers voor het betreffende kanaal waarbinnen deze note valt schakelen de betreffende uitgang aan.
<i>Note Off</i>	De pijp-controllers voor het betreffende kanaal waarbinnen deze note valt schakelt de betreffende uitgang uit.
<i>Control Change (All Sounds Off)</i>	Geeft het kanaal weer vrij. De betreffende pijp-controllers wissen het kanaal.

De MIDI-berichten zijn vastgelegd in een tijd toen in elektronische muziekinstrumenten nog geen microprocessoren werden gebruikt. De opzet van de berichten is dan ook zodanig dat het decoderen met discrete componenten goedkoop was uit te voeren. Het programma voor de firmware is geschreven in de assemblertaal van de PIC16F884. Deze taal staat dicht bij de hardware en is sterk in het hanteren van nibbles, testen op bits en beslissingstabellen. Voor het schrijven en testen van het programma wordt gebruik gemaakt van de ontwikkelomgeving van Microchip.

Kaarten

De synthesizer is uitgevoerd met Euro-kaarten van een enkele hoogte. Voor het ontwerpen van de lay-out is gebruik gemaakt van het open source programma KiCad ([link 3](#)). KiCad is beschikbaar voor Linux, Windows en MacOS.

Nawoord

De Synthesizer is modulair opgebouwd. Op dit moment bestaat hij uit een klankcontroller en elf pijpcontrollers. Echter, zoals het bij hobbyprojecten gaat, er staat alweer een uitbreiding met twee pijpcontrollers op stapel. Als er meer orgelpijpen zijn dan de Synthesizer aankan, zal een tweede Synthesizer nodig zijn.

De splitsing tussen MIDI-controller en Synthesizer-controller maakt een stapsgewijze uitvoering mogelijk waarbij ook stapje voor stapje modulen kunnen worden getest. De modulen van de Synthesizer kunnen met een keyboard of een Digitaal Audio Werkstation worden getest. De volgende keer wordt de MIDI-controller behandeld.

Links

1. <https://www.microchip.com/>
2. <https://www.midi.org/midi/specifications/item/table-1-summary-of-midi-message>
3. <http://kicad-pcb.org/>

