

ALTAIR 8800-SIMULATOR

hardwaresimulatie van een vintage computer



Figuur 1. Mijn Altair 8800-simulator.

David Hansel (Verenigde Staten)

Wildeste je altijd al aan de slag met de computer die het PC-tijdperk inluidde, maar had je het geld niet om een originele vintage machine te kopen? Bouw je eigen Altair 8800!

Wat is die Altair 8800? Als je het niet meteen weet (omdat je nog niet zo oud bent), kijk dan eens wat Wikipedia ons vertelt: "De Altair 8800 is een microcomputer die in 1974 door MITS is ontworpen en is gebaseerd op de Intel 8080 CPU... De Altair wordt algemeen erkend als de vonk die de microcomputerrevolutie deed ontbranden, als de eerste commercieel succesvolle personal computer" [1]. In historisch opzicht is het dus werkelijk een belangrijk computersysteem.

Als je een systeem wilt bouwen dat eruit ziet en zich gedraagt als de inmiddels 48 jaar oude Altair 8800 maar wordt afgeschrokken door de gedachte al die onderdelen bij elkaar te moeten zoeken, kun je je toevlucht nemen tot een Altair-Duino kit [2], die wordt geleverd met alle onderdelen, print, behuizing en een voorgeprogrammeerde Arduino Due. In het Arduino Project Hub-artikel [3] kun je links vinden naar fraaie exemplaren van andere fans.

De achtergrond

Ik heb lang gedacht dat het *cool* zou zijn om met een Altair 8800-computer te kunnen spelen. Maar oude Altair-systemen in werkende toestand zijn zeldzaam en daarom duur – ze kosten gemakkelijk \$ 2000 tot \$ 3000 als je ze al kunt vinden. Er zijn andere mogelijkheden, zoals altairclone.com, maar zelfs die kost nog altijd \$ 600, wat voor mij te veel geld is voor een computer die – hoewel cool – van beperkt praktisch nut is. Gelukkig heeft Mike Douglas, de maker van deze Altair 8800-kloon, alle originele documenten en software die hij heeft opgespoord en gebruikt bij het bouwen van de kloon beschikbaar gesteld aan de gemeenschap. Dankzij Mike's werk is er een schat aan informatie beschikbaar over de werking van de Altair en de populairste periferie.

Op een gegeven moment bestudeerde ik de specificaties van de Arduino Mega 2560 en vroeg me af of deze genoeg I/O-pinnen had om de LED's en schakelaars van het front van de Altair aan te sturen, en mijn eigen emulatorsoftware te schrijven. Het bleek dat de Arduino Mega precies genoeg I/O-pinnen heeft. Dus hoefde ik alleen maar mijn eigen Altair-simulator te bouwen.

Het gebruik van de Arduino Mega als basis voor de simulator werkte goed en de opzet was eenvoudig, maar de emulatie draait slechts op ongeveer 25% van de snelheid van de Altair en kan slechts 6 KB geëmuleerd geheugen bieden (hoewel dat in de jaren zeventig veel zou zijn geweest). De hoeveelheid permanent geheugen (voor het opslaan van in de simulator gemaakte programma's/gegevens) is ook beperkt, aangezien de EEPROM van de Mega slechts 4 KB bevat. De Arduino Due heeft genoeg geheugen om een volledige 64 KB geëmuleerd RAM te ondersteunen en is veel sneller dan de Mega. Bovendien kan de Due in runtime data opslaan in het flash-geheugen. Dit maakt het mogelijk om elk deel van het 512 KB flash-geheugen dat niet door de simulator zelf wordt gebruikt, te gebruiken als permanent geheugen. Met de Due was ik in staat om een Altair 8800-simulator te bouwen die ongeveer even snel was, 64 KB aan geëmuleerd RAM-geheugen biedt, veel Altair-software bevat, en nog steeds 32 KB semi-permanent geheugen in de aanbieding heeft voor het laden en opslaan van programma's en gegevens in de emulator.

Doelstellingen, voorbeelden en nog zo het een en ander

Het was voor mij belangrijk om zo dicht mogelijk bij het 'echte' Altair 8800-gevoel te komen bij het werken met de simulator. Dit houdt ook in dat de lampjes op het frontpaneel zoveel mogelijk het originele gedrag weerspiegelen. Een criterium hiervoor was dat het mogelijk moest zijn om het 'kill-the-bit' spel op het frontpaneel te spelen. **Figuur 1** en de YouTube-video 'Arduino Altair 8800 Simulator – Entering and Playing Kill-the-Bit' [4] laten zien dat ik daarin geslaagd ben.

De simulatie bleek zo trouw aan het origineel dat zelfs de originele Altair 8800-muziekdemo [5] werkt – dit is ter vergelijking mijn versie [6]. Om op deze manier muziek te maken is een AM-radio nodig die de elektromagnetische interferentie opvangt die door de schakelingen van de Altair werd veroorzaakt.

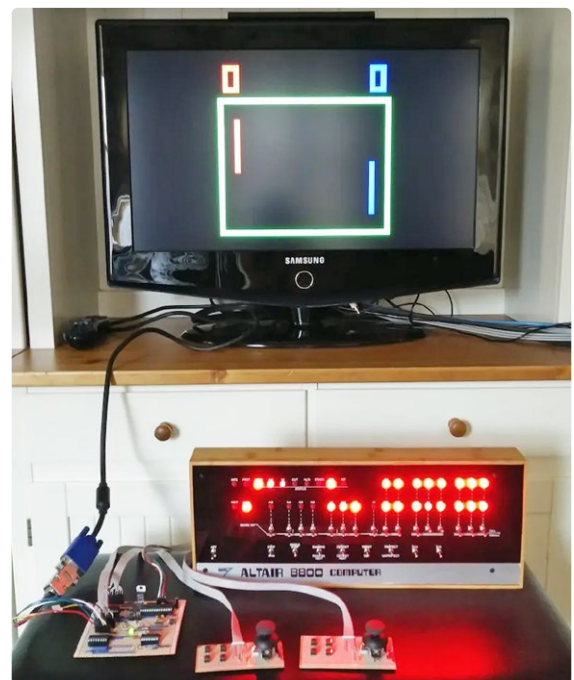
In 1977 bracht Processor Technology een kleine uitbreidingskaart uit (slechts een paar condensatoren en weerstanden) met bijbehorende software die de Altair in een (voor die tijd) respectabel muzieksysteem veranderde. De simulator kan op dezelfde manier worden uitgebreid (zie documentatie) zodat deze de deuntjes kan afspelen die destijds voor het muzieksysteem werden gemaakt. Deze YouTube video [7] toont mijn kloon die de Wilhelm Tell-ouverture speelt.

Een andere historisch belangrijke uitbreiding voor de Altair was de Cromemco Dazzler grafische kaart. Met behulp van een software- of hardware-uitbreiding kan de simulator ook deze kaart emuleren [8], zoals getoond in **figuur 2**. Een andere software/hardware-uitbreiding [9] maakt emulatie van de VDM-1 grafische kaart (**figuur 3**) van Processor Technology mogelijk.

Omdat ik geen originele Altair bezit, moest ik alle benodigde informatie uit documenten en video's halen (zie dankbetuigingen in [3]). Er kunnen een paar kleine verschillen zijn, maar al met al denk ik dat het originele gedrag vrij goed wordt gereproduceerd (zie het kader **Highlights**). Een bekend (en opzettelijk) verschil is het HLDA-status-lampje: in het origineel geeft het aan dat de CPU bevestigd heeft dat hij is gestopt door een extern apparaat. Deze functie wordt nooit gebruikt in de simulator, dus daar signaleert het dat een bestand (serieel/tape opname/weergave) momenteel geopend is.

Als je de Arduino Due gebruikt, mag je niet vergeten dat alle gegevens die in de simulator zijn vastgelegd of opgeslagen, gewist worden als je een nieuwe versie van de sketch in de Due laadt. Dit komt omdat de gegevens zijn opgeslagen in het flash-geheugen, dat wordt gewist wanneer een nieuwe sketch wordt geladen (de Due heeft geen EEPROM voor permanente opslag). Wanneer een SD-kaart op de Due wordt aangesloten, worden de gegevens op de SD-kaart opgeslagen. In dat geval blijven de gegevens bewaard als er een nieuwe sketch wordt geladen.

De originele Altair-documentatie (gemakkelijk te vinden via Google) bevat alle informatie die nodig is om de schakelaars op het frontpaneel te bedienen. De simulator bevat echter extra functies en geïntegreerde software. Dit wordt uitgelegd in het bestand Documentation.pdf [10] uit de repository van de broncode.



Figuur 2. De emulatie van de Cromemco Dazzler grafische kaart in actie.



Figuur 3. Scherm van de VDM-1 grafische kaart.

De bouw

Ik wilde bij dit project zo weinig mogelijk extra componenten gebruiken. Zowel de Arduino Mega als de Due hebben genoeg I/O-pinnen om alle elementen van het frontpaneel rechtstreeks aan te sluiten. Er zijn alleen extra transistoren en weerstanden nodig om de 36 LED's aan te sturen (als ze rechtstreeks op de uitgangen van de Arduino worden aangesloten en er te veel tegelijk worden ingeschakeld, zou de totale stroom de grenswaarden van de Arduino overschrijden). Een volledig schema is overbodig (36 identieke LED-drivers, bedrading voor 32 schakelaars) en dus niet erg nuttig. Daarom is het geheel opgebouwd uit uit subschakelingen (zoals de LED-drivers, **figuur 4**), en geven tabellen (zie [3]) aan welke elementen op welke Arduino-pinnen zijn aangesloten. Een Fritzing-bestand [3] toont de layout van de onderdelen van de LED-drivers op gaatjesprint (**figuur 5**).

Voor het frontpaneel begon ik met een hoogwaardige scan van het frontpaneel van de Altair [11], die ik bij een copyshop op karton liet afdrukken. Aan de achterzijde daarvan (om de schakelaars en LED's op hun plaats te houden) heb ik een plaat metaal van 0,75 mm dik gebruikt en daar de gaten voor de LED's in geboord. De LED-drivers zijn op gaatjesprint gesoldeerd die op de LED's passen die op hun beurt op hun plaats worden gehouden door de metalen plaat. Het frontpaneel wordt rechtop gehouden door een eenvoudige houten kast. Die is niet zo diep als de originele Altair (omdat alleen het frontpaneel en de Arduino erin zijn ondergebracht). **Figuur 6** laat zien hoe het er van binnen uitziet.

Voor de aan/uit-schakelaar op het voorpaneel heb ik gewoon een voedingsconnector genomen (hetzelfde model als op de Arduino zelf), die verbonden is met de schakelaar op het voorpaneel, en vandaar met een connector naar de Arduino.

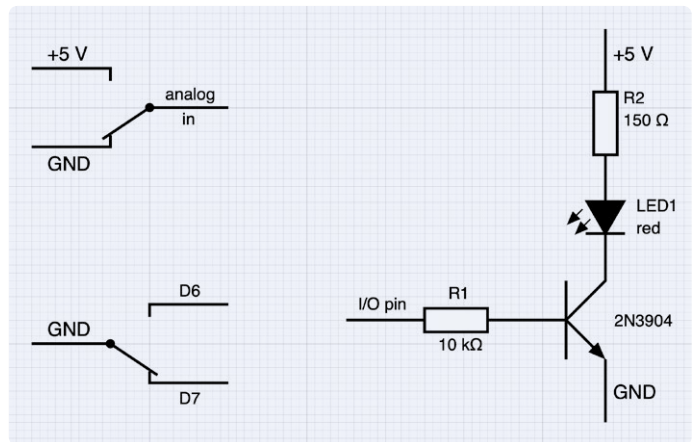
Bij gebruik van de Arduino Due is emulatie van maximaal 16 van de 88-DCDD diskdrives mogelijk door een SD-kaart aan te sluiten op de SPI-poort van de Due. Op de laatste bladzijde van het schemadocument [3] is de benodigde bedrading in detail getoond.

Voordat je de sketch in de Arduino Due laadt, moet je eerst de optimalisatie-instelling van de Arduino-compiler op 'Performance' zetten. Standaard staat deze op 'size' (geen idee waarom, aangezien de Due 512 KB flash-geheugen heeft). Open hiertoe het bestand in een tekstverwerker en verander elke instantie van -Os in -O3.

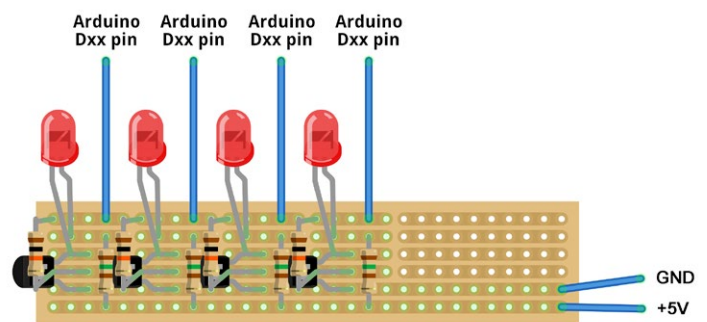
```
c:\Users\,\AppData\lokaal\Arduino15\packages\arduinohardware\1.6.9\platform.txt
```

Je kunt deze stap overslaan, maar dan zal de simulator veel langzamer draaien.

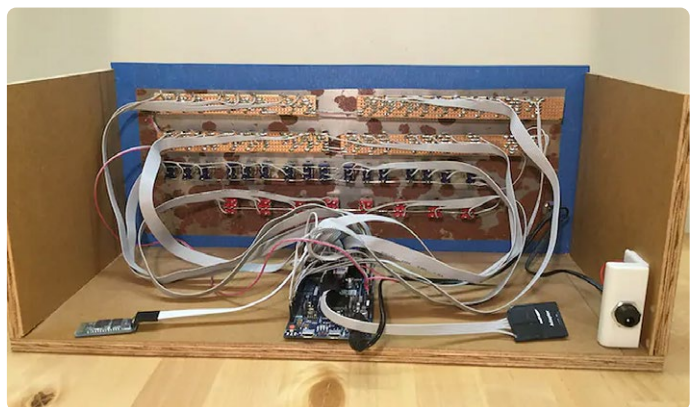
De simulatorsoftware kan ook op uitsluitend een Arduino (Mega of Due) zonder aangesloten frontpaneel draaien. Dan kunnen sommige van de meegeleverde programma's worden uitgevoerd (de programma's die voornamelijk de seriële terminal gebruiken en niet de elementen op het frontpaneel). Bewerk hiervoor het bronbestand config.h en stel `#define STANDALONE` op `1` in (in plaats van op `0`). Zie de sectie 'Debugging Capabilities' van de documentatie [3] om te zien hoe je de virtuele frontpaneel-elementen in deze configuratie kunt bedienen. Merk op dat dit niet het bedoelde gebruik van de simulator is. PC-ge-



Figuur 4. Deelschakelingen voor de schakelaars en LED's.



Figuur 5. Montage op gaatjesprint (Fritzing).



Figuur 6. De Arduino Altair-kloon van binnen.

baseerde software-emulators zijn intuïtiever als je de frontpaneelhardware niet zelf wilt bouwen. Het config.h-bronbestand bevat verschillende schakelaars die simulator-functionaliteiten in- of uitschakelen. De standaardinstellingen werken prima, maar hier kunt je je simulator optimaliseren.

Highlights

- Bootst exact het gedrag van de elementen op het frontpaneel van de Altair na.
- Ongeveer even snel als de originele Altair 8800 met een Arduino Due (25 % met een Arduino Mega).
- Grootte van het geëmuleerde RAM: 64 KB (Due) of 6 KB (Mega).
- Enkele Altair-programma's zijn inbegrepen en kunnen gemakkelijk in de emulator worden geladen: Pong, Altair 4K BASIC (het eerste Microsoft-product), Altair Extended BASIC, MITS Programming System II (alleen Due), Altair Timesharing BASIC (hiermee kunnen meerdere gebruikers tegelijk BASIC gebruiken).
- BASIC- en assembler-voorbeeldprogramma's zijn inbegrepen en kunnen gemakkelijk worden geladen in BASIC/Assembler.
- Emuleert een 88-SIO, 88-2SIO en 88-ACR (audiocassetterecorder-interface) board. Elk gesimuleerd serieel apparaat kan op Arduino seriële poorten worden afgebeeld. Standaard zijn de twee meestgebruikte (88-SIO en 88-2SIO poort 1) afgebeeld op de belangrijkste 115.200 baud seriële poort van Arduino (8N1), die via de USB-kabel toegankelijk is. Een serieel/Bluetooth-dongle verbonden met de seriële RX/TX-pinnen wordt aanbevolen voor andere apparaten om via Bluetooth als terminal te dienen.
- Op de Arduino Due kunnen zowel de belangrijkste seriële poort (USB) als de Serial1-poort (pinnen 18/19) tegelijkertijd worden gebruikt.
- Gegevens die naar elk serieel apparaat (inclusief de ACR-tape) worden verzonden, kunnen worden opgenomen in en afgespeeld uit maximaal 256 bestanden, die worden opgeslagen in het lokale geheugen van de Arduino (EEPROM of FLASH).
- De cassette-interface ondersteunt het gebruik van de CSAVE/CLOAD-opdrachten in Extended BASIC (automatisch zonder dat de gebruiker actie hoeft te ondernemen). Ideaal voor het ontwikkelen van je eigen BASIC-programma's!
- Emuleert een Cromemco Dazzler grafische kaart (vereist extra hardware/software [9]).
- Emuleert een Processor Technology VDM1 video terminal kaart (vereist extra hardware/software [10]).
- Emuleert tot 16 88-DCDD diskdrives (4 in standaardconfiguratie). De drive-emulatie is optioneel, maar vereist de aansluiting van een SD-kaart op de Arduino SPI-header. (Alleen Due).
- Emuleert een 88-HDSK harddisk-controller met maximaal 4 harddisks (1 in de standaardconfiguratie) en 4 schijven per eenheid.
- Emuleert een 88-RTC VI-board met real-time klok en vector-interrupt verwerking. Maakt het gebruik van Altair Timesharing BASIC mogelijk.
- Geheugenpagina's van 256 bytes kunnen worden opgeslagen in permanent geheugen en opnieuw worden geladen in RAM. Dit is een gemakkelijke manier om programma's op te slaan die met de schakelaars op het frontpaneel zijn ingevoerd.
- Veel instellingen kunnen eenvoudig worden gewijzigd via de geïntegreerde configuratie-editor.

Delen we!

Als je dit project interessant vindt en meer informatie op prijs stelt, bezoek dan de Google Group, aangemaakt door Chris Davis, voor discussies over Altair-Duino-gerelateerde kwesties [12]. Voel je vrij om bij te dragen aan de discussies!

Als je je creatie wil delen, laat het me dan weten – dan zet ik die op de Simulator-website. Ik ben benieuwd naar al die verschillende versies! ◀

220406-03

Over de auteur

David Hansel is maker en ontwikkelaar. Hij ontdekte Arduino in 2012 en maakt er sindsdien projecten mee (en met andere microcontrollers). Hij verzamelt projecten waarvan hij denkt dat ze nuttig kunnen zijn voor anderen op zijn GitHub-profiel: <https://github.com/dhansel>

Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur via david@hansels.net of naar de redactie van Elektor via redactie@elektor.com.



Gerelateerde producten

Op zoek naar de belangrijkste items die in dit artikel worden genoemd? Arduino en Elektor leveren wat je nodig hebt!

- **Arduino Due with Headers**
www.elektormagazine.nl/arduino-due

WEBLINKS

- [1] Wikipedia over de Altair 8800: https://en.wikipedia.org/wiki/Altair_8800
- [2] Altair-Duino kit: <https://altairduino.com/>
- [3] Arduino Altair 8800 Simulator op Arduino project hub website: <https://tinyurl.com/yxkta8nz>
- [4] Arduino Altair 8800 Simulator: kill-the-bit invoeren en spelen: <https://youtu.be/prdvkMP3FAA>
- [5] Altair 8800 muziekdemo: <https://youtu.be/1FDigtF0dRQ>
- [6] Muziekdemo met mijn simulator: <https://youtu.be/q45ENdbz8EU>
- [7] Altair Simulator speelt de Wilhelm Tell-ouverture: <https://youtu.be/nqy8v41q5as>
- [8] Dazzler Display voor Altair-simulator: <https://tinyurl.com/y8f2wzsr>
- [9] VDM-1 simulator: <https://github.com/dhansel/VDM1>
- [10] Documentatie, PDF: <https://tinyurl.com/yvxtxhbn>
- [11] Altair-frontpaneel: <https://vintage-computer.com/images/altairfrontpanelscan.jpg>
- [12] Google Group over Altairduino.com: <https://groups.google.com/g/altair-duino>

