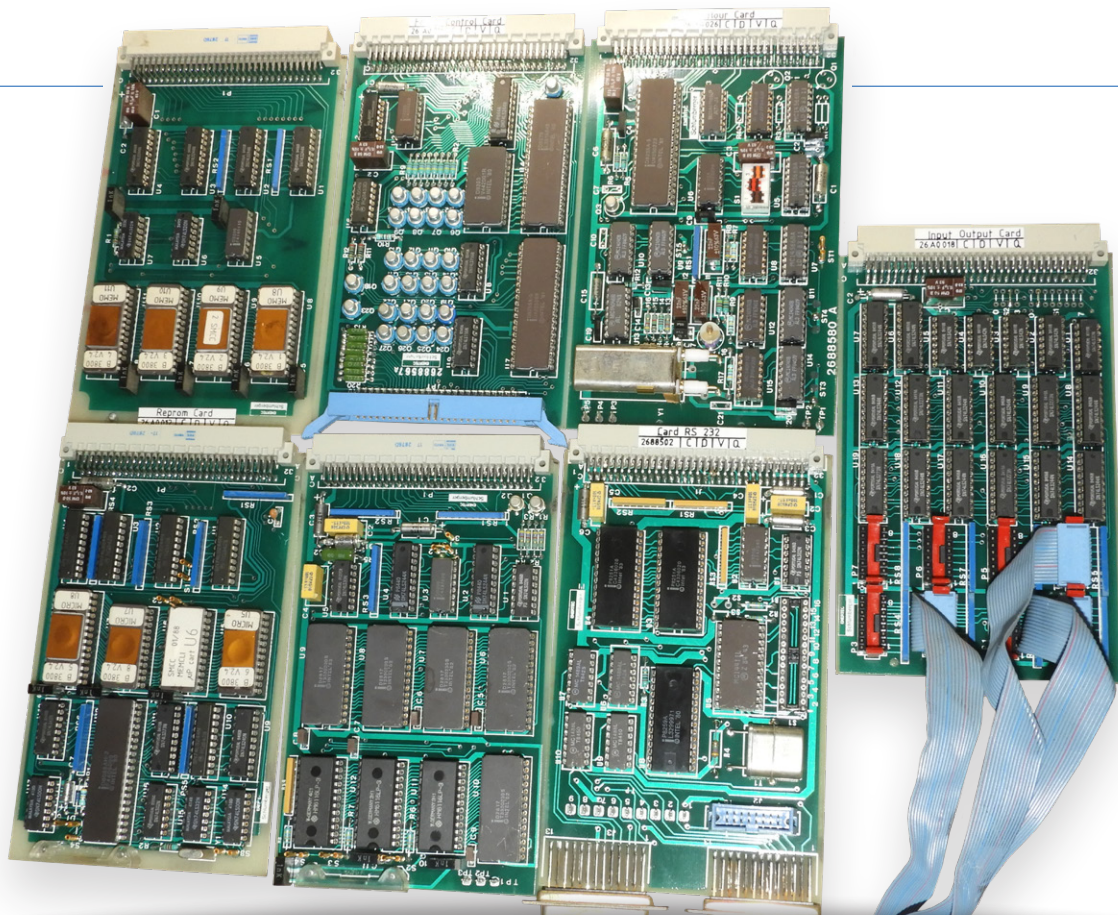




Microprocessoren voor embedded systemen

vreemde onderdelen

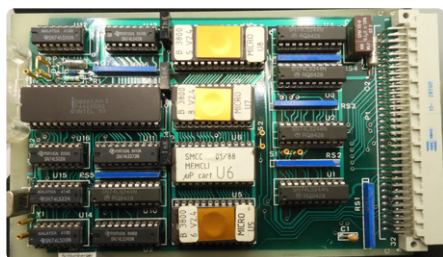
David Ashton (Australië)

Embedded engineers en hobbyisten hebben tegenwoordig keuze te over als het gaat om rekenkracht, dankzij het enorme aanbod aan microcontrollers. Maar dat was niet altijd zo – laten we ons daarom eens verdiepen in de embedded systemen van het verleden...

Tegenwoordig hebben zelfs low-end microcontrollers zoals de 8-pins AVR ATtiny tot 8 KB flashgeheugen aan boord en tot 512 bytes EEPROM en SRAM. Plus nog de nodige periferie: twee timers/counters, seriële interface, vierkanaals ADC, watch-dog-timer en een analoge comparator. De chip voert je code uit met 10 MHz en ondersteunt een breed ingangsspanningsbereik.

Vergeleken daarmee was het leven van vroegere ontwikkelaars van embedded systemen niet gemakkelijk. Ze moesten het stellen met microprocessoren zonder enig on-chip geheugen (afgezien van de registers) of periferie. In plaats daarvan moest al dat lekkers separaat worden toegevoegd om een compleet systeem te bouwen. Dat betekende dat er andere componenten

op de bus van de microprocessor moesten worden aangesloten – heel eigenaardig. Normaal gesproken heb je 16 bit adresruimte, genoeg voor 64 KB geheugen, en 8 bit voor gegevens. Daarnaast zijn er verschillende besturingssignalen, zoals lees/schrijf- en timingsignalen. Alle perifere chips die je hebt aangesloten, hebben meestal één enkele functie. Als geheugen zou je een ROM (voorgeprogrammeerd of EPROM) en RAM aansluiten, en dat laatste moest dynamisch zijn, als je tenminste een fatsoenlijke hoeveelheid wilde hebben. Dit vereiste een duivels gecompliceerde refresh-timing, waarvoor vaak weer een aparte chip nodig was. Periferie werd ook separaat toegevoegd. Timers, counters, in- en uitgangspoorten, UART's voor seriële



Figuur 1. Dit board dateert uit het midden van de jaren '80 en bevat een 8085-microprocessor. Samen met zes andere boards (zie de kopfoto) was het net zo uitgerust als huidige microcontrollers!

communicatie, ADC's, CRT-controllers (die uitgangen hadden om beeldbuizen aan te sturen) – en ga maar door. Elke chip was een 24...40-pins dual inline-monster, meestal op maat gemaakt voor de microprocessoren van dezelfde fabrikant, bij een maximale klokfrequentie van 4 MHz. Maar daar hield de pret nog niet mee op. Vervolgens kwamen de bekende logische IC's voor decodering en buffering, bekend als *glue logic*. Programmeerbare logische chips, zoals GAL's, PAL's en ULA's, werden graag hiervoor ingezet, maar soms stopten fabrikanten die functionaliteit in speciaal op maat gesneden chips. Intel bracht de bal aan het rollen in 1974 met de eerbiedwaardige 8080, waarvan we zouden kunnen zeggen dat deze het werkelijke begin van het microprocessor-tijdperk inluidde. Hij had twee ondersteunende chips nodig, de 8224-klokgenerator en de 8228-buscontroller. Ongebruikelijk voor hedendaagse engineers had hij twee voedingsspanningen nodig: zowel ± 5 V als $+12$ V. Later ontwikkelde exemplaren, zoals de 8085 (**figuur 1**), had nog slechts een enkele voedingsspanning van $+5$ V nodig. Hij was echter ingewikkelder vanwege het vreemde bus-multiplexschema. Dit vereiste extra glue logic, hoewel er een speciale reeks perifere chips voor de 8085 beschikbaar was. Programma's werden tijdens de ontwikkeling opgeslagen in UV-EPROM's – programmeerbare alleen-lezen geheugens die met ultraviolet gewist konden worden. Dankzij een klein venster boven het halfgeleiderkristal kon de inhoud worden gewist met een EPROM-gum – een kastje met een UV-lamp, een timer en een uitschuifbare lade voor de EPROM. Het UV-licht had de inhoud in ongeveer 20...30 minuten gewist. Daarna kon de chip opnieuw worden geprogrammeerd met behulp van een EPROM-programmer die was aangesloten op de seriële of parallelle poort van je PC. Hoe dit werd gedaan vóór de komst van de PC weet ik niet! Ik herinner me echter dat ik programmeurs met hex-toetsenborden heb gezien die

gegevens in elke geheugenlocatie typten... Programmeren gebeurde in machinecode, waarbij de geheugenlocaties met hexadecimale waarden werden gevuld. De andere optie was assembleertaal die geheugenteuntjes gebruikte voor de bewerkingen en labels voor variabelen en codesecties. Een instructie zoals "ADC B" betekende "voeg de inhoud van register B toe aan register A, met carry." Talen zoals C waren vooralsnog slechts een droom die nog bewaarheid moest worden, maar als je geluk had kon je misschien een BASIC-interpreter te pakken krijgen. Als je programma niet werkte of herschreven moest worden, moest je de EPROM wissen en opnieuw programmeren. Als je eenmaal het definitieve programma had, kon je dat in ROM laten branden. Hoewel zo'n ROM-IC per stuk goedkoper was, kon je die niet meer wissen!

Andere fabrikanten wilden niet achterblijven. Motorola had zijn 6800, MOS Technology de 6502 en National Semiconductor de SC/MP. Enkele voormalige Intel-ontwerpers richtten Zilog op, dat de Z80 aanbood (**figuur 2**), een soort luxe-versie van de 8080. De meeste van deze chips werden gebruikt in de eerste homecomputers, zoals de Sinclair ZX80/81 en Spectrum (Z80), de Commodore 64 (6502-variant) en vele andere. Het SC/MP-project van Elektor uit 1978 is een ander goed voorbeeld [1].

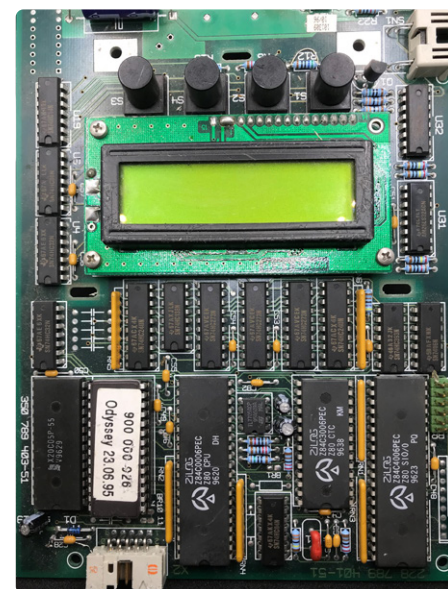
In 1980 introduceerde Intel de 8051. Deze had een kleine hoeveelheid ROM (soms EPROM) en RAM aan boord, maar ook vier 8-bit poorten, een UART en twee teller/timers. Met alles in één apparaat zou je kunnen zeggen dat hier het tijdperk van de microcontrollers is begonnen. En de rest, zoals de dichter zegt, is geschiedenis. De 8051-architectuur wordt nog steeds gebruikt, maar heeft veel meer perifere functies dan zijn voorouders, en maakt een einde aan de bussen en interconnectielogica uit het verleden.

De 8051 en de 68xx-chips van Motorola brachten de rijke en veelzijdige reeks microcontrollers voort die we tegenwoordig kennen en liefhebben: AVR's, PIC's en een groot aantal op Arm gebaseerde typen,

die op hun beurt boards zoals Arduino en Raspberry Pi mogelijk maakten. Intel waagde de gok om de 8085 op te schalen naar de 16-bit 8086, toegepast in de eerste IBM PC XT, en vervolgens de 80286, 80386, 80486 en de Pentiums die nog steeds in PC's worden gebruikt. Opgemerkt moet worden dat op microprocessoren gebaseerde enkelkaartcomputers (SBC's), in plaats van microcontrollers, tot de jaren negentig nog steeds gebruikelijk waren.

Toen de 8080 uitkwam, was ik pas 18 en ik herinner me dat ik erover las in de hobby-elektronictijdschriften van die tijd. Ik had het geluk om aan het begin van mijn carrière aan microprocessor-apparatuur te werken – en dat was best wel opwindend. Mijn werkzaamheden kwamen neer op een beetje programmeren en veel foutzoeken. Ik heb het geluk gehad deze technologie gedurende mijn hele carrière te volgen, en die heeft me altijd gefascineerd. Vergeleken met de huidige microcontrollers waren de oude microprocessoren beslist 'vreemd', maar dat maakte ze niet minder leuk om mee te werken. ◀

230047-03



Figuur 2. Een ander werkpaard van vroege embedded systemen was de Z80 van Zilog. Hier gaat hij vergezeld van een seriële I/O-controller (SIO) en een counter-/timerschakeling (CTC).

WEB LINKS

[1] J. Buiting, "De Elektor SC/MP-computer", Elektor Summer Circuits 2022: <http://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-263/60836>