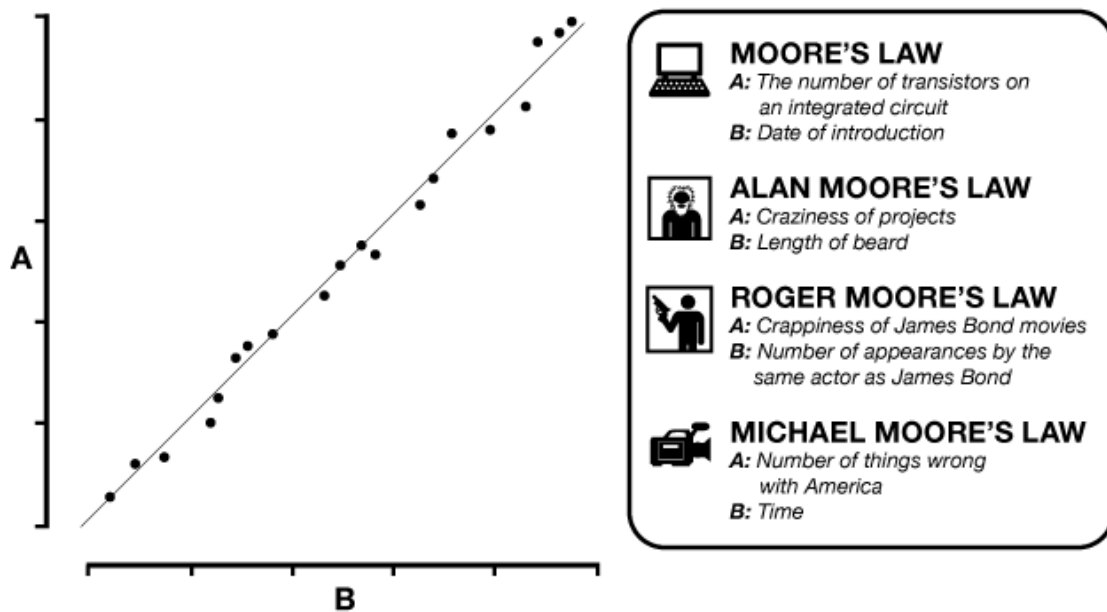


Essay

Is Moore's Law ooit een wet geweest?

OTHER MOORE'S LAWS



Minor Embedded Systems

Nadim Mayar

Jori van Dam

Datum: 21 december 2012

Versie 1.0

Inhoud

1.	Achtergrond.....	1
1.1	Aanleiding.....	1
1.2	Achtergrond.....	2
1.2.1	Waar komt de term Moore's Law vandaan?.....	2
1.2.2	Wat houdt Moore's Law in?.....	2
1.2.3	Waarvoor wordt het gebruikt?.....	3
2	De definities van Moore's law.....	4
3	Conclusie	6
	Literatuurlijst	7

1. Achtergrond

1.1 Aanleiding

Een van de opdrachten van het blok Embedded Systems is om een essay op te leveren met een zelfgekozen onderwerp. Het onderwerp dient wel enige relatie te hebben met Embedded Systems. Ons leek het interessant om te onderzoeken hoe de toekomstige ontwikkelingen van Embedded Systemen eruit zou zien. Echter kwamen we al snel tot de conclusie dat dit een veel te brede en dus onbruikbaar onderwerp is. Naar aanleiding hiervan hebben we besloten om te kijken wat eigenlijk precies effect heeft op hoe Embedded Systemen zich ontwikkelen. Hieruit bleek dat de transistor een onderdeel is die de ontwikkelingen van Embedded Systemen en tevens alle andere computer gerelateerde industrieën sterk beïnvloedt. Wij besloten om te onderzoeken hoe het steeds kleiner worden van de transistor de ontwikkelingen van Embedded Systemen beïnvloedt. Dit hebben we als voorstel aan dhr. Broeders gestuurd. Volgens dhr. Broeders was dit onderwerp te algemeen en een open deur. Het voorstel van dhr. Broeders was om te onderzoeken hoe lang Moore's Law geldig is. Na wat literatuuronderzoek te verrichten kwamen we al snel achter dat bronnen vaak een andere definitie geven aan Moore's Law. Dit deed ons twijfelen aan of Moore's Law wel beschouwd kan worden als een wet. Uiteindelijk hebben we besloten om te onderzoeken of Moore's Law als een wet beschouwd kan worden.

Nadat we voor een onderwerp hadden gekozen, hebben we een stappenplan gemaakt:

1. Literatuur analyseren en verzamelen: Onze keuze voor literatuur hebben we gebaseerd op
 - Relevantie met de gekozen onderwerp. De gekozen literatuur moet informatie geven over het gekozen onderwerp.
 - Soort literatuur. Het is belangrijk om je essay vooral te baseren op wetenschappelijke artikelen, maar andere soort informatiebronnen hoeven niet bij voorbaat al afgewezen te worden. Naast het gebruik maken van informatie uit wetenschappelijke artikelen, hebben we besloten ook gebruik te maken van journalistieke informatie bronnen. Een nadeel van online informatie is, dat het kan veranderen. Het kan zijn dat wanneer je essay af is, de informatie waarnaar je verwezen hebt niet meer op de website staat.
2. Gevonden literatuur lezen en samenvatten: Gevonden informatie kan erg breed zijn, het is belangrijk om relevante informatie te filteren en daar een samenvatting van te maken.
3. Beginnen met het schrijven van het essay: Nadat onze kennis over het onderwerp voldoende was om de vraagstelling te kunnen beantwoorden, begonnen we met het schrijven van het essay.

1.2 Achtergrond

1.2.1 Waar komt de term Moore's Law vandaan?

Moore's law werd in 1965 geïntroduceerd, toen de voormalige Intel topman Gordon Moore een paper[16]. schreef voor Electronics Magazine. In de paper deed Moore een voorspelling die gericht is op hoe elektronica zich in de toekomst ontwikkelt. De paper die Moore schreef heeft veel aandacht gekregen, waarna het vaak werd geciteerd. Alle aandacht die de betreffende paper gekregen heeft, leidde ertoe dat de voorspelling van Moore tegenwoordig bekend staat als Moore's Law.

1.2.2 Wat houdt Moore's Law in?

In de oorspronkelijke paper van Gordon Moore[16] wordt beweerd dat de verhouding van het aantal componenten op een chip en de prijs per component omgekeerd evenredig is. Hoe meer componenten er op een chip geplaatst wordt, hoe goedkoper de chip wordt als we kijken naar de prijs per component. Hier zit echter een grens aan. Steeds meer componenten op een chip plaatsen heeft niet alleen effect op de prijs per component, maar ook op de complexiteit van de chip. Des te meer componenten er geplaatst worden op een chip, des te complexer de chip wordt. Bij een bepaalde complexiteit van de chip zien we een stijging van de prijs per component in plaats van een daling. Moore stelt in zijn paper dat het aantal componenten op een chip waarbij de prijs per component het laagst is, verdubbeld om de 12 maanden. Verder in de paper voorspelt Moore dat deze ontwikkeling voor minstens de volgende 10 jaar standhoudt.

Dit is dus de definitie van Moore's Law volgens de originele paper geschreven door Gordon Moore, echter circuleren er tegenwoordig op het internet diverse bronnen die een andere definitie van Moore's Law hanteren.

Eén van de meest gebruikte definitie van Moore's Law is bijvoorbeeld dat de dichtheid van aantal transistors per vierkante millimeter om de 12/18/24 aantal maanden verdubbeld, het kosten aspect dat Moore in zijn paper naar voren brengt wordt niet in acht genomen. De originele definitie volgens de paper van Gordon Moore wordt nauwelijks meer gebruikt. Op de vraag 'Wat houdt Moore's Law in' kan men dus niet een rechttoe rechtaan antwoord geven. Hier gaan we later in het document verder op in.

1.2.3 Waarvoor wordt het gebruikt?

Over het algemeen kunnen we stellen dat Moore's Law wordt gebruikt om vooruitgang in technologische ontwikkeling te voorspellen. Bedrijven gebruiken Moore's Law als leidraad voor hun toekomstige innovaties. Twee bekende voorbeelden van bedrijven die Moore's Law hanteren bij het ontwikkelproces van hun product zijn ASML[1] en Intel[8]. De huidige Intel Ivy bridge microarchitectuur is volgens Intel het resultaat van het hanteren van Moore's Law[6].

Een andere toepassing van Moore's Law is voorspelling van economische vooruitgang. Zo gebruiken Jovanovic en Rousseau Moore's law in hun paper Moore's Law and Learning By Doing[11].

Door technologische ontwikkelingen en kosten reductie voortkomend uit het hanteren van Moore's Law, worden computers steeds toegankelijker voor eindgebruikers[7]. Verbeteringen die bedrijven voeren als gevolg van het hanteren van Moore's Law zorgt ervoor dat de productiviteit en prestaties van computers steeds verbeterd.

Aangezien er in de loop van de tijd steeds meer verschillende definities van Moore's Law is ontstaan vragen wij ons af of Moore's Law wel wet genoemd mag worden. Om deze vraag te kunnen beantwoorden hebben we een vraagstelling opgesteld die luidt: 'Is Moore's Law ooit een wet geweest?' Met dit essay gaan we deze vraagstelling beantwoorden.

2 De definities van Moore's law

Er bestaat onduidelijkheid over wat de definitie van Moore's law nu eigenlijk is. Het is van belang om te weten wat Moore's law is om de vraag te stellen of Moore's law een wet is. Om deze reden zijn in dit hoofdstuk de woorden van Moore naast die van andere auteurs gezet.

In 1975 gaf Moore een presentatie bij de IEEE International Electron Devices Meeting. In zijn presentatie stelde hij zijn visie bij sinds zijn artikel uit 1965. Hij stelde dat de complexiteit van de meest geavanceerde commerciële chips in de afgelopen 15 jaar was verdubbeld en voorspelde dat het hierna elke 2 jaar zou verdubbelen [13].

Moore heeft niet aangegeven dat zijn voorspelling een wet is, hij heeft een analyse gegeven van de afgelopen jaren en een voorspelling over de komende jaren. Door de jaren heen heeft Moore nieuwe voorspellingen geïntroduceerd en heeft hij oude voorstellingen bijgesteld. Zo schrijft Moore in 1979 in het IEEE Spectrum dat zijn voorspelling uit 1975 een limiet aanduidt in wat de maximale complexiteit van chips in die tijd zou zijn. Het is interessant om te vermelden dat de complexiteit van de chips tussen 1975 en 1979 de voorspelling uit 1975 niet haalden [14].

Door de jaren heen wordt de definitie van Moore's law op verschillende manieren geïnterpreteerd. Dit zal worden bewezen door de volgende voorbeelden.

Gates omschrijft in 1997 Moore's law als de verdubbeling van verwerkingskracht op een chip per 18 maanden[2]. Zelfs oud vicepresident van de Verenigde Staten van Amerika Al Gore beschreef Moore's law in zijn speech als het verdubbelen van computer kracht per 18 maanden[4].

Moore zelf heeft nooit iets gezegd of geschreven over een verdubbeling per 18 maanden, toch is het aantal maanden bij verscheidene interpretaties anders. Wat er precies wordt verdubbeld wordt ook door verschillende mensen op andere manieren geïnterpreteerd. Zo schreef Gordon in 2000 dat volgens Moore de prijs van computerkracht elke 18 maanden halveert en schreef het International Technology Roadmap for Semiconductors in 2001 dat volgens Moore het aantal transistors per chip per 18 maanden zou verdubbelen [3] [10].

Ook de eerder genoemde paper van Jovanovic en Rousseau uit 2002 bevat een foutieve quotatie van Moore. In de eerste zin van de paper beweren Jovanovic en Rousseau dat Moore in 1965 beweerde dat het aantal transistors per IC (Integrated Circuit) elke 18 maanden zou verdubbelen [11].

Kortom, er zijn vele interpretaties van Moore's law. Om de verschillen en overeenkomsten toegankelijk te maken heb zijn de genoemde voorspellingen en interpretaties ontleedt en in de onderstaande tabel gezet.

Auteur	Onderwerp	Tijdsperiode	Actie
Moore (1965)	het aantal componenten op een chip waarbij de prijs per component het laagst is	12 maanden	verdubbelen
Moore (1975)	de complexiteit van de meest geavanceerde commerciële chips	24 maanden	verdubbelen
Moore (1979)	De maximaal haalbare complexiteit van de meest geavanceerde commerciële chips	24 maanden	verdubbelen
Gates (2007)	De verwerkingskracht op een chip	18 maanden	verdubbelen
Gore (1999)	Het verdubbelen van computer kracht	18 maanden	verdubbelen
Gordon (2000)	De prijs van computerkracht	18 maanden	halveren
ITRS (2001)	Het aantal transistors per chip	18 maanden	verdubbelen

Als we de bovenstaande tabel bekijken valt het op dat het onderwerp, tijdsperiode en de actie varieert per auteur. Het sleutelgetal in deze vergelijking lijkt 2 te zijn. Alle auteurs hebben het over het verdubbelen ($X * 2$) of het halveren ($X / 2$) van het door hun beschreven onderwerp. Ook is het opvallend dat naast dat de door ons willekeurig gekozen auteurs de tijdsperiode van Moore's law interpreteren als 18 maanden. In 2003 gaf Moore een presentatie op het International Solid-States Circuits Conference. Moore bevestigd tijdens zijn presentatie dat hij nooit heeft gezegd dat het aantal transistors per 18 maanden zou verdubbelen. David House, die destijds in het bestuur zat van Intel heeft gezegd dat de veranderingen zouden leiden tot een verdubbeling in computer prestaties per 18 maanden. Moore is hier expliciet over tijdens zijn presentatie: "House said 18 months, not me." [12].

3 Conclusie

In hoofdstuk 2 is er een vergelijking gemaakt van de definities van Moore's Law volgens verschillende bronnen. Uit de vergelijking blijkt dat er verschillende interpretaties zijn van Moore's Law. Bijna iedere bron die wij gebruikt hebben lijkt er een eigen draai aan gegeven te hebben.

Om onze vraagstelling te kunnen beantwoorden moeten we eerst weten wat een wet precies inhoudt om vervolgens te kijken of Moore's Law daar aan voldoet. Bij het opzoeken van de definitie van een wet is er gebleken dat men wet in twee categorieën kan plaatsen. Juridische en wetenschappelijke wet. Zover voor ons bekend is nergens ter wereld Moore's Law als een juridische wet geïmplementeerd.

Definitie van wetenschappelijke wet volgens wikipedia.org:

'Wetenschappelijke wetten, ook wel natuurwetten genoemd, die zijn vastgestelde wetmatigheden in bepaalde verschijnselen, die als universeel en onveranderlijk worden beschouwd. Deze wetten kunnen echter verworpen worden als nieuwe feiten het tegendeel bewijzen.'

Zoals eerder gezegd blijkt er dat verschillende interpretaties van Moore's Law bestaan. Ook is er tijdens het onderzoeken niet bij elke definitie bewijs gevonden die de andere definities ontkracht. Uit onze onderzoek blijkt dus dat Moore's Law allerm minst universeel of onveranderlijk is.

Definitie van wetenschappelijke wet volgens van Dale:

'Natuurlijke gang van zaken in de natuur: de wet van de zwaartekracht; de wet van Murphy stelregel die zegt dat iets dat mis kan gaan ook ooit mis zal gaan'

In deze vorm van definitie zou je Moore's Law net zoals Murphy's Law in de categorie stelregel kunnen plaatsen, omdat Moore's Law niet direct gezien kan worden als een natuurlijke gang van zaken in de natuur. Je zou kunnen zeggen dat Moore's Law een wet is om deze reden. De stelregel is echter bij meerdere auteurs anders en de term Moore's Law is nergens met een enkele universele stelregel is geformuleerd.

Definitie van wetenschappelijke wet volgens MijnWoordenboek.nl:

'een regel die op wetenschappelijke wijze een bepaald (natuur)verschijnsel verklaart'

Omdat de regel die het verschijnsel van Moore's Law zou moeten verklaren door meerdere auteurs anders wordt geïnterpreteerd zou je kunnen zeggen dat er geen vaste regel is voor de term Moore's Law. Wat in het geval van deze definitie zou betekenen dat Moore's Law geen wet kan zijn.

Uit de vergelijking van Moore's Law met de bovenstaande drie definities van een wet, kunnen wij niet anders dan concluderen dat Moore's Law niet overeenkomt met deze definities van een wet.

Doordat iedereen Moore's Law ziet als een 'self fulfilling prophecy', betekent het nog niet dat het ook feitelijk een 'self fulfilling prophecy' is. Naar ons mening voldoet het aan de definitie van een 'self fulfilling prophecy', mits men één definitie voor Moore's Law kiest. Met zekerheid vaststellen dat het een 'self fulfilling prophecy' is, kunnen we niet. Er is geen mogelijkheid om dit te bewijzen.

Literatuurlijst

[1]	ASML Holding NV (ASML)	ASML Holding NV (ASML). ASML Introduces Holistic Lithography Solutions to Continue Moore's Law. <i>ASML.com</i> . http://www.asml.com/asml/show.do?lang=en&ctx=5869&rid=38934
[2]	Gates, B.	Gates, B. (1997). Keynote address, May 29, 1996. In O'Reilly & Associates (Ed.), <i>The Internet and Society</i> .
[3]	Gordon, R.J.	Gordon, R.J. (2000). Does the "New Economy" measure up to the great inventions of the past? <i>Journal of Economic Perspectives</i> .)
[4]	Gore, A	Gore, A (1999) Lifelong Learning Summit. http://clinton3.nara.gov/WH/EOP/OVP/speeches/lifelong.html
[5]	Ilka Tuomi	Ilka Tuomi (2002) The Lives and Death of moore's Law. Firstmonday.org http://firstmonday.org/htbin/cgiwrap/bin/ojs/index.php/fm/article/view/1000/921
[6]	Intel	Intel (2011). Standards 22nm 3d tri gate transistors presentation. <i>Intel.nl</i> . http://www.intel.nl/content/www/nl/nl/silicon-innovations/standards-22nm-3d-tri-gate-transistors-presentation.html?wapkw=ivy+bridge
[7]	Intel	Intel (2012). Moore's law technology. <i>Intel.nl</i> . http://www.intel.com/content/www/us/en/silicon-innovations/moores-law-technology.html
[8]	Intel	Intel (2012). Moore's law technology. <i>Intel.nl</i> . http://www.intel.com/technology/timeline.pdf
[9]	Intel	Intel (1995). Lithography and the future of Moore's law. <i>1995 SPIE Speech</i>
[10]	ITRS	ITRS. (2001). International Technology Roadmap for Semiconductors, 2001 Edition, Executive Summary. http://public.itrs.net .
[11]	Jovanovic, B. & Rousseau, P.L.	Jovanovic, B. & Rousseau, P.L. (2002). Moore's Law and Learning-By-Doing. National Bureau of Economic Research. Working Paper 8762, February 2002. http://www.nber.org/papers/w8762
[12]	M. Kanellos	M. Kanellos (2003). Moore's Law to roll on for another decade. <i>Cnet</i> . http://news.cnet.com/2100-1001-984051.html
[13]	Moore, G.E.	Moore, G.E. (1975). Progress in digital integrated electronics. <i>IEEE, International Electron Devices Meeting, IEDM Tech.Digest – 1975</i>
[14]	Moore, G.E.	Moore, G.E. (1979). VLSI: some fundamental challenges. <i>IEEE Spectrum, (April 1979)</i>
[15]	Moore, G.E.	<i>Moore, G.E. (2005) Moore's Law an intel perspective Intel.nl</i> http://download.intel.com/museum/Moores_Law/Video-Transcripts/Moores_Law_An_intel_Perspective.pdf
[16]	Moore, G.E.	Moore, G.E. (1965) Cramming More Components onto Integrated Circuits Intel.nl http://download.intel.com/museum/Moores_Law/Articles-Press_releases/Gordon_Moore_1965_Article.pdf
[17]	S. Furber	S. Furber (2008) Future computer technology bcs.org http://www.bcs.org/upload/pdf/future-computer-technology.pdf
[18]	Tronic	Tronic (2009). De wet van Moore. <i>Infonu.nl</i> . http://electronica.infonu.nl/geschiedenis/30223-de-wet-van-moore.html