

**Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium**

National Aerospace Laboratory NLR



NLR-TP-99206

## **Wat is COTS-technologie?**

COTS elektronica onder extreme omstandigheden

L.J. Aartman



NLR-TP-99206

## **Wat is COTS-Technologie? COTS Elektronica onder extreme omstandigheden**

L.J. Aartman

Dit rapport is gebaseerd op een presentatie gehouden bij het door het 'FHI Het Instrument' georganiseerd seminar "Elektronica in Aerospace & Defence", Utrecht, 5 maart 1999.

The contents of this report may be cited on condition that full credit is given to NLR and the authors.

(H)afdeling: Avionica  
Afgesloten: 3 mei 1999  
Rubricering van de titel: ongerubriceerd



## Afkortingen

ABT	Advanced BiCMOS Technologie
CALCE	Computer Aided Life Cycle Engineering (Electronic Products and Systems Consortium located at the University of Maryland)
CCD	Charge Coupled Device
COTS	Commercial Off The Shelf
DoD	Department of Defense
EIA	Electronic Industries Association
EOL	End Of Life
HAST	Highly Accelerated Stress Testing
HDBK	Handbook
IC	Integrated Circuit
IEEE	Institute (of) Electrical (and) Electronic Engineers
JEDEC	Joint Electronic Devices Engineering Council
MIL-SPEC	Militaire Specificatie
MOTS	Military Off The Shelf Modified Off The Shelf
MTBF	Mean Time Before Failure
NDI	Non-Developmental Item
PEM	Plastic Encapsulated Microcircuit
PMP	Parts Management Program
RAC	Reliability Analysis Center
RADC	Rome Air-force
ROTS	Ruggedized Off The Shelf
RTCA	Rome Air Development Center (nu Rome Laboratory)
SC	Sub Committee
SEE	Single Event Effects
SMD	Surface Mounted Device
TID	Total Ionizing Dose
TTL	Transistor to Transistor Logic
VME	Versabus Module Europe
WG	Working Group

## **Samenvatting**

De Aerospace & Defence industrie bevond zich jarenlang in een uitzonderingspositie door het leveren van speciale producten van hoge kwaliteit op basis van uitgebreide productspecificaties. Dit leidde vaak tot technisch snel verouderde producten tegen te hoge kosten, terwijl er elders in de industrie een technologie-explosie plaatsvond, die leidde tot kwalitatief hoogstaande producten met steeds betere prestaties tegen lagere kosten.

De filosofie van Commercial Off The Shelf (COTS) is gebaseerd op het toepassen van producten en componenten uit het marktsegment waar de technologie-explosie plaatsvindt, maar die niet speciaal ontwikkeld worden voor kritische toepassingen of extreme omgevingsomstandigheden. Door open te staan voor COTS, en af te zien van het verplicht hanteren van MIL-SPECS, moet het mogelijk zijn om in kortere tijd en tegen lagere kosten een technologisch innoverend product in "het veld" of op de markt te zetten.

Het toepassen van COTS technologie is een 'must' voor het behoud van de positie van de Aerospace & Defence industrie, en kan worden gezien als een nieuwe uitdaging, waarin onder andere kennisopbouw en -uitwisseling, creativiteit, samenwerking en standaardisatie een belangrijke rol spelen.

COTS technologie moet immers nog steeds worden toegepast onder de niet veranderde extreme omstandigheden, met behoud van functionaliteit en kwaliteit.



## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	6
1.1	Achtergrond	6
1.2	Definitie COTS	7
1.3	COTS niveaus	8
1.4	Probleemstelling	9
<b>2</b>	<b>Aspecten van COTS</b>	10
2.1	Eisen	10
2.2	Packaging	10
2.3	Bedrijfszekerheid	13
2.4	Verkrijgbaarheid en “Obsolescence”	13
2.5	Open Systemen	15
<b>3</b>	<b>COTS in de luchtvaart</b>	17
<b>4</b>	<b>COTS in de ruimtevaart</b>	19
<b>5</b>	<b>COTS software</b>	21
<b>6</b>	<b>MOTS en ruggedizen</b>	22
<b>7</b>	<b>Instituten en samenwerkingsverbanden</b>	24
<b>8</b>	<b>Slotopmerkingen</b>	26
<b>9</b>	<b>Referenties</b>	28

## 1 Inleiding

### 1.1 Achtergrond

Hoewel er altijd al sprake is geweest van het gebruik van onderdelen “van de plank”, is het onderwerp “Commercial Off The Shelf COTS” pas goed onder de aandacht gekomen tijdens een persconferentie die door de Amerikaanse staatsecretaris van Defensie, William Perry, op 29 juni 1994 werd gegeven.

Perry stelde dat er in militaire programma’s voortaan zal worden uitgegaan van prestatie-standaarden, in plaats van door middel van MIL-SPECs de leveranciers te vertellen hoe ze iets moeten bouwen. Uiteraard zal er in sommige gevallen wel gedetailleerd worden aangegeven hoe het product tot stand moet komen, maar dan zal dit gebaseerd zijn op industriële normen, en niet op MIL-SPECs. Alleen wanneer een industriële standaard niet voorhanden is, of onvoldoende geschikt is, mag worden teruggevallen op een MIL-SPEC, echter alleen nadat hiervoor speciaal toestemming is verkregen.

De redenen hiervoor waren duidelijk: de budgetten voor defensie liepen terug, de gevraagde functionaliteit werd steeds complexer, en de kosten voor het ontwikkelen van deze functies op traditioneel militaire wijze zou enorm kostbaar worden.

Elders in de industrie zakken de prijzen voor producten, terwijl de prestaties door de technologische ontwikkelingen toenemen, een effect dat door concurrentie en andere marktmechanismen wordt versterkt. Als het gaat om unieke ontwikkelingen heeft ook heeft het industriële “Time-To-Market” mechanisme een militaire tegenhanger: het “Time-To-Field” mechanisme. Het contrast tussen de militaire en de industriële markt, zou zonder maatregelen alleen maar groter geworden zijn. Er werd dus gekozen voor een geavanceerde en kosteneffectieve benadering waarin ruimte was voor technische en technologische innovatie door COTS componenten [Anderson]. Daar komt dan bij dat militaire producten vaak een lange levensduur moeten hebben.

Vanaf dat moment leek de wereld voor de defensie industrie op zijn kop gezet te zijn, en dat gold al gauw ook voor een groot deel van de aerospace industrie, waar immers veelvuldig van MIL-SPEC componenten gebruik gemaakt werd. Wat namelijk in het voordeel voor de één werkt, werkt vaak in het nadeel van de ander.

De elektronica-industrie reageerde snel: veel chipfabrikanten stopten hun speciale MIL-SPEC lijnen. Waar deze in 1976 nog zo’n 17% van de wereldmarkt bedroeg, in 1996 nog 1,5% [Morgan] is er nu nog slechts sprake van een aandeel van 0,7% [DY4]. Het aantal MIL-SPEC componenten bedroeg net na Perry’s aankondiging in 1995 nog 75.000, in 1998 waren er naar schatting nog slechts minder dan 20.000 speciale militaire componenten verkrijgbaar. [DY4]

## 1.2 Definitie COTS

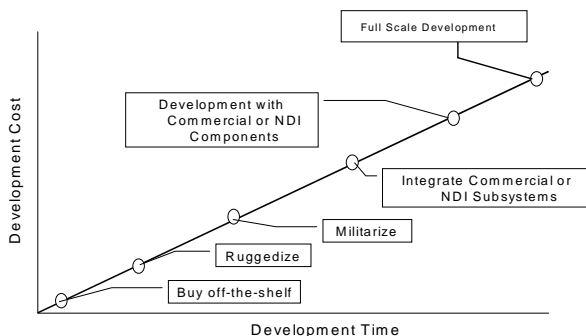
Met de introductie van de term COTS is ook de nodige verwarring ontstaan over wat er precies mee bedoeld wordt. Sommigen doelen op elektronische componenten in een temperatuurbereik van 0 tot 70 graden Celsius, anderen gaan daarin verder, en betrekken het op complete producten en processen.

*De term COTS wordt gehanteerd in het Aerospace en Defence marktsegment en betreft producten (systemen, apparatuur, programmatuur, componenten en onderdelen), processen, methoden en normen, die afkomstig zijn uit het commerciële en/of industriële marktsegment.*

Gemakshalve zal in dit rapport de term COTS of COTS-technologie genoemd worden wanneer het slaat op het totale terrein zoals hierboven gedefinieerd, tenzij het expliciet slaat op een onderdeel ervan, zoals COTS-componenten of een COTS-methode.

COTS heeft betrekking op een concept. Als het specifiek om producten (items) gaat wordt ook wel gesproken over Commercial Items en Non-Developmental Items (NDI).

Commercial items zijn items die niet volgens MIL-SPECs ontwikkeld zijn en in de publieke sector te koop of te leasen zijn. Non-Developmental Items zijn items die wel volgens MIL-SPEC ontwikkeld zijn, en nu in aanmerking komen voor hergebruik, maar geen ontwikkeling meer behoeven. De geschiktheid voor de onderhavige toepassing zal echter wel moeten worden aangetoond.



Figuur 1 Het aanschafbeleid van nieuwe militaire systemen

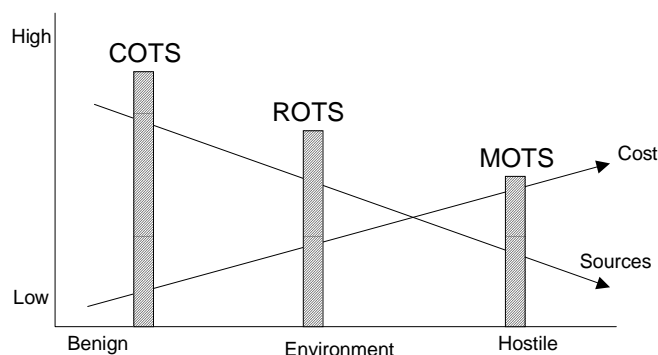
Figuur 1 toont de plaats van de verschillende opties als functie van de ontwikkelkosten en de ontwikkeltijd, en daarmee vaak de risico's voor de opdrachtgever als het gaat om het proces. Gezien vanuit de opdrachtgever scoort COTS voor zowel ontwikkeltijd als kosten het laagst, er vanuitgaande dat is aangetoond dat de COTS voldoet. Wanneer een leverancier moet aantonen dat het product zoals-het-is geschikt is voor de Aerospace & Defence toepassing, zal hij daarvoor natuurlijk wel de bewijzen moeten kunnen overleggen zoals testresultaten. De kosten

van deze testen zijn niet meer zichtbaar voor de opdrachtgever, maar verwerkt in de prijs van het COTS product.

### 1.3 COTS niveaus

Als het gaat om COTS producten wordt er ook wel onderscheid gemaakt in:

- Commerical Off-The-Shelf (COTS)
- Ruggedized Off-The-Shelf (ROTS)
- Military Off-The-Shelf (MOTS).



Figuur 2 De economische schaal van militaire systemen (NDI's)

Figuur 2 toont het verband tussen deze verschillende niveaus als het gaat om aantal leveranciers en prijs tegen de omgevingsomstandigheden waarvoor het ontworpen is. COTS is ontworpen voor vriendelijke ('benign') omgevingsomstandigheden, er zijn veel leveranciers beschikbaar, en de prijs is lager dan ROTs, en zeker dan MOTs. De extra maatregelen die genomen moeten worden om iets ROTs en zelfs MOTs te maken zijn bv. gericht op het functioneren in een groter temperatuurbereik. Om deze reden worden hermetisch gesloten ceramische in plaats van plastic componenten toegepast, en worden voorzieningen getroffen voor betere warmte-distributie en -afvoer. Daarnaast moet worden gedacht aan voorzieningen voor het dempen van vibraties en het voorkomen dat er corrosie ontstaat door indringend vocht of andere agressieve stoffen.

Er kan dus sprake zijn van COTS, wanneer het product, dat niet ontworpen was volgens bv. militaire specificaties zonder meer gebruikt kan worden in de Aerospace en Defence omgeving. Met name deze puur-COTS situatie was aanleiding voor het Amerikaanse DoD om de MIL-SPECS te verlaten, voor omstandigheden waar deze niet-realistisch, en dus eigenlijk niet nodig



waren. Er was vaak sprake van overspecificatie, waardoor producten onnodig duur werden [PUCP-1996, Carbonell-1996].

De afkorting "MOTS" wordt ook wel gebruikt om "Modified Off-The-Shelf" aan te geven, waarbij het COTS item met een beperkte modificatie (zoals het vervangen van een ongeschikt type connector) geschikt gemaakt kan worden voor de Aerospace en Defence toepassing. Een nog uitgebreidere aanpassing van het COTS product voor toepassing onder extreme omgevingsomstandigheden kan bereikt worden door het te 'ruggedizen'. De laatste stap, het volledig in overeenstemming brengen van een COTS product met de MIL-SPECs wordt 'militarizen' genoemd. Zie verder hoofdstuk 6 "MOTS en ruggedizen".

#### **1.4 Probleemstelling**

Het is onmiskenbaar dat COTS vooral betrekking heeft op die zaken waarin elektronica en software een rol spelen. Innoverende technologieën, waarmee complexe functies kunnen worden gerealiseerd voor Aerospace en Defence toepassingen. Toepassingen waar de bedrijfszekerheid vaak van groot belang is [Aartman, 1996], en waar de ondersteuning vanuit militaire programma's nu moet worden overgenomen door industriële ontwikkelingen. Met de introductie van COTS worden veel van deze oude programma's (o.a. de ondersteuning van MIL-HDBK-217) niet langer meer gecontinueerd. Aan alles zitten voor- en nadelen. Ook aan de inzet van COTS: het ligt er maar aan van welke kant je er tegen aan kijkt.

## 2 Aspecten van COTS

### 2.1 Eisen

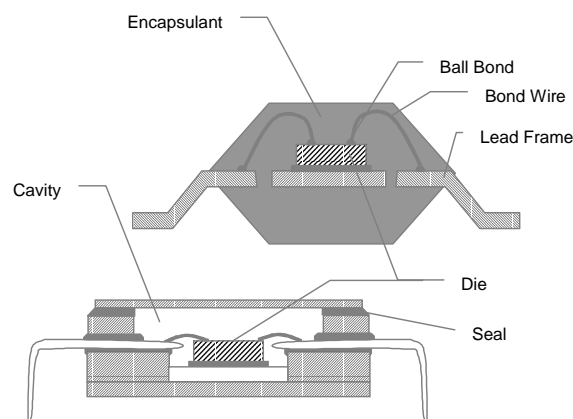
De extreme omstandigheden waaronder bv. een jachtvliegtuig moet opereren zijn van invloed op de elektronica behuizing ('electronics packaging') van de avionica. In het verleden werd voor alle avionica buiten de cockpit een temperatuurbereik van  $-55^{\circ}$  tot  $+125^{\circ}\text{C}$  vereist, zonder rekening te houden met de werkelijke temperatuureisen waaronder de apparatuur moet gaan functioneren.

In de nieuwe werkwijze dienen de eisen flexibel geformuleerd te worden in termen van realistische prestatie karakteristieken, juist om binnen dit flexibele kader COTS te kunnen inzetten vanwege de eerder geschetste voordelen.

### 2.2 Packaging

De stormachtige ontwikkeling van de micro-elektronische technologie is voor een belangrijk deel het gevolg van de plastic packaging technieken voor de behuizing van de chips. Plastic Encapsulated Microcircuits (PEM) zijn commerciële componenten, gebaseerd op plastic behuizingen, die niet hermetisch gesloten zijn. Dit in tegenstelling tot de hermetisch gesloten MIL-componenten.

PEMs zijn beter verkrijgbaar, hebben een lagere massa en een lagere kostprijs. PEMs worden al langer gebruikt in de civiele luchtvaart, maar hoe gedragen ze zich onder de extreme omstandigheden?



Figuur 3 Plastic PEM versus hermetically sealed

Keramisch materiaal of metaal zijn jarenlang de basis geweest voor de hermetisch gesloten behuizing van militaire componenten. De chip (de 'die') bevindt zich in een afgesloten ruimte,

maakt geen contact met de behuizing en is daarmee geïsoleerd van de omgeving. Vocht, verontreinigingen en thermisch geïnduceerde mechanische spanningen zijn niet of nauwelijks van invloed op de werking van de chip. Door deze bescherming geniet dit type component van een hoge bedrijfszekerheid. (zie figuur 3)

De op organisch materiaal gebaseerde plastic behuizing van PEMs staat in direct contact met de chip of met een anorganische grenslaag, maar is in ieder geval niet hermetisch. Plastic is (hoewel in geringe mate en vertragend) vochtdoorlatend, en deze eigenschap kan tot problemen leiden.

De belangrijkste faalmechanismen van PEMs zijn:

- Breuken in de bonding (bv. tussen de draad en de bonding-pad) als gevolg van de verschillende thermische uitzettingscoëfficiënten, en door corrosie van de aansluitdraden en van andere metalen delen door vocht en verontreinigingen.
- “Pop-corning”, een verschijnsel dat zich vooral bij Surface Mount Devices (SMD) voordoet wanneer het vocht dat zich in de behuizing heeft opgehoopt (bv. tijdens de bewaarperiode) plotseling uitzet tijdens het reflow solderen.

Een belangrijke verhoging van de bedrijfszekerheid van de chip zelf kan worden bewerkstelligd door het aanbrengen van bijvoorbeeld een ceramische coating. [RAC-PEM2, 1996]

De PEM zou wel eens de enige behuizing kunnen zijn die uiteindelijk overblijft voor alle Aerospace en Defence componenten.

In de Aerospace en Defence industrie is de overgang van hermetisch gesloten MIL-componenten naar PEMs een belangrijk onderwerp, dat bijzonder veel aandacht krijgt. Er kan pas sprake zijn van een succesvolle toepassing als is vastgesteld dat de PEM ook onder de extreme of in het algemeen onder de gespecificeerde omgevingsomstandigheden bedrijfszeker kan blijven functioneren. Hiertoe wordt planmatig aandacht besteed aan selectie, test, toepassing en aanschaf van componenten waaronder PEMs.

De lagere kostprijs van PEMs gaat alleen op als er geen extra testen op de componenten uitgevoerd hoeven te worden.

Sinds het begin van de jaren 70 zijn er aanzienlijke verbeteringen bereikt in PEMs, waardoor ook de bedrijfszekerheid strek is toegenomen. Verbeteringen zijn er onder andere te zien geweest op het gebied van:

- materialen en hun eigenschappen;
- coatings;
- chip (die) ontwerp;
- fabricage processen en hulpmiddelen;
- test procedures (bv. Highly Accelerated Stress Testing, HAST).

Maar ten opzichte van de hermetisch gesloten MIL-SPEC parts blijven er toch nog een aantal faalmechanismen over, die de bedrijfszekerheid in extreme omgevingsomstandigheden sterk kunnen beïnvloeden.

Hierdoor zijn de gebruikers van PEMs verdeeld in twee kampen: voorstanders en tegenstanders. Maar beiden zijn ze het eens over de volgende twee voorwaarden:

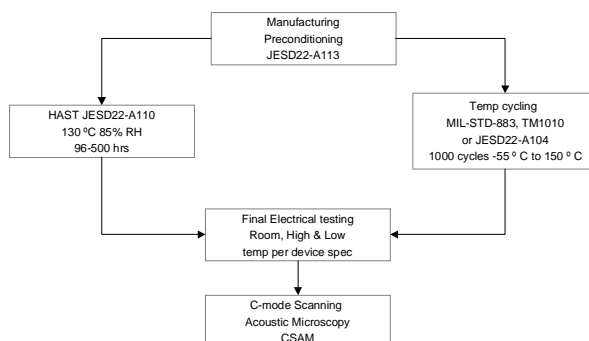
1. gebruik alleen componenten van gekwalificeerde leveranciers (doe zorgvuldig aan “vendor selection”)
2. ken je omgevingsomstandigheden.

In alle omstandigheden blijft de fabrikant van de Aerospace en Defence apparatuur natuurlijk verantwoordelijk voor de component keuze, waarmee hij zich er ook van moet vergewissen dat de PEM onder de gespecificeerde omgevingsomstandigheden bedrijfszeker blijft functioneren.

Hiertoe zijn er, naast de MIL-STD-883 inmiddels een aantal specifieke testen door de EIA JEDEC ontwikkeld voor PEMs. Deze zijn:

- JESD22-A110 Highly-Accelerated Temperature and humidity Stress Test (HAST). Welke en hoeveel fouten doen zich voor tijdens het gebruik van het component bij een temperatuur van 130 °C en bij een relatieve luchtvochtigheid RH van 85%?
- JESD22-A112 Moisture Induced Stress Sensitivity for Plastic Surface Mount Devices
- JESD22-A113 Preconditioning a Plastic Surface Mount Device prior to Reliability Testing. Hierbij wordt het soldeerproces nagebootst voordat de componenten onderworpen worden aan bedrijfszekerheidstesten.

Een deel van deze testen kan worden uitgevoerd als onderdeel van PEM screening en kwalificatie procedures (zie figuur 4). Na afloop van de test moet middels een fouten-analyse de geschiktheid van het component voor de onderhavige toepassing worden vastgesteld.



Figuur 4 PEM Kwalificatie procedure



### 2.3 Bedrijfszekerheid

Los van het feit dat de bedrijfszekerheid van PEMs sterk is verbeterd is het in veel gevallen onontkoombaar om vooraf een uitspraak te doen over de bedrijfszekerheid van het systeem onder de gespecificeerde omstandigheden.

MIL-HDBK-217 was bij uitstek het middel om te komen tot een kwantitatieve indicatie van de bedrijfszekerheid of van de MTBF (Mean-Time-Between-Failure). Componenten met een plastic behuizing kwamen historisch gezien (de laatste versie van MIL-HDBK-217 F stamt alweer uit 1990) slecht uit de bus ten opzichte van de MIL-spec componenten, en het gebruik van de PEM modellen in deze analyse methode leidde tot onrealistische waarden [Hakim, 1998]. Betere modellen voor het modelleren van de bedrijfszekerheid van PEM kunnen worden afgeleid uit de HAST, waarbij het aantal en de aard van de fouten na afloop zorgvuldig geanalyseerd worden. De hieruit af te leiden  $\lambda$ -waarden voor de PEM "failure rate" kunnen weer verwerkt worden in de bedrijfszekerheidsanalyse op hoger niveau.

Inmiddels heeft de DOD Defense Standards Improvement Council besloten om de ondersteuning van MIL-HDBK-217 stop te zetten, en deze te vervangen door een IEEE Reliability Assessment Standard [Hakim, 1998]. De eerste goedgekeurde standaard betreft de IEEE P1332, Standard Reliability Program for the Development and Production of Electronic Systems and Equipment, een handboek voor het gebruik hiervan is in ontwikkeling. Voor de voorspelling van de bedrijfszekerheid is een draft document beschikbaar, de IEEE P1413 "Standard Methodology for Reliability Prediction and Assessment for Electronic Systems and Equipment". Behalve de IEEE spelen commerciële organisaties als het Reliability Analysis Center (RAC) en CALCE [CALCE] een belangrijke rol bij het tot stand komen van deze nieuwe normen.

### 2.4 Verkrijgbaarheid en "Obsolescence"

Vliegtuigen hebben een lange levensduur, vervanging is kostbaar en de budgetten lopen terug. Veel van de toestellen die nu rondvliegen, zullen ook na 2020 nog operationeel zijn. Militaire systemen zijn tot nu toe ontwikkeld voor een levensduur van 20 tot 30 jaar. Het is echter niet ongebruikelijk dat tijdens de levensduur van een vliegtuig avionicasystemen gemoderniseerd worden, de Mid-Life Update van de F16 is daar een voorbeeld van. De technologisch verouderde elektronica wordt dan vervangen door nieuwe geavanceerde systemen die opgebouwd zijn op basis van de laatste inzichten en eisen.

Een ontwikkeling van een nieuw toestel kan wel 8 jaar duren, terwijl er gemiddeld iedere 12 tot 18 maanden een nieuwe processor op de markt komt, een snellere, met nog meer mogelijkheden. [Anderson, 1996]. Ook neemt de levensduur van technologieën af, en in het bijzonder bij geïntegreerde schakelingen. Was de TTL nog goed voor 21 jaar, de Advanced BiCMOS Technologie (ABT) gaat slechts 9 jaar mee.

Dit leidt in de praktijk tot de volgende problemen:

- De elektronische onderdelen zijn al niet meer verkrijgbaar, zelfs al niet meer voordat het toestel in productie gaat;
- Een herontwerp kan in een vroeg stadium al nodig zijn.

Om dit soort problemen het hoofd te kunnen bieden is een “Parts Management Program (PMP)” vereist, dat beschikbaar is vanaf de start van een ontwikkelingsprogramma, en waarbij ook aan de part obsolescence aandacht wordt besteed. Een PMP heeft onder andere tot doel om de methoden vast te leggen om de juiste onderdelen te selecteren, waarmee het systeem bedrijfszeker kan functioneren tijdens de door de klant gevraagde levensduur en onder de gespecificeerde omstandigheden.

De positieve kanten van COTS zijn dat de noodzaak tot een zeer uitgebreide logistieke ondersteuning beperkt kan blijven. Als de apparatuur immers goedkoop en bedrijfszeker is, zullen er slechts een beperkt aantal reserve-onderdelen nodig zijn om het onderhoud veilig te stellen. Het product zal gemoderniseerd zijn voordat de eerste fouten als gevolg van veroudering, slijtage of stress zich aandienen.

Afhankelijk van het contract met de klant, kan het de taak van de leverancier zijn om de continuïteit van de verkrijgbaarheid van de onderdelen te volgen. Hiertoe zal hij ook over een strategie moeten beschikken om het onderhoud over de levensduur te kunnen waarborgen, bijvoorbeeld door in beperkte mate, maar regelmatig, bepaalde delen van het systeem opnieuw te ontwikkelen, gebruik makend van de laatste stand der technologie.

Obsolescence ontstaat wanneer een onderdeel dat voor het onderhoud van een systeem nodig is, niet meer gefabriceerd wordt, omdat er onvoldoende vraag naar is, of om een andere (vaak commercieel economische) reden. Met als gevolg dat het onderdeel niet langer leverbaar is, of dat het binnenkort niet meer leverbaar zal zijn. De oplossingen die vanuit een PMP gecoördineerd worden, kunnen zowel van **management aard**, als van **technische aard** zijn.

Op het gebied van **management** moet gedacht worden aan :

- Preventieve maatregelen, om te voorkomen dat er potentieel niet meer verkrijgbare onderdelen in een nieuwe ontwikkeling gebruikt gaan worden;
- Monitoren van het gebruik van onderdelen die (binnenkort) niet meer verkrijgbaar (zullen) zijn;
- Beoordelen van de behoefte om een voldoende hoeveelheid onderdelen aan te schaffen waarmee het onderhoud gedurende de (rest van de) levenscyclus gegarandeerd kan worden.

In het geval er een voorraad aangeschaft wordt die toereikend is voor het onderhoud tijdens de levensduur van het product, zal er rekening gehouden moeten worden met de opslag-

omstandigheden, zodat er geen faalmechanismen geïntroduceerd worden die het gevolg kunnen zijn van de opslag.

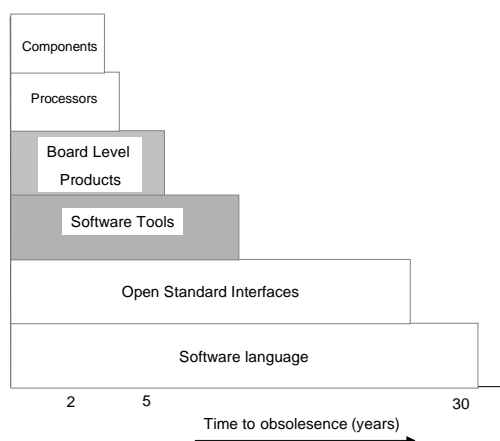
Op het gebied van **technische** maatregelen moet gedacht worden aan vervanging van het onderdeel door een gelijkwaardig onderdeel, emulatie van het onderdeel of herontwerp van het systeem.

Vervanging door een gelijkwaardig onderdeel is in alle gevallen het eenvoudigst en het goedkoopst.

Het is van belang om tijdig van het uitfasen van een component op de hoogte te worden gesteld, middels een zogenaamd: “part/vendor end-of-life (EOL) notification”, zodat tijdig adequate maatregelen genomen kunnen worden.

Een andere mogelijkheid is emulatie, waarbij een directe vervanger voor een niet meer verkrijgbaar onderdeel ontworpen en gefabriceerd wordt. Dit kan door ‘reverse engineering’, door simulatie of door direct gebruik te maken van de beschikbare schema’s en tekeningen.

Herontwerp van het systeem is vaak de duurdere oplossing om met obsolescence om te gaan, waarbij de kosten beperkt kunnen blijven wanneer er tijdens de oorspronkelijke ontwikkeling rekening mee is gehouden dat deze situatie zich zou gaan voordoen. Door voldoende abstractie en functionele decompositie in het ontwerp als richtlijn mee te nemen, kunnen de herontwerp maatregelen mogelijk beperkt blijven. Het Open Systems Initiatief geeft hier richtlijnen voor.



Figuur 5 Obsolescence

## 2.5 Open Systemen

Er bestaan talloze definities voor Open Systemen, meestal sterk afhankelijk van de context. In het geval van bijvoorbeeld avionica architecturen is een open systeem gedefinieerd als zijnde een systeem dat gebaseerd is op publiek beschikbare en algemeen toegankelijke interfaces en

protocollen, wijd verbreid en in detail gepubliceerd. Door in een vroeg stadium van een ontwikkeling voorrang te geven aan systeem specificaties, in plaats van unieke (proprietary) oplossingen, worden de mogelijkheden voor uitbreiding en upgrading verhoogd, en kan de kans op hoge kosten als gevolg van obsolescence van systeemonderdelen beperkt blijven (zie figuur 5). Het is daarom van belang om in een vroeg stadium van de ontwikkeling specifieke eisen te stellen op het gebied van compatibiliteit, onderlinge uitwisselbaarheid, aanpasbaarheid, uitbreidbaarheid, standaardisatie, modulariteit, schaalbaarheid etc. Wanneer met deze aspecten voldoende rekening gehouden wordt tijdens het ontwerp, kan het aantal opties voor het oplossen van een obsolescence probleem worden vergroot. Het doel is om onafhankelijk van een technologie of van een leverancier te worden.

Voorbeelden en resultaten van open systemen zijn data bussen (zoals VME, IEEE-1394) en formaten van printen (VME, PC-104).



### 3 COTS in de luchtvaart

De ontwikkeling en het gebruik van complexe elektronica hardware door de luchtvaartindustrie vereist extra aandacht als het gaat om aspecten van veiligheid en certificatie. Voor de ontwikkeling van software bestaat er al enige tijd de standaardprocedure DO-178 waarin het ontwikkeltraject voor certificeerbare software wordt beschreven [ref. DO178B].

De bedrijfszekerheid en daarmee ook mogelijke aspecten van veiligheid van software wordt grotendeels door de kwaliteit van het ontwikkeltraject bepaald. De bedrijfszekerheid van hardware wordt bepaald door de kans dat een component fysiek faalt. Maar aspecten van veiligheid en certificatie van een complex elektronica product wordt net zo goed als software deels bepaald door de kwaliteit van het ontwikkeltraject van de hardware. De RTCA SC-180/WG46 werkt aan het opstellen van richtlijnen hiervoor, getiteld “Design Assurance Guidance for Airborne Electronic Hardware” [RTCA 189-98]. Hierin worden expliciet de maatregelen beschreven voor het hanteren van COTS elementen. COTS elementen worden immers veelvuldig gebruikt in hardware ontwerpen, maar de COTS ontwerpgegevens zijn typisch niet beschikbaar tijdens de ontwerp reviews. Het is van groot belang dat het gebruik van COTS elementen tijdens het ontwerp proces met een zogenaamd “Electronic Component Management Proces” ondersteund wordt. Dit proces dient gehanteerd te worden bij de aanschaf van COTS elektronica componenten en andersoortige onderdelen, en behelst naast commerciële ook technische aspecten. Alleen deze laatste zijn echter van invloed op de certificeerbaarheid van de vliegtuigfunctie.

Er kan pas sprake zijn van een basis voor certificatie als:

1. De fabrikant van het COTS onderdeel een zogenaamde “track record” van de productie van onderdelen van goede kwaliteit kan overleggen.
2. Er bij de fabrikant van het COTS-onderdeel adequate kwaliteitsborgingprocedures gehanteerd worden.
3. Een bewijs overlegd kan worden dat het onderdeel tot nu toe naar tevredenheid is gebruikt.
4. Het component of onderdeel door de fabrikant gekwalificeerd is door middel van extra testen, waarmee de bedrijfszekerheid kan worden aangetoond.
5. De fabrikant kan aantonen dat hij de kwaliteit van het component of onderdeel voldoende beheerst, of dat dit door middel van extra testen kan worden gewaarborgd.
6. De componenten of onderdelen geselecteerd zijn op grond van hun technische geschiktheid voor de onderhavige toepassing, waarbij rekening is gehouden met het temperatuurbereik, spannings- of vermogenswaarde, of dat de geschiktheid op deze kenmerken door middel van extra testen in voldoende mate kan worden aangetoond.
7. Er sprake is van het volgen (registreren/vastleggen) van de prestaties en de bedrijfszekerheid van het component of onderdeel op regelmatige basis, waarbij de resultaten die voor verbetering vatbaar zijn worden teruggekoppeld naar de fabrikant.

Tijdens de levensduur van het product kan het voorkomen dat een COTS-onderdeel niet langer verkrijgbaar is (obsolescence). Wanneer zoiets optreedt moet er een grondige analyse van de invloed op het product worden uitgevoerd, waarbij het resultaat zou kunnen zijn dat één of meer van de oorspronkelijke activiteiten in het ontwerpproces herhaald moet worden.

Hoewel de RTCA geen specifieke richtlijnen voorschrijft voor het verkrijgen (inkopen) van COTS-onderdelen, wordt wel met klem gewezen op de noodzaak van voldoende terugkoppeling vanuit het inkoopproces om kwaliteitsborging te garanderen.

In het bijzonder moet er gelet worden op:

1. de feitelijke aanwezigheid van de eerder genoemde “COTS design assurance” gegevens;
2. variaties in component parameters. Deze kunnen niet altijd door extra testen ontdekt worden, bijvoorbeeld wanneer deze variaties een eigenschap zijn van een specifieke productiebatch.

Al deze activiteiten dienen te worden uitgevoerd als onderdeel van het ontwikkeltraject dat doorlopen moet worden om tot certificeerbare elektronica te komen. Naast richtlijnen voor het omgaan met COTS, doet RTCA ook aanbevelingen over de wijze waarop reeds eerder ontworpen delen opgenomen kunnen worden in het productontwerp. Hoewel het gebruik hiervan lijkt op het gebruik van COTS-onderdelen, kunnen hier ook aspecten van ontwerp-hulpmiddelen, installatiewijzigingen en configuratiebeheer een rol spelen.

#### 4 COTS in de ruimtevaart

Het gebruik van elektronica in de ruimtevaart wordt al sinds jaar en dag gekenmerkt door de extreme omgevingsomstandigheden, en dan gaat het hierbij in het bijzonder om het vacuüm, de straling en de extreme temperaturen die ver in het heelal heersen. Daarnaast gaat het altijd om kleine aantallen componenten, veelal stralingshard (rad-hard), waarbij de technologie die van de rad-hard fabricage lijnen komt niet zelden 1 a 2 generaties oud is [Barnes, 1998]. Ook in de ruimtevaart is veel interesse om de COTS filosofie te volgen, maar een groot technisch probleem is de stralingshardheid. De stralingseffecten die bij het gebruik van micro elektronica optreden kunnen worden onderscheiden in:

- Total Ionizing Dose (TID), veroorzaakt door protonen, elektronen en gammastraling. Hierdoor kunnen allerlei soorten fouten (zoals treshold shifts, lekstromen en timing skews) ontstaan in met name digitale circuits van silicium.
- Single Event Effects (SEE), straling afkomstig van hoog energetische zware ionen en protonen, waartegen nagenoeg niet af te schermen is, leiden tot blijvende of tijdelijke schade door zogenaamde Transient effecten. Detectie van een stroomtoename, uitschakelen van de schakeling en opnieuw opstarten is de beste remedie.
- Displacement damage, stralingsschade die de elektrische en optische eigenschappen negatief beïnvloedt en die ontstaat door protonen en neutronen. Kan optreden bij CCD's, opto-couplers en zonnecellen. Afscherming kan hier voor een deel bescherming tegen bieden.

In de ruimtevaart is de bedrijfszekerheid van bijzonder belang omdat de mogelijkheden van reparatie of vervanging meestal beperkt zijn, maar ook hier geldt dat de bedrijfszekerheid van COTS componenten niet of nauwelijks bekend is. En gezien de kleine aantallen waarom het gaat, kan de ruimtevaart industrie die COTS componenten wil toepassen steeds minder invloed uitoefenen op de leveranciers van COTS componenten.

Het gevolg is dat de COTS componenten op hun gevoeligheid voor straling moeten worden getest en dat extra maatregelen nodig zijn om de (steeds kleiner wordende) elektronica te beschermen.

Om al deze problemen het hoofd te bieden beschikt de ruimtevaart sector over de volgende mogelijkheden:

- Onderlinge samenwerking en samenwerking met leveranciers om informatie over stralingsgevoeligheid en over bedrijfszekerheid te verzamelen en uit te wisselen.
- Audit leveranciers en hun programma's om inzicht te verwerven in het fabricage proces van de componenten;



- Herzien van ‘verouderde’ eisen, specificaties en test technieken, om ervoor te zorgen dat deze beter aansluiten op wat COTS kan bieden;
- Ontwikkel en evalueer ontwerptechnieken om COTS te kunnen toepassen, bv. latchup protectie, shielding technieken en speciale sprays.
- Instandhouding van een aantal specifieke rad-hard productielijnen en test faciliteiten voor de verificatie van de stralingsgevoeligheid van (COTS) componenten.

## 5 COTS software

In het algemeen verschillen de Aerospace en Defence, en de algemene COTS software toepassingen zodanig van elkaar dat er veelal sprake zal zijn van andere unieke functies, vooral als het gaat om embedded systemen, zoals bijvoorbeeld voor de besturing van wapensystemen.

Wel kan echter gebruik gemaakt worden van commerciële standaards, zoals programmeertalen, besturingssystemen en applicatie programma interfaces.

Het gebruik van ADA is voor militaire toepassingen verplicht als het gaat om nieuwe toepassingen of upgrades van bestaande toepassingen waar meer dan 30% van de code gewijzigd wordt.

Maar ADA is niet alleen rozengeur en maneschijn, er zijn problemen met:

- De beschikbaarheid en de prijs van ADA compilers en andere ontwikkelhulpmiddelen (kan wel oplopen tot 10 x de prijs van commerciële producten)
- De ondersteuning van een nieuw type processor, die soms wel een jaar op zich laat wachten
- De beschikbaarheid van goede ADA-programmeurs.

Met het COTS en Best-Commercial-Practices initiatief is een eind gekomen aan de specifieke militaire software omgevingen zoals JOVIAL, en de vraag rijst hoe lang ook de ADA-eis stand houdt.

In toenemende mate worden met succes C en C++ toegepast, programmeertalen die niet onderhevig zijn aan de eerdere genoemde beperkingen van ADA vanwege de brede acceptatie elders in de industrie. De tijd lijkt niet ver weg meer dat ook Windows CE en embedded JAVA in Aerospace en Defence systemen zullen worden toegepast.

Bedrijfszekerheid van de software wordt grotendeels bepaald door de kwaliteit van het ontwikkeltraject. Software testen is erg kostbaar en de commerciële belangen van niet goed functionerende COTS programmatuur kunnen voor de industrie net zo catastrofaal zijn als niet goed functionerende software in een vliegtuig. Met andere woorden, ook de eigenschappen van de COTS software zal door de leverancier aangetoond moeten kunnen worden.

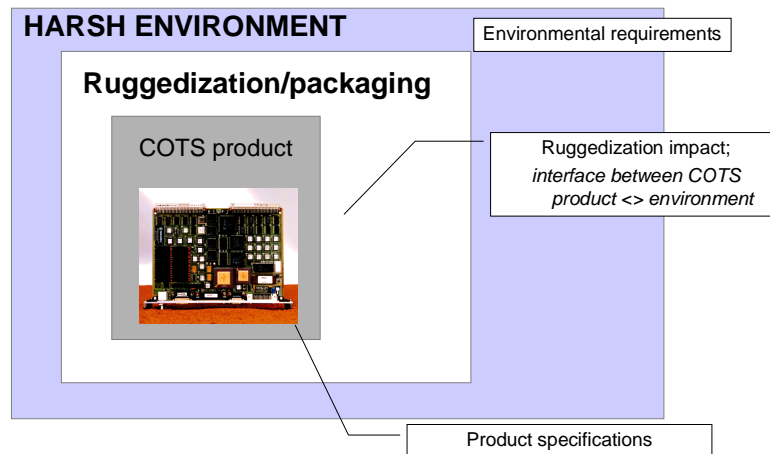
Als het gaat om vliegkritische toepassingen zal moeten kunnen worden aangetoond dat de software:

- eerder ontwikkeld is geweest volgens bepaalde standaarden (zoals RTCA DO178B);
- eerder door een derde partij gecertificeerd is;
- door een “reverse engineering” programma als geschikt kan worden beschouwd om te voldoen aan de veiligheidseisen;
- op grond van de ervaringen met het gebruik als veilig mag worden beschouwd.

## 6 MOTS en ruggedizen

De afkorting MOTS wordt zowel voor Military als voor Modified Off The Shelf gebruikt. Coatings zijn van oudsher een manier om gevoelige elektronica te beschermen tegen de extreme opstandigheden (zie figuur 6). Coatings kunnen namelijk de eigenschappen van een elektronica product op een aantal terreinen beïnvloeden. Onderstaande tabel geeft een aantal omgevingsomstandigheden en het effect van ruggedizing-maatregelen op de elektronica.

Omgevingsbeïnvloeding	Ruggedizing maatregel
Vocht	Voorkomen van vochtopname/absorptie
Temperatuur(schok)	Verlaging van thermische weerstand
Mechanische trillingen/schokken	Mechanische demping, aanbrengen van stijfheid, voorkomen van resonanties
Verontreiniging	Bescherming tegen beïnvloeding door oplosmiddelen
Elektromagnetische straling	Afscherming



Figuur 6 COTS in Harsh environments

Er zijn verschillende methoden op de markt om elektronica producten te beschermen, bijvoorbeeld

- inpakken en afschermen van de omgeving, een oplossing die nogal wat ruimte en gewicht vraagt, maar bijvoorbeeld heel goed op schepen kan worden toegepast;
- aanbrengen van thermal frames, waarmee zowel de thermische als mechanische eigenschappen beïnvloed worden;



- coatings, traditionele bescherming van printkaarten tegen vocht en corrosie;
  - polymeren, die een 'geavanceerde' bescherming kunnen bieden, waarbij de eigenschappen gelijktijdig meerdere ruggedizing maatregelen (bv. conform bovenstaande tabel) opleveren.
- Met name de laatstgenoemde technieken zijn veelbelovend, en kunnen COTS componenten upgraden in de richting van MIL-specs.



## 7 Instituten en samenwerkingsverbanden

Kennis van de eigenschappen van COTS technologie en producten, en een goed begrip van de (omgevings)eisen waaronder het product moet functioneren zijn onontbeerlijk om de toepasbaarheid te kunnen beoordelen.

Om te voorkomen dat het wiel telkens opnieuw moet worden uitgevonden, is samenwerking op zogenaamde pre-competitive terreinen een optie, waarbij de samenwerkende partners van elkaar kunnen profiteren, zonder elkaar te beconcurreren. Voorbeelden hiervan treft men aan in de automotive, telecommunicatie en in de avionica industrie, waarbij men elkaar informeert over de ervaringen op het gebied van de elektronische technologie die men toepast om producten te realiseren. Voorbeelden van dit soort samenwerkingsverbanden zijn onder andere Stack, CALCE, Pure en Success. Deze initiatieven zijn ook voortgekomen uit het feit dat IC-fabrikanten vooral grote aantallen componenten produceren voor de consumentenelektronica (computers, communicatie en spelletjes). Individuele elektronica producenten in de Aerospace en Defence kunnen nauwelijks (economische) invloed of druk uitoefenen op deze IC-fabrikanten, maar door samenwerking en zelfs door inkoopactiviteiten te combineren (een 'virtuele klant'), kan de positie van de individuele avionica producent versterkt worden.

Stack International is een internationaal samenwerkingsverband van onafhankelijke elektronica producenten, die hun ervaringen en kennis met elkaar uitwisselen, en actief met elkaar en met hun toeleveranciers samenwerken op pre-competitief terrein, teneinde de kosten en risico's van het toepassen van componenten te beperken. Vanuit de Stack organisatie is een generieke specificatie voor componenten tot stand gekomen. Wanneer deze specificatie door de producent van elektronica componenten wordt toegepast, geeft dit de gebruiker voldoende inzicht in de eigenschappen van het component, om de toepasbaarheid voor de onderhavige Aerospace en Defence applicatie te kunnen beoordelen.

Vanuit Stack worden activiteiten gecoördineerd op het gebied van communicatie met de IC-fabrikanten, standaardisatie en wordt informatie over obsolescence met elkaar uitgewisseld.

CALCE is een internationaal (maar voornamelijk Amerikaans) consortium van bedrijven en instellingen dat informatie en diensten aanbiedt aan haar leden. CALCE richt zich op ontwerpen fabricagemethoden, simulatie technieken, het maken van modellen, het opstellen van richtlijnen en het verstrekken van overige informatie op het gebied van de elektronische technologie, en in het bijzonder die waar extreme omstandigheden een rol spelen. Een belangrijke activiteit binnen CALCE is het onderzoek naar de zogenaamde "Physics of Failure" mechanismen, waarvoor men onder andere software producten kan leveren om de (thermisch/mechanische) stress in electronica behuizingen, printkaarten en hybride schakelingen te analyseren [ref. CALCE].





Het Reliability Analysis Center (RAC) is een onderdeel van het Amerikaanse DoD Information Analysis Center en wordt beheerd door het Rome Laboratory (voorheen het RADC). Het RAC verzamelt, analyseert en distribueert informatie op het gebied van de bedrijfszekerheid, onderhoudbaarheid en kwaliteit van commerciële en militaire systemen en producten, alsmede van de componenten die hierin worden toegepast. Het RAC geeft een groot aantal handboeken uit die een belangrijke informatiebron vormen voor de beoordeling van COTS onder extreme omstandigheden.

## 8 Slotopmerkingen

De toepassing van COTS technologie in de Aerospace en Defence industrie is realiteit. Hoewel de civiele luchtvaart al langer in staat was COTS technologie toe te passen, kon men in veel gevallen terugvallen op MIL-SPECs waar COTS componenten niet voldeden. Het toepassen van COTS technologie is nu echter een 'must' voor het behoud van de positie van de Aerospace & Defence industrie.

COTS technologie kent twee kanten, die van de Aerospace en Defence eindgebruiker en die van de industrie. De eindgebruiker mikt op een geavanceerd product tegen een lage kostprijs, net zoals hij elders in de industrie kan verwachten. Ook wil de eindgebruiker niet langer financieel verantwoordelijk zijn voor risicovolle ontwikkelingsprogramma's, die door een (soms onoverzichtelijke) veelvoud aan eisen gedreven worden. Prestatie-eisen en functionaliteit zijn maatgevend, en de ontwikkelingsrisico's komen te liggen bij de industrie.

COTS technologie moet worden toegepast onder de niet veranderde extreme omstandigheden, met behoud van functionaliteit en kwaliteit. De Aerospace en Defence industrie zal zich bewust moeten zijn van de mogelijkheden en beperkingen van COTS technologie, waarbij toepassing van COTS technologie niet per definitie goedkoper hoeft te zijn. Het kan wel eens de enige oplossing zijn om het product te kunnen realiseren.

Extra kwalificaties en inspecties van fabricagelijnen van onderaannemers of toeleveranciers kunnen nodig zijn om de toepassing van COTS technologie te rechtvaardigen. Kennis van de eigenschappen van het COTS product en een goed begrip van de (omgevings)eisen waaronder het product moet functioneren zijn onontbeerlijk om de toepasbaarheid te kunnen beoordelen. Wanneer de eigenschappen en de omstandigheden niet bij elkaar passen kan bescherming door extra coating, aangepaste behuizing of beperkte aanpassing van het COTS product anderszins een oplossing zijn. Andere aspecten die een belangrijke rol spelen zijn de wijze waarop met het probleem van obsolescence wordt omgegaan, wat onder andere beïnvloed wordt door de mate van 'openheid' van het product (Open Systemen).

Om te voorkomen dat het wiel telkens opnieuw moet worden uitgevonden, zijn er verschillende samenwerkingsverbanden ontstaan. Door samen te werken op zogenaamde pre-competitive terreinen kunnen alle samenwerkende partners van elkaar profiteren, zonder elkaar te beconcurreren. Voorbeelden hiervan treft men aan in de automotive, telecommunicatie en in de avionica industrie, waarbij men elkaar informeert over de ervaringen op het gebied van de elektronische technologie die men toepast om producten te realiseren. Voorbeelden van dit soort samenwerkingsverbanden zijn onder andere Stack, CALCE, Pure en Success.



Toepassen van COTS technologie onder extreme omstandigheden kan gezien worden als een uitdaging, waarin onder andere kennisopbouw en -uitwisseling, creativiteit, samenwerking en standaardisatie een belangrijke rol spelen.

Op die manier zullen plastic componenten en off-the-shelf modules, communicatie standaarden uit de entertainment sector en software producten als Windows CE de bestanddelen vormen van bijvoorbeeld de toekomstige generaties low-cost avionica die door de Aerospace en Defence industrie op de markt gebracht kunnen worden.



## 9 Referenties

[Aartman, 1996], Aartman, L.J., “*Het ontwikkelen van bedrijfszekere Avionica*”, Bijdrage aan de themadag “Kwaliteit in de tijd, het ontwikkelen van bedrijfszekere avionica”, CME, Ede, 30 november 1995, NLR Technische Publikatie TP 96019.

[Anderson, 1996] Anderson, L, Stevens, R., “*COTS Join the Military*”, Symposium on Advanced Architectures for Aerospace Mission Systems”, Istanbul, Turkey, 14-17 October, 1996, AGARD CP-581.

[Barnes, 1998] Dr. Chuck Barnes, “*Radiation Hardness Assurance Issues Associated with Usage of COTS in JPL Flight Systems*”, Jet Propulsion Laboratory, Proceedings 1998 Military/Aerospace COTS Conference, August 26-28, 1998, Albuquerque, New Mexico, USA.

[Carbonell-1996] Juan Carbonell, John Ostgaard, WL/AASE, Wright Patterson Air Force Base, Ohio, USA, “*Impact of COTS on Military Avionics Architectures*”, Symposium on Advanced Architectures for Aerospace Mission Systems”, Istanbul, Turkey, 14-17 October 1996, AGARD CP-581.

[CALCE] CALCE Electronic Products and Systems Consortium, University of Maryland, College Park, Maryland 20742 phone: (301) 405-5323 fax: (301) 314-9269 web site: <http://www.calce.umd.edu>.

[DO178B], RTCA/DO178B, “*Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification*”.

[Hakim, 1998] Edward B. Hakim, “*Do we need a PEM reliability model?*”, Proceedings 1998 Military/Aerospace COTS Conference, p. 261-266, August 26-28, 1998, Albuquerque, New Mexico, USA.

[Morgan-1996] Morgan, D.Reed, “*The Future of Avionics Architectures*”, Symposium on Advanced Architectures for Aerospace Mission Systems”, Istanbul, Turkey, 14-17 October, 1996, AGARD CP-581.

[PUCP, 1996] John Farrell, David Nicholls, K. Denson, Preston MacDiamid, “*Processes for Using Commercial Parts in Military Applications*”, Reliability Analysis Center RAC, November 1996.



[RAC-PEM2, 1996] William Denson, John Farrell, David Nicholls, “Reliable Application of Plastic Encapsulated Microcircuits”, Reliability Analysis Center RAC, January 1996.

[RTCA-189-98], RTCA 189-98, “Design Assurance Guidance for Airborne Electronic Hardware”, working draft #15, 22/09/1998, RTCA paper #189-98/SC180-094.

[Shields, 1998] Shields, Cameron, “A Practical Approach to COTS – Component Selection, Qualification, Procurement and Use”, DY4 Systems, Inc., Proceedings 1998 Military/Aerospace COTS Conference, August 26-28, 1998, Albuquerque, New Mexico, USA.