CAM Programmeren voor dummies

"Licht in de duisternis van programmatuurontwikkeling voor CAMS en smartcards"

Versie 4.0

Inhoudsopgave

1. Inleiding

Ontvangst via een schotel en receiver was vier maanden geleden nog geheel nieuw voor mij. De eerste maanden ben ik bezig geweest met mijn decoder, een Manhattan Mx met geïntegreerde Matrix Reloaded CAM. Geweldig op gang geholpen door mijn leverancier kon ik al snel wat spelen met emulaties en titanium en fun kaarten.

Ik liep natuurlijk net als iedereen regelmatig tegen het merkwaardige fenomeen aan dat schermen zomaar ineens volledig zwart werden. De sleuteltjes tot de oplossing van dit probleem bleken vaak wel beschikbaar. Of deze echter tezamen met eventuele andere vereiste aanpassingen ook in emulaties of kaarten beschikbaar kwamen, bleek kennelijk een overwegend commerciële afweging te zijn. Voor de nodige euri kon de opvolger van een CAM of kaart worden aangeschaft omdat updates voor de voorganger niet meer verschenen. Terwijl het mij nooit echt duidelijk is geworden wat er in technologisch opzicht nou daadwerkelijk was verbeterd aan de opvolger.

De voor het ontwikkelen van een emulatie benodigde kennis lijkt schaars en voor zover ik kan zien wordt deze bewust schaars gehouden. Dit feit draagt natuurlijk ook niet bij aan het ontworstelen aan de wurggreep van de leveranciers. Terwijl zij zonder deze gedwongen verkoop veel meer gestimuleerd zouden worden tot het produceren van daadwerkelijk snellere en betere hardware met meer mogelijkheden.

Het lijkt mij een goede zaak dat meer mensen zich bezighouden met de ontwikkeling van software voor CAMS en kaarten. Natuurlijk schuilt hier het risico in van ondeugdelijke emulaties en smakeloze grappen, maar het voordeel van de onafhankelijkheid van producenten lijkt mij hier tegenop te wegen. Open source heeft zich uiteindelijk ook op andere vlakken bewezen. Bovendien zouden maatregelen mogelijk zijn zoals een “certificering” van een emulatie door een partij als sat4all.

Ik heb me daarom voorgenomen deze materie te onderzoeken en te kijken of ik enerzijds zelf tot een emulatie zou kunnen komen en anderzijds gaandeweg mijn bevindingen in een soort van tutorial zou kunnen vastleggen. Dit laatste in de hoop ook anderen te stimuleren zich meer in deze materie te verdiepen. Door de bevindingen gaandeweg te publiceren, hoop ik op terugkoppeling van anderen die verder gevorderd zijn dan ik, zodat ik dit weer in dit document kan verwerken. Hiermee kan het een document van ons allemaal worden.

Mijn persoonlijke achtergrond ligt weliswaar in software-ontwikkeling, maar dan voor financieel administratieve systemen. Navraag leerde mij dat de software voor CAM’s in de programmeertaal C en/of assembly kon worden geschreven. Nu heb ik in een grijs verleden wel eens een jaartje C geprogrammeerd en mijn kennis van assembly is puur theoretisch, maar ik heb wel het gevoel dat ik dit met de nodige studie zou moeten kunnen leren. Ik heb voor mijzelf een werkplan gemaakt dat mij de volgende kennis zou moeten opleveren:

- Algemene kennis van (gecodeerde) satelliet uitzendingen
- Algemene kennis van de werking van CAMS en kaarten
- Programmeerkennis van C en/of assembly
- Gedetailleerde kennis van een specifieke CAM
- Gedetailleerde kennis van minimaal één van de bekende coderingen (seca, conax, etc.)

Met deze kennis zou men uiteindelijk toch in staat moeten zijn om software voor een CAM te ontwikkelen.

Om deze kennis te verkrijgen bestudeer ik de nodige documenten en websites en val ik medemensen lastig. Wat ik daarvan begrijp en waarvan ik denk dat het zinvol is voor de doelstelling, neem ik in dit document op. Daarbij neem ik zoveel mogelijk verwijzingen op naar de sites met de achtergrondinformatie. Informatie die mij ook interessant lijkt, maar die niet direct vereist lijkt voor de doelstelling, neem ik op in appendices.

Het document komt dus in stappen tot stand en bij iedere afronding van een fase, of na het verkrijgen van input voor correcties zal een nieuwe versie worden gemaakt. De x.0 (punt nul) versie zal altijd het document zijn met de eerste poging tot het verstrekken van nieuwe informatie. In documenten met een hoger subnummer zullen fouten zijn gecorrigeerd of aangedragen verbeteringen zijn aangebracht.

Of het document ooit klaar en volledig zal zijn? Geen idee. Zal het gewenste effect worden bereikt? Geen idee. Maar het is in ieder geval wel leuk om eraan te werken!

Hermanator
3 oktober 2004

Met dank aan: Duwgati, Pic-o-matic, MiLo, Ozzo, EnEmA, John43, Avensis, mr ed, Cammy en anderen.

Speciale dank aan: Bommeltje, Wildcard, Ricow en Zilverster.

2. Een globaal overzicht

2.1 MPEG-2

Een uitzending waarnaar je via de schotel kijkt is eigenlijk een **MPEG-2** bestand zoals ook de talloze filmpjes waarmee we elkaar bestoken in de mail. Het bestand wordt in dat geval uit je mail gehaald en opgeslagen op je harddisk waarna het met bijvoorbeeld de Mediaplayer van Windows wordt afgespeeld. Een gesimplificeerde voorstelling is dat nu dit bestand als "**datastream**" wordt verzonden vanaf de satelliet. De satellietontvanger speelt deze datastream direct tijdens het ontvangen al af op de televisie. Deze datastream kun je zien als een lange reeks bytes van het oorspronkelijke MPEG-2 bestand, netjes gegroepeerd in **packets,** met hierin toegevoegde controle-informatie om een correcte ontvangst te garanderen.

De werkelijkheid is vanzelfsprekend iets complexer. Een satelliet bestaat bijvoorbeeld uit verschillende transponders die meerdere transportstreams kunnen uitzenden met daarbinnen meerdere substreams (**PES, Packetized Elementary Stream**, geïdentificeerd met een PID nummer: de programma's, teletekst, EPG, etc.). De programma's kunnen weer over meerdere satellieten zijn gegroepeerd in een boeket, waarop men zich kan abonneren. Binnen een PES worden tussen de packets met de daadwerkelijke informatie (beeld, geluid, etc.) ook packets met besturingsgegevens tussengevoegd. Hierin bevinden zich gegevens over het uitgezonden programma, de codering, abonnementen, etc. De ontvanger filtert deze berichten uit de datastream voor verdere verwerking. Wat meer achtergrondinformatie hierover vinden we in Appendix 1.

2.2 Scrambling

Onder andere om ervoor te zorgen dat alleen "bevoegden" de uitzending kunnen zien, wordt de datastream **scrambled** (gecodeerd) verzonden. Dit uitzenden van MPEG-2 via de satelliet en de scrambling hiervan is in Europa gestandaardiseerd in de **DVB-s** specificaties (**Digital Video Broadcast via Satelliet**). De scrambling zelf vindt plaats met het gestandaardiseerde DVB Common Scrambling Algorithm (**CSA**).

Deze CSA scrambling voorziet in codering met het zogenaamde **controlword**. Aan de hand van dit controlword wordt een algoritmische bewerking op de datastream uitgevoerd, waardoor dit een onherkenbare reeks tekens wordt. In de ontvanger kan, mits dit controlword bekend is, via de omgekeerde bewerking de datastream weer worden omgezet naar een herkenbare MPEG-2 datastream. De ontvanger kan deze dan, feitelijk net als de Windows Mediaplayer, op de televisie laten zien.

2.3 ECM Entitlement Control Message

Het controlword wordt om de 2 tot 10 seconden vervangen (door een random controlword generator bij het uitzenden) om de beveiliging te verhogen. Alleen met het juiste controlword, op het juiste moment heb je dus (gedurende 2-10 seconden) beeld. Je ontvanger moet dus ook met diezelfde frequentie worden voorzien van het nieuwe controlword, om continu beeld te kunnen tonen. De controlwords worden hiertoe in de datastream in een speciaal soort berichten (in aparte packets) tussengevoegd: de **ECM** (**Entitlement Control Message**). Deze ECM's worden uit de datastream gefilterd en apart behandeld. Het controlword wordt uit een ECM bericht gehaald en hiermee kan weer een stukje van de datastream worden ontcijferd en op de televisie worden getoond. Tot het volgende ECM bericht wordt ontvangen met een nieuw controlword. Ook andere, op dit moment voor ons begrip nog niet relevante informatie over de uitzending wordt met ECM berichten verzonden.

2.4 Encryptie / Keys

Nu gaat het er om wie de controlwords uit de ECM's kunnen en mogen halen. Hier komen de coderingen **Seca, Conax, Irdeto**, etc. om de hoek kijken. Op het ECM bericht wordt bij een "beschermde" uitzending namelijk een **encryptie** losgelaten van de soort codering waarvoor de provider heeft gekozen. Alleen als een ontvanger in staat is het ECM bericht te decrypten, kan het controlword worden verkregen en kan de datastream correct worden descrambled. Er is dus een duidelijk verschil tussen scrambling en encryption:

- **Scrambling** is de standaard DVB-s CSA codering, waarbij alle uitzendingen worden versleuteld met controlwords.
- **Encryption** is een aparte codering om de meegezonden controlwords te beveiliging, zodat de uitzending alleen descrambled kan worden door hiertoe gerechtigde kijkers.

Als een provider uitzendt in meerdere coderingen (zoals bijvoorbeeld bij Nederlandse zenders Seca/Irdeto) dan worden gewoon voor beide coderingen ECM berichten verzonden met de juiste controlwords.

Omdat alle uitzendingen plaatsvinden volgens de DVB-s specificaties plaatsvinden, wordt een **FTA (Free to Air)** uitzending wél op dezelfde manier gescrambled, maar worden de ECM berichten met de controlwords níet encrypted. Hierdoor kan dus met iedere ontvanger de uitzending worden bekeken.

Voor "beschermde" uitzendingen moet een ontvanger dus in staat zijn om de ECM berichten hierin te kunnen decrypten. Het encryptie-algoritme op zich is niet voldoende, want dan zou iedere ontvanger alle uitzendingen in de hem bekende encryptie op de televisie kunnen toveren. De ECM berichten worden hierom encrypted met periodiek (bijvoorbeeld wekelijks of maandelijks) wijzigende **keys**. Deze keys zijn dan ook de gewilde sleuteltjes waar we altijd zo druk naar zoeken. Helaas wijzigt een provider ook nog wel eens andere onderdelen van het encryptieproces, en dan redden alleen de sleuteltjes ons niet.

2.5 EMM (Entitlement Management Message)

Hoe komen deze periodiek wijzigende keys dan weer in de ontvangers van de abonnees? Hiervoor is een nieuwe soort berichten bedacht: de **EMM (Entitlement Management Message)** berichten. Ook deze berichten worden met dezelfde encryptie (seca, irdeto, etc.) versleuteld en in de datastream tussengevoegd. Maar aangezien de EMM bedoeld is om alleen diegenen met een geldig abonnement te voorzien van o.a. nieuwe keys, moeten deze met een per abonnement unieke key worden versleuteld.

Een abonnee heeft een **smartcard** met abonnementsgegevens, waaronder een unieke **masterkey**. Een EMM bericht met onder andere de nieuwe keys wordt nu encrypted met deze masterkey. Een EMM bericht kan dus uitsluitend met behulp van deze ene specifieke smartcard worden ontsleuteld. De nieuwe keys in het EMM bericht worden bijgewerkt op de smartcard. Met de EMM's worden nog andere kenmerken van het abonnement en het algoritme verzonden en bijgewerkt op de smartcard. De codering kent daarom naast het algoritme ook commando's om de kaart te bewerken. Samenvattend:

- Iedere **datastream** wordt ge**scrambled** met **controlwords;**
- Die controlwords worden in de datastream meegezonden in **ECM berichten;**
- Deze ECM berichten kunnen worden **encrypted** met **keys;**
- Deze keys worden periodiek verzonden in een **EMM bericht** per abonnement;
- Een EMM bericht wordt encrypted met een per **smartcard** unieke **masterkey;**
- Op de smartcard staat deze masterkey en worden de keys bijgewerkt.

2.6 Cam (Conditional Access Module)

Wat is nu de plaats van de CAM in dit hele proces? Bij oudere ontvangers zit alle genoemde functionaliteit in de ontvanger. Deze kent dan ook meestal maar één encryptie zoals bijvoorbeeld de door Canal Digitaal "goedgekeurde" ontvangers. Het enige dat dit type ontvanger nog nodig heeft is een geldige smartcard. Met dit type ontvanger kunnen we dan ook uitsluitend FTA uitzendingen bekijken en de uitzendingen die zijn gecodeerd in de encryptie die de ontvanger kent.

Een modernere ontvanger heeft één of meerdere zogenaamde **CI slots (Common Interface)**. Een CI slot is een sleuf in de ontvanger waarin een zogenaamde **CAM (Conditional Access Module)** kan worden gestoken. Een CAM heeft de vorm van een PCM/CIA module met een sleuf waarin een smartcard kan worden geschoven. De benodigde functionaliteit om de encryptie aan te kunnen zit nu in de CAM. Zo zou je bijvoorbeeld een Conax Cam of een Seca Cam kunnen aanschaffen. Hierdoor hoef je voor iedere encryptie in ieder geval geen aparte ontvanger meer te hebben. Je verwisselt gewoon de CAM. Het enige dat je dan nog nodig hebt is een smartcard met een abonnement voor de programma's die je wilt kunnen zien.

Om er onder andere voor te zorgen dat fabrikanten van ontvangers en fabrikanten van CAM's onafhankelijk van elkaar producten kunnen ontwikkelen die toch met elkaar samenwerken is het uitwisselingsprotocol (de interface) tussen de ontvanger en de CAM gestandaardiseerd. Dit zijn de specificaties voor het CI slot en deze zijn vastgelegd in "*EN 50221 Common Interface Specification for Conditional Access and other Digital Video Broadcasting Decoder Applications*". Omdat dit de specificaties zijn van hoe de CAM communiceert met de ontvanger, zijn dit voor onze studie ongelooflijk belangrijke specificaties.

2.7 UCAS CAM

Nog fraaier is de **UCAS (Universal Common Access System) CAM** die meerdere coderingen aankan**,** zoals bijvoorbeeld de Magic Module, de Matrix, de Xcam en de Dragon. Nu hebben we in principe nog maar één CAM nodig in onze ontvanger. En om het "ongemak" van geldige abonnementskaarten te voorkomen, hebben deze CAM's software aan boord, die naar de ontvanger toe net doen alsof ze een smartcard in de sleuf hebben. Deze software noemt men een **emulatie**. Het is deze emulatie die we downloaden van internet en in de CAM laden met onze CAS, Multipro, etc. De sleuteltjes die normaal van de kaart worden gehaald, zijn nu in het geheugen van de CAM geladen in de emulatie. Deze sleuteltjes kunnen in de meeste emulaties ook met de afstandsbediening van de ontvanger worden bewerkt. En als de software in de CAM er zelf niet uitkomt, kan hij altijd nog te rade gaan bij een titaniumkaart, funcard of andere all purpose card met gegevens van diverse providers. Het kan zijn dat sommige kanalen zelfs auto update (AU) zijn. De emulator is dan zo goed geprogrammeerd dat hij de keys van deze kanalen zelf uit de EMM's in de datastream kan filteren, decrypten en kan bijwerken in het geheugen.

2.8 En nu verder…

In dit hoofdstuk hebben we de algemene werking van (gecodeerde) uitzendingen via de satelliet in kaart gebracht en de plaats van de CAM hierin bepaald. In het volgende hoofdstuk gaan we de interne werking van de CAM en de wijze waarop de CAM met de ontvanger communiceert, nader onderzoeken.

Literatuurverwijzingen:

http://www.duwgati.com
http://www.duwgati.com/archive/Documentation/CAS-model.pdf
http://users.pandora.be/satelliet/mpegtrans.pdf
http://www.videoaudioreport.nl/index.php?action=1&catno=57&artno=1079&category=2004-april

3. De CAM: het model

3.1 Inleiding

In het voorgaande hoofdstuk hebben we een globaal inzicht gekregen in de wijze waarop door de providers de digitale uitzendingen via de satelliet worden gescrambled, encrypted en verzonden. Tevens hebben we gezien wat de plaats en de functie van de CAM hierin is. Nu is de tijd gekomen om ons vergrootglas op de CAM te richten en de onderdelen en de werking van de CAM nauwkeurig in kaart te brengen.

Zoals we in het voorgaande hoofdstuk hebben gezien is de CI interface, het slot waar we de CAM in doen, gestandaardiseerd. Het document met deze beschrijving, "*EN 50221 Common Interface Specification for Conditional Access and other Digital Video Broadcasting Decoder Applications*" is dan ook het uitgangspunt voor dit onderdeel van onze studie. Het overnemen van alle details uit EN50221 zou niet alleen overbodig zijn, maar zou ook niet bijdragen aan de leesbaarheid van dit rapport. Aan bestudering van EN50221 naast dit rapport, kan dus helaas niet worden ontkomen! Hopelijk zal dit rapport de bestudering van EN50221 wel vergemakkelijken.

3.2 De structuur

In EN50221 vinden we deze structuurweergave van de CAM en de CI interface.

Links zien we de **host** (receiver) en rechts de **module** (CAM) die met elkaar communiceren over de CI interface in het midden (**PC card interface**)

De MPEG-2 **transportstream** komt over de CI-interface de CAM in en wordt -eventueel (gedeeltelijk) descrambled- teruggeven aan de host (de receiver).

Besturingscommunicatie tussen de Module (cam) en de Host (ontvanger) loopt over de **Command Interface**.

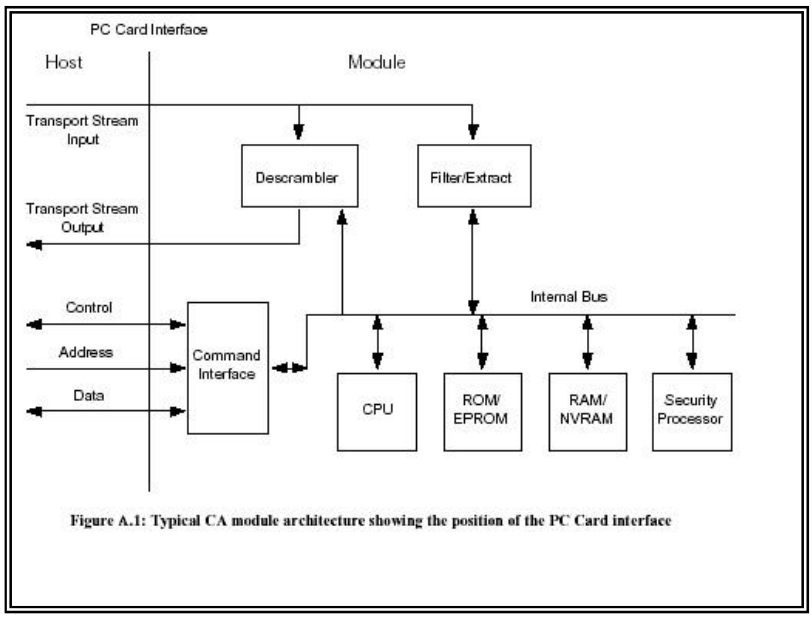


Figure A.1: Typical CA module architecture showing the position of the PC Card interface

Descrambler	De descrambler decodeert selectief (delen van) de MPEG-2 transportstream. Dit gebeurt door de CPU periodiek controlwords te laten laden in de descrambler.
Filter/extract	Dit circuit filtert de besturingsinfo (ECM en EMM) uit de datastream.
CPU	Deze processor draait de applicatie(s) van het CA proces (onze emulatie) en bestuurt de dataflow door de module en over de CI interface.
ROM/EPROM & RAM/NVRAM	In dit geheugen bevindt zich de programmatuur van het CA proces (onze emulatie dus) en de hiervoor benodigde data (gegevens).
Security processor	Een aparte processor met een hogere beveiliging dan de CPU. Deze voert beveiligingsfuncties uit zoals decryptie, en beheert beveiligingsgegevens zoals keys, en entitlements. Hij kan zich in de module zelf bevinden, maar ook daarbuiten, op een aparte smartcard.

3.3 Algemene werking

Er wordt gesproken over host en module. Een **host** is het apparaat dat gebruik maakt van de module en betreft in ons geval dus de ontvanger. Een **module** is een apparaat dat niet zelfstandig werkt, maar in samenwerking met een host taken kan vervullen, in ons geval is dit dus de CAM.

De CI interface, het slot waar de CAM in de ontvanger wordt gestoken, is gedefinieerd op basis van het concept van applicaties die gebruik maken van resources. Een **applicatie** is een programma dat draait op een module en biedt de gebruiker aanvullende functionaliteit als aanvulling op de functionaliteit van de host (bijvoorbeeld descrambling). Een **resource** is een verzameling functionaliteit die zowel kan worden aangeboden door host als de module en die door een applicatie kan worden gebruikt. Enkele voorbeelden van resources zijn de MMI (Man machine interface), de Conditional Access Support en de Smart Card Reader Resource.

Communicatie tussen een applicatie en een resource vindt plaats in een session waarin objecten worden uitgewisseld die door de resource zijn gedefinieerd. Een **session** is een “gesprek” met een duidelijk begin en einde tussen een applicatie en een resource.

Een **object** is een bericht, bestaande uit een reeks bytes (tekens) die op een gestructureerde manier is ingedeeld: een **tag** (label) die aangeeft wat voor soort object het is, een lengteveld waarin staat hoeveel databytes er volgen en de daadwerkelijke databytes (de inhoud van het “bericht”). De uitwisseling van objecten binnen een session vindt plaats volgens een protocol. Een **protocol** is een voorgeschreven wijze waarop de objecten moeten worden uitgewisseld, zoals wie welke objecten mag verzenden en welk object een antwoord is op welk object. Zo zijn er bijvoorbeeld objecten om een session te openen en te sluiten.

De CI interface bestaat uit twee logische componenten: de **Transport Stream Interface** en de **Command Interface**. Beide logische componenten delen **dezelfde fysieke interface**: de PC-card interface.

- Over de **Transport Stream Interface** loopt de MPEG-2 transport stream in twee richtingen, de module in en uit.
- Over de **Command Interface** communiceren de host en de module hun commando’s d.m.v. objecten.

In de MPEG-2 transportstream kunnen meerdere **PES** stromen (Packetized Elementary Stream) zitten welke bij elkaar gegroepeerd kunnen zijn in een **Service** en samen een televisieprogramma vormen (beeld, geluid, ondertiteling, etc.)

Als de MPEG-2 transportstream gescrambelde pakketten bevat én de module toegang kan verlenen tot deze service én de host heeft deze service geselecteerd, dan zullen de packets van deze service descrambled worden teruggegeven aan de host. Zo niet, dan worden de packets ongewijzigd retour gegeven. De module haalt zelf de voor descrambling benodigde elementen uit de transportstream zoals ECM en EMM messages.

Het is mogelijk om meerdere modules in één host te plaatsen. Het uitgangspunt van de CI interface is dat deze modules als het ware serieel geschakeld worden. De transportstream loopt de eerste module in en terug naar de host. Van de host naar de volgende module en weer terug. De transportstream wordt dus als het ware door alle modules geleid.

Het is aan te raden het bovenstaande nog eens aandachtig door te lezen. Een goed begrip van deze basiskennis is onmisbaar om de nu volgende beschrijving en EN50221 goed te kunnen begrijpen!

3.4 Objecten en Protocollen (Command Interface)

Alvorens de beschikbare resources in beeld te brengen waar we met onze applicatie(s) gebruik van kunnen maken, gaan we eerst nog wat dieper in op het principe van objecten en protocollen. Dit is uiteindelijk de taal waarin we met de ontvanger zullen gaan praten, dus zullen we dit tot op "bitniveau" moeten begrijpen.

Stel, we willen een session starten met de Resource Manager (zie 3.5.1 De Resource Manager). We stellen hiertoe volgens het hiervoor geldende protocol een **Open_session_request** object samen:

Open_session_request		
Open_session_request_tag	**Length field**	**Resource identifier**
91	04	00010041
soort object	*omdat er 4 bytes volgen*	*id van de Resource Manager, uit tabel*

Wat we dus verzenden aan de host is de volgende reeks van 6 bytes (hexadecimaal weergegeven): "**910400010041**".

Volgens het protocol gaat de host ons nu beantwoorden met **Open_Session_Response** object. Dit object gaat ons vertellen of de host een session met ons heeft geopend en zo ja wat het nummer van deze session is. Uiteindelijk kunnen en zullen we namelijk meerdere sessions tegelijkertijd geopend hebben. Wij ontvangen dus van de host bijvoorbeeld het volgende antwoord:

Open_session_response				
Open_session_response_tag	**Length field**	**Session status**	**Resource Identifier**	**Session_nb**
92	07	00	00010041	0001
Soort object	*7 bytes volgend*	*session opened*	*Id Resource Mngr*	*Sessienummer*

We krijgen dus de volgende reeks van 9 bytes terug van de host (hexadecimaal weergegeven): "**920700000100410001**"

Hierdoor weten we nu dat de session is geopend onder sessionnumber 0001. Nu zijn we dus in gesprek met de Application Manager!

Het veld Session status zou ook bijvoorbeeld F0 kunnen bevatten, in plaats van 00. In een tabel in EN50221 kunnen we de betekenis hiervan vinden: "*Session not opened, resource non existent*". Dan hebben we dus een probleem. Gelukkig is in een DVB ontvanger de Resource Manager altijd aanwezig en beschikbaar.

Als we het bovenstaande goed begrijpen dan is het dus een kwestie van goed in kaart brengen welke resources er beschikbaar zijn en hoe we hiermee kunnen en communiceren: welke objecten zijn er beschikbaar en volgens welk protocol wisselen we deze objecten uit?

In de nu volgende paragrafen gaan we de standaard beschikbare resources en nog wat optioneel aanwezige resources bekijken. Zoals eerder aangegeven beperken we ons uit oogmerk van overzichtelijkheid tot een globale omschrijving. In EN50221 is een gedetailleerde beschrijving van ieder object, veld en protocol te vinden. Zoals gezegd, er valt echt niet te ontsnappen aan EN50221!

3.5 De Resources (Command Interface)

3.5.1 De Resource Manager

De **Resource Manager** is een resource op de host en vormt de manager van alle beschikbare resources op zowel de host als de aanwezige module(s). Er is een protocol van objecten waarmee de resource manager met de applications en de resource providers kan communiceren over beschikbare resources.

Het eerste dat een application of resource provider doet wanneer de module in de host wordt geplaatst, of wanneer de host wordt aangezet, is een session openen met de Resource Manager. De Resource Manager stuurt een **Profile Enquiry** object aan alle applications en/of resource providers die deze beantwoorden met een **Profile Reply** waarin de beschikbare resources (indien aanwezig) worden opgegeven. Nadat de Resource Manager alle resources in kaart heeft gebracht stuurt hij een **Profile Change** object aan alle applications en resource providers.

Na het ontvangen van het Profile Change object kan een application of resource provider, indien gewenst, met een **Profile Enquiry** object bij de Resource Manager informeren naar alle beschikbare resources. De Resource Manager antwoordt met een **Profile Reply** met alle beschikbare resources.

Pas na het ontvangen van het eerste Profile Change object staat het een application of resource provider vrij om sessions te openen of te accepteren. De oorspronkelijke session met de Resource Manager blijft open om eventuele wijzigingen in de beschikbare resources te kunnen ontvangen van de Resource Manager met een Profile Change object. Als de application of resource provider zelf een wijziging in de beschikbare resources wil doorgeven stuurt hij een Profile Change object naar de Resource Manager. Deze beantwoordt met een Profile Enquiry, waarop de application of resource provider een nieuwe Profile Reply zendt met de gewijzigde resource lijst. Indien dit de resourcelist in de Resource Manager wijzigt, dan wordt een Profile Change gestuurd aan alle applications en resource providers. Deze kunnen dan met een Profile Enquiry weer informeren naar de nieuwe resourcelijst.

3.5.2 Application Information Resource

De **Application Information Resource** is een resource van de host, vergelijkbaar met de Resource Manager. Waar de Resource Manager de manager van de Resources is, is de Application Information Resource de manager van de applications.

Iedere application zal na de Profile Enquiry initialisatie fase een session openen naar de Application Information Resource in de host. De host stuurt vervolgens een **Application Info Inquiry** object naar de application, die deze beantwoordt met een **Application Info** object. In dit object vinden we informatie zoals Application type (b.v. “01” = Common Access) en de toplevel (hoogste) menukeuze van de application. Deze menukeuze wordt door de host naar eigen inzicht opgenomen ergens in haar eigen menustructuur.

De session wordt open gehouden, zodat de host op ieder moment een **Enter Menu** object kan sturen waarna de application direct een MMI (Man Machine Interface) session zal starten met het hoofdmenu van de application. Dit gebeurt natuurlijk wanneer een gebruiker in de host naar de menustructuur van de host gaat, en hier de toplevel menukeuze van de application kiest.

3.5.3 Conditional Access Support resource

De Conditional Access Support is een resource op de host om Conditional Access applicaties te ondersteunen. Alle CA applications openen een session naar deze resource zodra de Application Info Inquiry is voldaan. De host verzendt een **CA Info Inquiry** object naar de application en de application beantwoordt deze met een **CA Info** object met informatie over de CA System ID's (Provider ID's) die de application ondersteunt. De host weet hierdoor welke application welk CA system kan decoderen. De session blijft vervolgens geopend om de host in staat te stellen gebruik te maken van deze ondersteuning door middel van de onderstaande CA PMT en CA PMT Reply objecten.

Als een gebruiker een programma selecteert, dan verstuurt de host aan één of meerdere CA applications een **CA PMT object** met hierin informatie over het geselecteerde programma, zoals de PES streams waaruit het programma bestaat en aanwijzingen hoe de ECM's gevonden kunnen worden. Als een gebruiker meerdere programma's heeft gekozen wordt voor ieder programma een CA PMT object verzonden. Het CA PMT bevat alle -maar ook alleen maar de- **CA descriptors** voor het geselecteerde programma uit de Program Map Table (PMT) in de MPEG-2 transportstream (zie: 3.7 MPEG-2 transportstream (Transport Interface))

De applications antwoorden met een **CA PMT Reply** object, waarna de host de application kan selecteren die de descrambling zal uitvoeren voor het geselecteerde programma. In het CA PMT Reply object is hiervoor het veld **ca_pmt_cmd_id** aanwezig. Hiermee geeft de host aan welke actie van de application wordt verwacht, zoals bijvoorbeeld direct descramble of dat eerst nog een MMI (Man Machine Interface) session moet worden gestart. Bijvoorbeeld om eerst kijkrechten aan te schaffen.

3.5.4 Host Control en Information Resources

Naast de bovenstaande belangrijke resources staan er nog een aantal andere resources ter beschikking.

Zo geeft de **DVB Host Control** resource de module de mogelijkheid om tijdelijk de besturing van de host over te nemen. Met het **Tune** object worden overgeschakeld naar een andere service (programma). In het object bevinden zich de hiervoor benodigde parameters (Network ID, Original Network ID, Transport Stream ID en service_id). Met **Replace, Clear Replace** en **Ask Replace** kan tijdelijk worden overgeschakeld (bijvoorbeeld voor een reclameboodschap).

Bij de **Date-Time resource** kunnen met het **Date-Time Enquiry** object de datum en tijd van de host worden opgevraagd.

3.5.5 Man Machine Interface Resource

Deze resource stelt de module in staat om met de gebruiker van de host te communiceren. Het geeft de module de controle over de display en kan toetsaanslagen van de gebruiker ontvangen. Een toepassing hiervan is vanzelfsprekend de menustructuur van onze CAM.

Er kan op twee manieren met de MMI resource worden gecommuniceerd: **Low-level MMI** en **High-level MMI**. Met Low-level MMI heeft de module de absolute controle over de graphics van de display en kunnen toetsaanslagen van de gebruiker rechtstreeks worden ontvangen. Bij High-level MMI zijn een aantal objecten gedefinieerd, waarin menu's en lijsten kunnen worden gecommuniceerd. De host bepaalt in dit geval de look-and-feel van de display.

Een MMI session wordt bijvoorbeeld opgestart als het **Enter menu** object in de session met de Application Information Resource wordt ontvangen (zie 3.5.2 Application Information Resource). Een MMI session kan door de host en de module worden beëindigd door verzending van het **Close_MMI** object. Om menu's tussen applications te kunnen laten wisselen zonder het "flitsen" van het "onderliggende" programma, kan een **delay** parameter worden meegegeven.

Met het **Display control** object kunnen zowel de karakteristieken van de display worden opgevraagd als de gewenste modus worden ingesteld. Er zijn drie mogelijkheden: Bitmap graphics door de huidige uitzending, Bit map graphics in plaats van de huidige uitzending of character based High-level modus. Gezien de complexiteit van de Low-level modus en onze doelstelling beperken wij ons hier tot de eenvoudigste: de character based high-level modus.

Op het display control object antwoordt de host met een **Display reply** object. Voor onze high-level mode is in het reply object alleen de tabel met ondersteunde karakterset van enig belang en de bevestiging van de geselecteerde modus.

In High-level MMI kan met het **Text** object een blok tekst door de module naar de host worden verzonden om op de display te worden getoond. Het is mogelijk hier wat controlcodes in op te nemen om de tekst enigszins op te maken. Met het **Enq** object kan een vraag op de display worden gesteld. Het door de gebruiker ingegeven antwoord wordt door de host met een **Answ** object teruggestuurd. Hierin bevindt zich de parameter **answ_id**, die de waarde 00 heeft, als de gebruiker op cancel heeft gedrukt.

Met het **Menu** object kan een menu op het scherm worden gezet waaruit de gebruiker een keuze kan maken. In het object kunnen en menutitel, -subtitel en -ondertitel worden opgenomen, tezamen met een aantal keuzes. In deze High-level MMI mode bepaalt de host natuurlijk hoe dit menu wordt getoond en op welke wijze de gebruiker een keuze kan maken. De gemaakte keuze wordt met een Answ object retour gezonden. Hierin bevindt zich het veld **Choice_ref**, die de waarde 01 heeft voor de eerste keuze, de waarde 02 voor de tweede keuze, etc. Een waarde 00 geeft aan dat de gebruiker het menu zonder keuze heeft beëindigd (escape).

Het kan echter ook wenselijk zijn een lijst af te drukken, zonder dat hier een keuze uit hoeft of kan worden gemaakt. Dit is mogelijk met het List object, dat een bijna gelijke structuur heeft als het Menu object, maar dan zonder Choice_ref veld natuurlijk.

3.5.6 Overige resources

Daarnaast is er nog een aantal andere resources die we hier voor de volledigheid kort in beeld brengen. Als we deze in het kader van onze studie nodig blijken te hebben, zullen we ze later verder uitwerken.

Zo is er de **Low-speed communication class** die ons in staat stelt om bijvoorbeeld over een modem of kabel systeem te communiceren. Met de optionele **Authentication resource** kan een autorisatie worden geregeld, waardoor een module alleen bevoegd is bepaalde signalen te verwerken. Met de **EBU Teletext display resource** kan informatie via de teletekst functie van de host op de display worden afgedrukt. De **Smart Card Reader Resource class** kan zowel door door de host beschikbaar worden gesteld als door (een andere) module. Met de objecten **Smart Card Cmd** en **Smart Card Reply** kunnen beheer- en antwoord commando's worden uitgewisseld. **Smart Card Send** en **Smart Card Reply** verzenden en ontvangen gegevens van de smart card. Met de optionele **DVB EPG Future Event Support Class** wordt het mogelijk voor een EPG (Electronic Program Guide) applicatie in de host te communiceren met een CA applicatie. Zo kan de host in de EPG lijst van de komende programma's direct tonen of de kijker gerechtigd is het programma te zien, of dat hier bijvoorbeeld eerst een aparte handeling (zoals aankoop van kijkrechten) voor moet plaatsvinden.

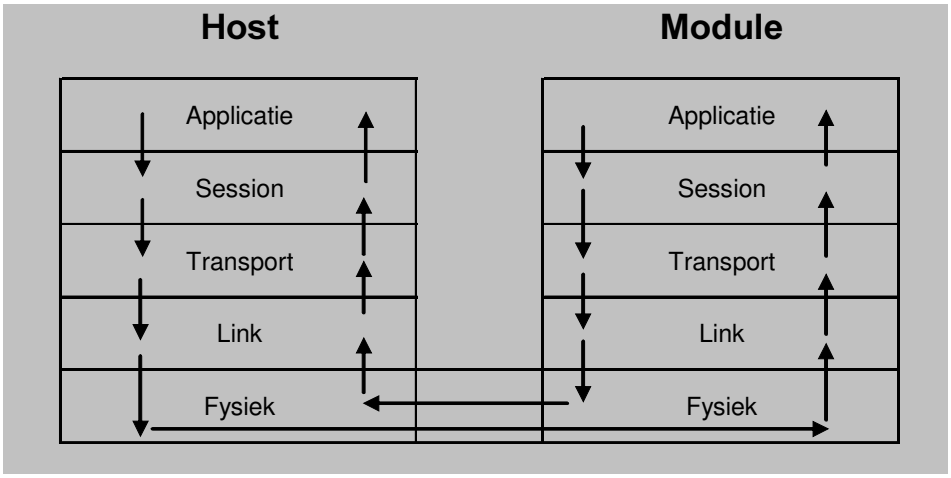
3.6 Communicatie tussen Host en Module

3.6.1 Het principe van layering

Je zou gezien de algemene beschrijving denken dat een application rechtstreeks “praat” met de resource. Een application zou dan een object (de reeks tekens) samenstellen en dit rechtstreeks zenden aan de resource. De resource zou de reeks tekens inlezen en reageren. Helaas is de werkelijkheid natuurlijk weer ingewikkelder. De communicatie moet namelijk uiteindelijk over een fysieke interface (de pc-card interface) naar de andere kant en hier komt een transportmechanisme om de hoek kijken, met componenten zoals buffers, registers, spanningswisselingen op pinnen, etc. Het is onder andere hierom dat tussen de application en de resource in zowel de host als de module een aantal “lagen”, de zogenaamde **layers,** zitten. Aan de verzendende kant praat iedere layer met de eronder liggende layer, die de boodschap weer doorgeeft aan de layer daaronder tot uiteindelijk de fysieke layer is bereikt. Hier wordt de data via de pinnen van de interface naar de andere kant “overgeseind”. Aan de andere kant wordt de boodschap weer door de fysieke layer aan de layer erboven doorgegeven, die deze boodschap weer aan de layer daarboven doorgeeft, tot deze bij de bestemming (de applicatie of de resource) aankomt. Zij die met het zogenaamde *OSI model* op de hoogte zijn, zullen geen moeite met dit concept hebben.

Dit veel toegepaste gelaagde transportmechanisme zorgt ervoor dat bijvoorbeeld een internet applicatie kan worden ontwikkeld zonder kennis van een specifieke netwerkkaart. Een specifieke laag, bijvoorbeeld een driver voor een netwerkkaart, kan worden ontwikkeld door mensen met de hiervoor benodigde specifieke kennis. De laag er bovenop, die bijvoorbeeld een transportconnectie opent met een andere computer op internet, kan worden ontwikkeld zonder specifieke kennis van netwerkkaarten en drivers hiervoor. Als je maar weet hoe je de driver moet aanroepen met de juiste parameters om de data over te dragen. Voordeel is ook dat bijvoorbeeld de onderste laag, de netwerkkaart, makkelijk kan worden vervangen door een andere kaart, met een andere driver, mits die maar op dezelfde wijze kan worden aangeroepen. De applicatie op het hogere niveau hoeft hiervoor dus niet te worden aangepast. Dit biedt dus de nodige flexibiliteit. Nog een ander voordeel is dat wanneer op een lager niveau reeds een transportconnectie met een andere computer is gemaakt, een andere applicatie die ook wil communiceren met een applicatie op die andere computer, er gebruik kan worden gemaakt van dezelfde transportconnectie. Er behoeft dan geen nieuwe transportconnectie te worden gemaakt.

In feite communiceert iedere layer met zijn soortgenoot aan de andere kant. Een layer accepteert een object van een bovenliggende layer, stopt deze objecten in zijn eigen object(en), voegt adressering toe voor de corresponderende layer aan de andere kant en draagt het object over aan de layer eronder. Ook voor de communicatie tussen de host en de module zijn (erg) globaal op deze wijze layers gedefinieerd:



3.6.2 De layers

De in de voorafgaande paragraaf zeer globaal benoemde layers worden nu verder uitgewerkt. Voor de Transport Stream Interface en de Command Interface zijn namelijk aparte layers gedefinieerd:

<table>
<tr><th>Transport Stream Interface</th><th colspan="4">Command Interface</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Upper layers

(MPEG-2 specs ISO 13818)</td><td colspan="4">Application layer
Resources</td></tr>
<tr><td>User interface</td><td>Low speed communications</td><td>System</td><td>Optional extensions</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">Session layer</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Transport Layer
(MPEG-2 specs ISO 13818)</td><td colspan="4">Generic transport sublayer</td></tr>
<tr><td colspan="4">PC Card transport sublayer</td></tr>
<tr><td colspan="5">PC Card Link layer</td></tr>
<tr><td colspan="5">PC Card physical layer</td></tr>
</table>

1. De application verzoekt de session layer om een nieuwe session te openen met een resource. Nadat de session door de session layer is geopend, kan de application beginnen de te verzenden data in objecten te stoppen: (**Application Protocol Data Unit = APDU**).
2. De applicatie geeft de APDU's door aan de session layer.
3. De session layer stopt één of meer van deze APDU's in een **Session Protocol Data Unit (SPDU)** en draagt deze SPDU's over aan de Transport Layer.
4. De transport layer voegt één of meerdere SPDU's in één of meer **Transport Protocol Data Units (TPDU)** samen en draagt deze over aan de PC-card link layer.
5. Op de PC-card Link Layer wordt de TPDU's ingedeeld in **Link Protocol Data Units (LPDU)** die zijn afgestemd op de in de Physical Layer beschikbare buffer. Hierbij kunnen TPDU's van meerdere transport connections door elkaar worden verzonden. Een Link Connection wordt automatisch tijdens de initialisatie van host of module tot stand gebracht.
6. Op de Physical Layer wordt de data daadwerkelijk overgebracht naar het andere systeem. De bits worden door middel van wisseling van elektrische spanning op verschillende pinnen met een bepaalde snelheid gezet en gelezen door het andere systeem. De specificaties van dit niveau zijn dan ook fysiek van aard, zoals betekenis van pinnen, spanningshoogte, bitrate, etc. In ons geval betreft dit dus de specificaties van een PC-card (PCM CIA module).
7. In de host loopt deze informatiestroom weer naar boven via de Physical Layer, de Link Layer, de Session Layer naar de resource. Het antwoord volgt natuurlijk weer de omgekeerde weg.

Het spreekt bijna vanzelf dat op elke layer een protocol is benoemd volgens welke deze layer communiceert met de corresponderende layer aan de andere kant. Zo moeten bijvoorbeeld een session en een transport connection kunnen worden geopend en gesloten. Daar er op enig moment meerdere sessions en meerdere transport connections geopend kunnen zijn, zullen er identificaties moeten zijn om deze stromen "uit elkaar" te houden. Een session wordt daarom geïdentificeerd met een **Sessionnumber** en een transport connection met een **Transport Connection Identifier**.

Nu we deze problematiek globaal in kaart hebben, gaan we de objecten en de protocollen per layer nader bekijken. Voor ons doel, het ontwikkelen van software voor de CAM, is een goed en nauwkeurig begrip van deze communicatie natuurlijk van essentieel belang.

3.6.3 PC-card layers

De specificaties van deze onderste lagen komen overeen met de standaard definities voor een PC-Card interface (PCM-CIA module). Op het onderste niveau, de Physical Layer, worden zaken gedefinieerd als pinbezetting, spanning, data transfer rates, etc. In Appendix A van EN50221 vinden we de specificaties hiervan. Op deze Physical Layer worden de gegevens daadwerkelijk fysiek overgedragen met spanningswisselingen op de pinnen naar de ontvangende partij.

De PC-Card Link Layer heeft van het bovenliggende Transport Layer TPDU objecten ontvangen ter verzending en maakt hiervoor LPDU objecten, afgestemd op de bovenvermelde beschikbare buffer op de Physical Layer. Een Link connection komt automatisch tot stand bij de initialisatie die plaatsvindt zodra er op fysiek niveau contact is gemaakt. Bij deze initialisatie wordt de Card Information Structure gelezen en wordt de card in de juiste modus geconfigureerd. Hierbij wordt ook de buffergrootte onderhandeld. Ieder LPDU object bestaat uit een header van twee bytes en een deel van een TPDU, het geheel niet groter dan de buffergrootte. De eerste byte is het nummer van de transport connection waartoe het deel van de TPDU behoort. Het tweede byte heeft in het most significant bit (linker bitje) een “1” als er nog meer fragmenten van de TPDU volgen en een “0” als dit niet zo is. De andere 7 bits zijn gereserveerd en hebben de waarde “0”. Elke LPDU heeft maar de gegevens van één (deel van een) TPDU aan boord. Als er meerdere transport connecties tegelijkertijd over de link Layer lopen, dan worden fragmenten van beide TPDU’s door elkaar verzonden om een eerlijke verdeling van de beschikbare bandbreedte te verkrijgen.

3.6.4 Generic Transport Layer

De functie van de Transport Layer is de door de hogere Session Layer aangeleverde Session Protocol Data Units te transporteren naar de Transport Layer aan de andere kant, en de van de andere kant ontvangen Session Protocol Data units aan de eigen Session Layer aan te leveren. De Transport layer is dus het transport mechanisme van een session.

Communicatie op Transport Layer nivo vindt plaats volgens uitwisseling van **Command Objects**. De host verzendt een Command Transport Protocol Data Unit **C_PTDU**. De module antwoordt met een Response Transport Protocol Data Unit **R_PTDU**. De module kan geen transport beginnen en moet wachten tot de host begint. Er zijn in totaal 11 soorten **Transport Layer objects**, waarvan sommigen alleen door de host kunnen worden verzonden, sommigen alleen door de module en sommigen door beiden.

Een C_PTDU van de host bevat slechts één Transport Protocol object. Een R_PTDU van de module kan één of twee Transport Protocol Objecten bevatten. Het enige of het tweede object in een R_PTDU van de module is altijd een status object (T_SB).

Iedere transport connection heeft een **transport connection identifier** van 1 byte. Omdat 0 is gereserveerd, kan de host over alle modules tegelijkertijd 255 connections geopend hebben. Volgens EN50221 specificaties minimaal 16 per module, maar het liefst 255 verdeeld over de in de host aanwezige modules. De identifier wordt bepaald door de host.

De Objects

Nu gaan we de 11 soorten objecten bekijken en het protocol volgens welke ze worden uitgewisseld.

Transport Layer objects	
1. Create_T_C	Deze creëert een nieuwe connectie en bevat de connection identifier. (Alleen door host).
2. C_T_C_Reply	Antwoord hierop van de module met de connection identifier
3. Delete_T_C	Wist een transport connectie en bevat als parameter de te wissen connectie. Host en module kunnen hem verzenden, maar module alleen als antwoord op een poll (*) of data van de host
4. D_T_C_Reply	Het antwoord hierop. Omdat dit soms niet aankomt heeft Delete_T_C een timeout. Als die is bereikt kunnen de acties worden genomen die normaal o.g.v. de reply worden genomen.
5. Request_T_C	Een verzoek aan de host om een nieuwe transport connectie. Wordt met een bestaand connectienummer verzonden en alleen als antwoord op een poll (*) of data van de host.
6. New_T_C	Antwoord op Request_T_C. Wordt dezelfde connectie verzonden als de request en bevat de nieuwe connection identifier. New_T_C wordt direct gevolgd door een Create_T_C om de nieuwe connection te maken.
7. T_C_Error	Wordt verzonden met daarin 1 byte met het errornummer. In deze versie wordt deze alleen als antwoord op een Request_T_C verzonden dat er geen connecties meer mogelijk zijn.
8. T_SB	Wordt als antwoord op alle objecten van de host verzonden, eraan vast geplakt of apart en geeft in één byte aan of de module nog data te verzenden heeft
9. T_RCV	Wordt verzonden door host als antwoord op een T_SB met het verzoek de data aan de host te sturen.
10. T_Data_more 11. T_Data_last	Deze bevatten de daadwerkelijke data van of naar de module. De module mag allen verzenden op verzoek met een T_RCV. T_data_more wordt gebruikt als een Protocol Data Unit van een hoger nivo moet worden gesplitst omdat het te groot is om in één object te worden verzonden (door externe beperking). T_data_last bevat het laatste fragment van een gesplitste PDU of het enige fragment van een PDU. Bij meerdere segmenten, moet ieder datapacket wachten op een aparte T_RCV.

(*) Pollen gebeurt met een lege "T_Data_last"

Het protocol

Als we de objecten goed bestuderen, dan ligt het protocol voor de uitwisseling van deze objecten min of meer voor de hand.

Als een host een transport connection wil starten naar een module (en alleen de host kan beginnen!) dan stuurt de host een Create_T_C object naar de module. De module antwoordt direct met een C_T_C_Reply. Als deze reply niet binnen een time-out periode wordt ontvangen dan is de transport connecion mislukt, en zal het transport connectionnumber opnieuw worden gebruikt, bijvoorbeeld om opnieuw een connectie te proberen op te bouwen met de module.

Na de C_T_C_reply kan de host data aan de module gaan verzenden met T_data_last (de host verstuurt altijd maar één Protocol Data Object). Is er geen data te verzenden, dan poll't de host de module of die data te verzenden heeft met een leeg T_data_last object. De module antwoordt de host met een T_sb object waarin met één byte wordt aangegeven of de module data te verzenden heeft. Is dit het geval, dan antwoordt de host met een T_RCV object waarop de module met T_data_more of T_data_last de data verzendt. Indien er meerdere data objecten te verzenden zijn, dan wordt de data verzonden met T_data_more. Het laatste pakket wordt verzonden met T_data_last. Voor iedere T_data_more of T_data_last moet de module wachten op een T_RCV van de host.

Indien een module een nieuwe transport connection wil starten dan kan het antwoord van de module ook een Request_T_C zijn waarop de host antwoord met een T_C_error als er geen connections meer beschikbaar zijn, of een New_T_C met het nieuwe connectionnumber. De module antwoordt hierop met een C_T_C_reply, en na het ontvangen van de T_RCV van de host kan de module de data over deze connectie weer gaan verzenden met T_data_more en T_Data_last.

Zowel de host als de module kan vervolgens de connection sluiten door het verzenden van een Delete_T_C object en na ontvangst van de bevestiging hiervan met een D_T_C_Reply object is de connection gesloten.

3.6.5 Session Layer

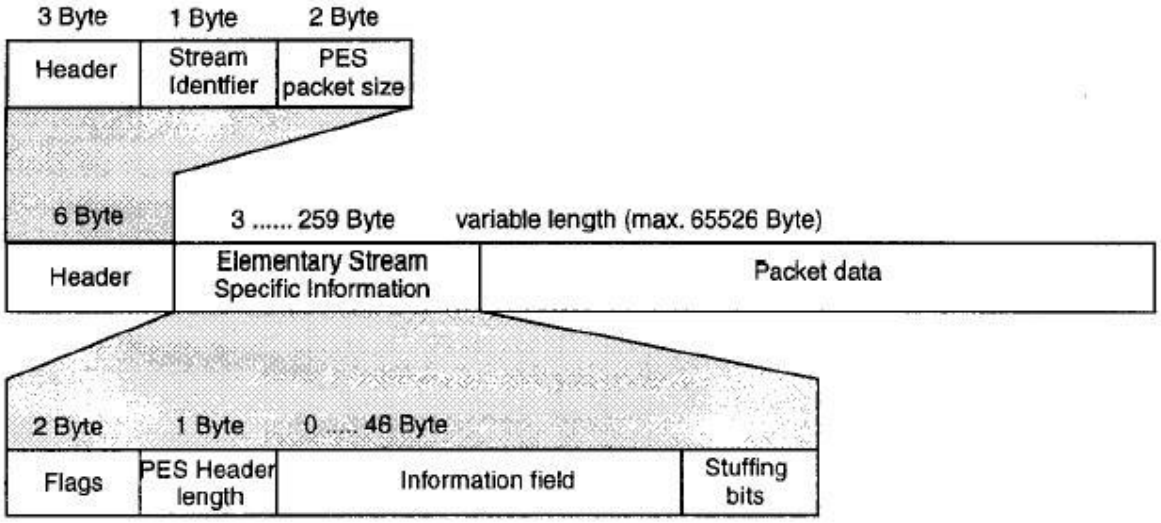
De session layer voorziet in het mechanisme waarmee applications gebruik kunnen maken van de resources. Een resource kan zich op de host of de module bevinden. Een module kan ook via de host gebruik maken van een resource op een andere module.

Sommige resources kunnen meer dan één sessie aan sommigen niet. Zo kan bijvoorbeeld de display wellicht slechts één session aan. Heeft de display windows, dan kunnen meer sessies worden geopend, anders niet. Dan wordt een Resource_busy reply object verzonden. De volgende objecten zijn gedefinieerd op de sessionlayer.

Open_session_request	Wordt verzonden door een applicatie over zijn transport connection met verzoek om gebruik van een resource. De host kan de resource direct beschikbaar stellen of een nieuwe transport connection maken naar een module die de resource beschikbaar heeft.
Open_session_response	Dit verzendt de host naar de applicatie om een sessienummer toe te kennen of een melding dat de resource niet beschikbaar is.
Create_session	Wordt door een Host verstuurd aan een module die een resource beschikbaar heeft om aan een session_request van een andere module te kunnen voldoen over een nieuwe transport connection.
Create_session_response	Is het antwoord van een resource provider in een module aan de host zodat de host aan de aanvragende module kan aangeven of de session kan worden geopend.
Close_session_request	Wordt door host of module verzonden om een session te beëindigen
Close_session_response	Wordt door host of module verzonden om de beëindiging van een session te bevestigen.
Session_number	Een Session_number gaat altijd vooraf aan een Session Protocol Data Unit (SPDU) die een Application Protocol Data Unit (Application Protocol Data Unit) bevat.
Session_nb(n, data)	De daadwerkelijke data, voorafgegaan door het session number.

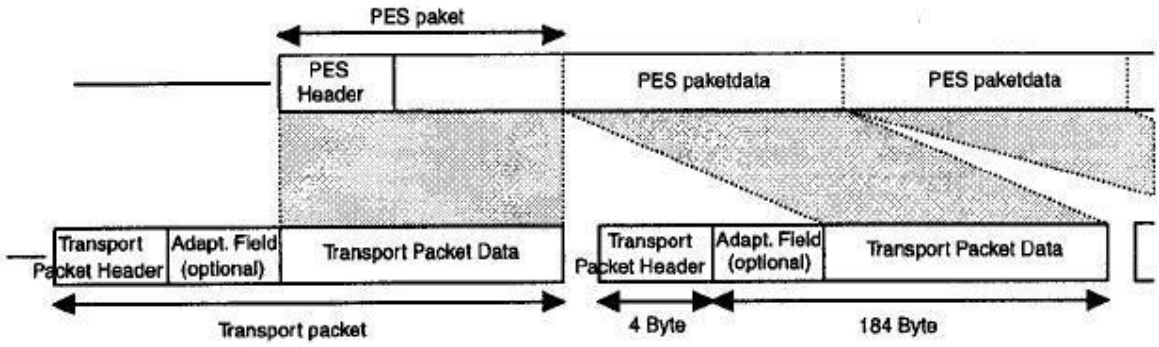
3.7 MPEG-2 transportstream (Transport Interface)

Zoals we hebben gezien communiceren de *applicaties* en de *resources* op de module over de *Command Interface*. De **MPEG-2 transportstream** komt echter over de *Transport Interface* de module binnen en verlaat deze ook weer via de transport interface. De MPEG-2 transportstream bestaat uit meerdere **Packetized Elementary Streams (PES),** en iedere PES bevat één elementaire stroom data, zoals beeld, geluid, ondertiteling, besturingsinformatie, etc. Een PES stroom zelf bestaat uit elkaar opvolgende packets met een (lange) variabele lengte. Elk packet begint met een "header" van 6 bytes. Het volgende dataveld bevat hoofdzakelijk stuurinformatie (Elementary Stream Specific Information) en is maximaal 259 bytes. Als laatste volgt de eigenlijke data met een variabele lengte van maximaal 65526 bytes. Het eerste veld, Flags, bevat statusbits voor bijvoorbeeld scrambling, copywright, etc.



Structuur van de PES-stroom.

De **MPEG-2 transport stream** is opgebouwd uit transport packets met een (korte) vaste lengte van 188 bytes. De **transport packet header** is 4 bytes lang. De overige 184 bytes zijn voor de daadwerkelijke data. De PES packets worden in stukjes gehakt en verdeeld over meerdere transport packets. In onderstaand figuur wordt de relatie weergegeven tussen de transportstream en de PES stream.



Samenhangende structuur van transportstroom en PES-stroom.

De PES header volgt altijd direct de Transport header tenzij een 'adaptation field' wordt meegezonden. In dat geval volgt de PES header direct daarna. Aan het einde van een PES packet kunnen een aantal 'stuffing bytes worden toegevoegd, die geen informatie bevatten.Een PES wordt geïdentificeerd met een

PID nummer, dus PES packets met hetzelfde PID nummer behoren tot dezelfde PES stroom. Hierdoor kan de ontvanger de verschillende PES stromen uit elkaar houden en selecteren. De transport packet header bestaat uit 32 bits (4 bytes). De PID vinden we hierin op bit 12 tot en met bit 24 (13 bits).

Verschillende PES stromen vormen samen een programma, geïdentificeerd met een programmanummer van 2 bytes. Voor informatie over programma's wordt de **Program Specific Information (PSI)** gebruikt. Er zijn in de PSI een aantal tabellen gedefinieerd, waarvan onderstaand de belangrijkste:

Table	Locatie	Inhoud
Program Association Table (PAT)	PID = 0	Voor ieder programmanummer in de transportstream de PID van de *Program Map Table* van het programma. (Daarnaast in programma 0 de PID voor de Network Information Table)
Program Map Table (PMT)	PID per PMT	Voor ieder programma in de transportstream de PID nummers en descriptors van het programma.
Network Information Table (NIT)	Programma 0 in PAT	Karakteristieken van het transmissienetwerk zoals frequentieband, centrale frequentie, kanaalbandbreedte, transponder, etc.
Conditional Access Table (CAT)	PID = 1	Geeft voor iedere CA provider de PID voor de EMM messages en eventuele parameters.

Een ontvanger haalt uit de Program Association Table (PID=0) de programma's die zich in de transportstream bevinden. In het geval dat de gebruiker programma x kiest, kan de ontvanger uit de Program Association Table bij programma(x) de PID halen voor de Program Map Table van dit programma. In deze Program Map Table vindt de ontvanger de PID's waaruit het programma bestaat (beeld, geluid, etc.) en de eventuele descriptors van het programma, zoals de CA-descriptor benodigd voor descrambling.

Een descriptor is een reeks tekens die informatie over het betreffende onderwerp bevat en we komen op verschillende plekken verschillende soorten descriptors tegen. De CA-descriptor bijvoorbeeld bevat de informatie die we nodig hebben om de ECM's en EMM's te vinden. De ECM's en EMM's worden namelijk met aparte PID nummers verzonden. We kunnen een CA descriptor op twee plaatsen tegenkomen:

- In de **Program Map Table** geeft de CA-descriptor de PID van de **ECM**'s van een programma;
- In de **Conditional Access Table** geeft de CA-descriptor de PID van de **EMM**'s van een provider.

Naast de door MPEG-2 gedefinieerde tabellen zin er in DVB nog een aantal extra tabellen gedefinieerd zoals bijvoorbeeld de **Bouquet Associaton Table (BAT)** en de **Event Information Table (EIT)**. Voor iedere tabel is een PID gedefinieerd waarmee deze wordt verzonden, waarbij sommige tabellen met dezelfde PID worden verzonden. Het onderscheid tussen de verschillende tabellen wordt gemaakt met een **Table_id**. Geen van de tabellen mag scrambled worden verzonden, op de EIT (Event Information Table) na, maar de data mag wel scrambled worden verzonden. Er vindt dan meestal 'stuffing' plaats om de overgang tussen gescrambelde en niet gescrambelde data te laten plaatsvinden.

Eén van onze uitdagingen zal zijn de ECM's te filteren en de hierin verstopte controlwords te vinden. De structuur van ECM's en EMM's is in ISO13818-1 slechts globaal voorgeschreven in een algemeen PES packet format:

Syntax	Aantal bits	Mnemonic
Packet_start_code_prefix	24	Bslbf
Stream_id	8	Uimsbf
PES_packet_length	16	Uimsbf
Databytes (aantal = PES_packet_length)	8	bslbf

- **packet_start_code_prefix**: The packet_start_code_prefix is een 24-bits code. Samen met de stream_id erna, vormt het een packet start code die het begin van een packet identificeert. De packet_start_code_prefix is de volgende reeks bits: '**0000 0000 0000 0000 0000 0001**' (0x000001).
- **Stream_id:** geeft de soort data weer in het packet en hiervoor is in ISO13818.1 een tabel gedefinieerd. Bij een ECM zal deze waarde '**1111 0000**' (0xF0) zijn en bij een EMM '**1111 0001**' (0xF1).
- **PES_packet_length**: Een 16 bits veld dat het aantal bytes in het PES packet aangeeft dat na dit veld volgt. (De waarde 0 geeft aan dat de PES Packet length niet is gespecificeerd en niet begrensd is. Dit kan alleen vookomen in PES packets waarvan de data een video elementary stream is die in Transport Stream packets is verzonden.)

Voor de databytes in een ECM/EMM wordt in ISO13818 geen structuur voorgeschreven. Dit zal waarschijnlijk het onderzoeksonderwerp worden bij de bestudering van de diverse coderingen zoals Irdeto, Seca, etc.

Deze informatie over de transportstream is afkomstig uit de ISO13818.1 specificaties. Er is hier slechts een globale beschrijving met enkele details opgenomen om de werking te doorgronden en een beeld te vormen van wat ons te wachten staat. Voor de details van alle packets, descriptors, tables, etc. kan ISO13818-1 worden geraadpleegd.

3.8 En nu verder…

We weten nu de plaats van onze emulator (de applicatie) in de cam (de module) en hoe deze zal communiceren met de ontvanger. We weten welke functies de emulator moet vervullen en ook bijvoorbeeld hoe we een menu hierin kunnen aanbrengen. Wat we echter nog niet weten is welke onderdelen van het gehele proces wij zelf zullen moeten ontwikkelen. De application, session en transport Layer zullen we ongetwijfeld moeten ontwerpen en programmeren. Maar moeten we bijvoorbeeld ook de link layer zelf ontwikkelen? En zo ja, hoe spreken we de physical Layer dan aan? En als de link layer wél reeds beschikbaar is, hoe spreken we hem dan aan?

Literatuurverwijzingen:

- http://www.bjpace.com.cn/data/tec/tec-DVB/DVB%20BlueBooks%20Standards/Specifications%20and%20Standards/interfacing/dvb-ci/EN50221.PDF
- http://neuron2.net/library/mpeg2/iso138181.doc
- http://users.pandora.be/satelliet/mpegnorm.pdf

4. Matrix Cam

4.1 Inleiding

De op het moment van het schrijven van dit rapport meest voorkomende UCAS Cams zijn de Matrix, de Xcam en de Dragon CAM. Algemene info over de beschikbare CAM's is eenvoudig op internet te vinden. De Matrix CAM kennen we tot op heden in drie generaties: De Matrix, de Matrix Reloaded en de Matrix Revolutions. Gezien de geboortefrequentie van nieuwe versies van CAM's kunnen er dus best op het moment dat je dit leest al weer nieuwe varianten zijn verschenen.

We nemen de Matrix CAM als onderzoeksonderwerp om twee redenen. De eerste is dat de schrijver toevallig over twee CAM's kan beschikken: de Reloaded (embedded) en de Revolutions (geleend van Bommeltje ☺). De tweede reden is dat er de meeste documentatie en zelfs broncode van te vinden is.

4.2 De componenten

Op de thuispagina van de Matrix cam vinden we de specificaties van de (eerste generatie) Matrix CAM. Specificaties van de Reloaded en de Revolutions zijn helaas niet vermeld, maar ons uitgangspunt moet maar zijn dat de (eventuele) verschillen niet van invloed op onze emulatie zullen zijn.

De drie voor ons doel meest interessante processoren van de Matrix Cam zijn:

1. **Sidsa's MACtsp Multimedia engine**: De MPEG-2 transportstream loopt door deze door de firma Sidsa geproduceerde engine en kan hiermee worden gelezen en bewerkt. Met de MACtsp kunnen de ECM's en EMM's worden gefilterd en kunnen (delen van) de MPEG-2 transportstream worden descrambled. Het hart van de Sidsa MACtsp wordt gevormd door een ARM (ARM7TDMITM) processor. Dit is de processor (CPU) waarop we onze emulator zullen ontwikkelen. De MACtsp is dus eigenlijk de CPU, de Filter/Extract, Security processor en Descrambler uit ons plaatje in 3.2 De structuur.
2. **Flash memory**: een in aparte blokken ingedeeld flashmemory. Hierin kunnen we onze emulator laden.
3. **Xilinx:** De Xilinx verzorgt het MPEG transport tussen de ARM processor en de PCMCIA interface.

Verder zijn er nog extra geheugenchips aanwezig op de emulator, zoals bijvoorbeeld de CMOS SRAM. Het is de schrijver niet gelukt verdere details over de functie hiervan in de CAM te verkrijgen. In ieder geval heeft iedere computer gestuurde apparatuur een RAM nodig voor een (snelle) buffer voor het uitvoeren van commando's en het draaien van programma's.

In Appendix 4: Specificaties Matrix zijn meer technische details opgenomen van de diverse onderdelen van de CAM. Gezien onze doelstelling en de beperkte hardwarekennis van de schrijver gaan we op deze onderdelen niet dieper in dan waarschijnlijk voor het ontwikkelen van een emulatie noodzakelijk is. Voor de liefhebbers zijn op de Matrix homepage diverse verwijzingen te vinden naar de datasheets van deze processoren.

Het enorm goede nieuws voor ons is dat voor de ARM processor een complete SDK (Software Development Kit) beschikbaar is, waarmee we de software voor onze emulator kunnen ontwikkelen. En ons geluk houdt hier niet mee op. Er zijn namelijk ook nog eens standaard routines voor de MACtsp beschikbaar (core libraries) waarin reeds standaard routines zijn opgenomen voor de taken die ons staan te wachten, zoals het filteren van ECM's en EMM's uit de transportstream, het aan de hand van controlwords descrambelen van (delen van) de transportstream en communicatie met een smartcard. Met de Development Kit, de beschikbare documentatie hiervan, de specificaties van de onderdelen van de CAM en de specificaties EN50221 en ISO13818-1 hebben we dus een volle gereedschapskist voor de ontwikkeling van onze emulator!

4.3 Sidsa's MACtsp: core libraries

De Sidsa MACtsp multimedia engine bevat dus het grootste deel van de functionaliteit van de CAM. Hierin bevinden zich dan ook de voor onze emulatiesoftware belangrijkste onderdelen. Het hart van de multimedia engine wordt gevormd door de ARM7 processor. Voor deze processor is een ontwikkelomgeving (SDK) te downloaden waarmee je zowel Assembly code en C code kunt schrijven en compileren. Dit is de *ARM Project Manager for Windows* met de *ARM Toolkit*.

Sidsa heeft voor de MACtsp core libraries ontwikkeld waarin een aantal functies zijn geprogrammeerd die wij vanuit onze eigen (emulatie)code kunnen aanroepen. Zo zijn er standaard routines om ECM/EMM berichten te filteren, om controlwords in de descrambler te laden, etc. In dat opzicht is ons leven dus toch wat eenvoudiger dan wij ons misschien op basis van de voorgaande hoofdstukken hadden voorgesteld. Zonder de basiskennis uit de voorgaande hoofdstukken zouden we ons echter geen raad weten met de aangeleverde routines.

Voor de in het vorige hoofdstuk beschreven layers vinden we in de core libraries aanroepbare routines (API calls). Hoewel het goed begrijpen van deze functies nog verdere studie zal vergen, geven ze ons wel een behoorlijk gevoel bij de emulatie die we gaan ontwikkelen. Het is hierom dat we ze in dit hoofdstuk globaal doornemen.

De informatie over de API calls in de onderstaande tabellen is te vinden in de diverse .doc bestanden die bij de core libraries worden meegeleverd. In de header van iedere tabel is het Word document vermeld waarin de gedetailleerde informatie kan worden gevonden. Het betreft hier routines in de programmeertaal C.

4.3.1 Configuratie routines (config.doc)

In de board.c file kunnen we een aantal parameters definiëren waarmee de configuratie van de CAM zal plaatsvinden. Tevens kunnen we aangeven of de pcmcialnit functie van de link Layer automatisch willen laten aanroepen tijdens de boot van de CAM.

4.3.2 PCMCIA interface (pcmcia.doc)

Deze functies kunnen worden aangeroepen voor het verzenden en ontvangen van de LPDU's (Link Protocol Data Units), zoals beschreven in hoofdstuk 3.

Initialisatie	
PcmciaInit	Initialiseert de pcmcia interface.
Interface handling	
pcmciaOpen	Opent de pcmcia interface en onderhandelt de bufferlengte.
pcmciaClose	Sluit de pcmcia interface.
pcmciaWrite	Stuurt een LPDU naar de pcmcia interface.
pcmciaRead	Leest een LPDU van de pcmcia interface.
pcmciaDataReady	Controleer of er data te ontvangen is (True or False).
pcmciaBufferLengthGet	Retourneert de onderhandelde bufferlengte.
Reception callback and acknowledge	
pcmciaReceptionCallbackSet	Activeert reception callback.
pcmciaReceptionAcknowledge	Bevestigt Reception Callback.

4.3.3 Seriële interface (uart.doc)

Met deze routines kunnen we communiceren over een seriële interface. Daar wij naar verwachting in onze emulator niets gaan doen met de seriële interface, zijn de beschikbare functies hier niet opgenomen.

4.3.4 Interrupt handler(pic.doc)

Er worden een aantal routines meegeleverd waarmee wij zelf interrupts van de hardware kunnen onderscheppen en hier routines voor kunnen ontwikkelen. Aangezien het de schrijver niet geheel helder is of we hier wat mee zullen willen doen en zo ja wat, worden deze in dit document op dit moment nog niet verder beschreven.

4.3.5 Timer functies (timer.doc)

Met deze functies kan gebruik worden gemaakt van de timer in de CAM. Het is de schrijver op dit moment ook nog niet geheel duidelijk wat wij hiermee zouden gaan doen. De controlwords worden om de 2 tot 10 seconden gewisseld. Wellicht is de timer noodzakelijk om te zorgen dat wisseling van de controlwords op de juiste momenten plaatsvindt. Er zal uiteindelijk een reden zijn, waarom deze functies expliciet worden meegeleverd en gedocumenteerd.

Timer configuration	
timerInit	Initialiseert een timer.
timerOptionsGet	Vraagt de configuratie van een timer op
timerValueSet	Zet de initiële timerwaarde
timerValueGet	Verkrijgt de waarde van een timer
Timer Handling	
timerHandlerSet	Stelt het einde in van een count handler van een timer
timerHandlerGet	Verkrijgt het einde van een count handler van een timer
timerEnable	Deze functie hervat een timer
timerDisable	Deze functie stopt een timer
Extended functionality	
timerDelay	Hiermee kan een timer op een specifieke manier worden vertraagd.

4.3.6 Smartcard functies (scard.doc)

Deze verzameling functies stelt ons in staat om met smartcards te communiceren.

Inititalisatie	
scardInit	Initialiseert het gebruik van de smartcard interface
Interfacehandling	
scardOpen	Reset de kaart en wacht op de ATR (Answer to reset)
scardDelayFunctionSet	Stelt een vertragingsfunctie voor de kaart in
scardClose	Sluit de verbinding met de kaart (simuleer verwijdering van kaart)
scardByteWrite	Stuurt een karakter naar de kaart
scardByteRead	Leest een karakter in van de kaart
scardTransmitterEmpty	Controleert of er data kan worden geschreven
scardDataReady	Controleert of er data klaarstaat om te worden gelezen
Smartcard ingevoerd of verwijderd	
scardStateGet	Vraagt de status van de smartcard interface op
scardCallbackInsertSet	Activeert een callback voor invoering van een smartcard
scardCallbackExtractSet	Activeert een callback voor verwijdering van een smartcard

4.3.7 MPEG functies (mpeg.doc)

Deze belangrijke functies stellen ons in staat de MPEG stream te besturen, te filteren en te descrambelen. Bijzonder belangrijke funties voor onze emulator dus!

Inititalisatie	
mpegInit	Initialiseert het mpeg hardwareblock
mpegReset	Herinitialisatie van het mpeg hardwareblock
Filterblock	
mpegFilterSet	Hiermee kan het masker voor een filter worden ingesteld
mpegFilterGet	Hiermee kunnen het masker en de “matches” worden opgevraagd
mpegPidFiltersSet	Stelt een aantal filters in voor een PID
mpegPidFiltersGet	Hiermee kunnen de filters voor een PID worden opgevraagd
mpegPidFiltersAdd	Voegt filters toe aan een PID
mpegPidFiltersRemove	Verwijdert filters van een PID
mpegPidListFiltersSet	Hiermee kunnen filters voor meerdere PIDS worden ingesteld
mpegDataGet	Verkrijgt een gefilterd packet of sectie van een PID
mpegDataAndMaskGet	Verkrijgt een gefilterd packet of sectie van een PID en het filter waardoor de data is verkregen
Descrambling block	
mpegPidControlWordSet	Associeert een control word ID met een PID
mpegPidControlWordGet	Vraag het control word ID van een PID op
mpegPidListControlWordSet	Associeert een control word ID met meerdere PID’s
mpegControlWordSet	Kent een ID aan een control word toe
Handling Pid’s	
mpegPidStart	Start filtering/descrambling van één PID
mpegPidStop	Stopt filtering/descrambling van één PID
mpegPidSuspend	Stopt tijdelijk filtering/descrambling van één PID
mpegPidResume	Hervat filtering/descrambling van één PID
mpegPidOptionsSet	Stelt filter opties voor een PID in
mpegPidOptionsGet	Vraagt filter opties voor een PID in
mpegPidRemove	Verwijdert een PID uit het mpeg block
mpegPidListStart	Start filtering/descrambling van meerdere PID’s
mpegPidListStop	Stopt filtering/descrambling van meerdere PID’s
mpegPidListSuspend	Stopt tijdelijk filtering/descrambling van meerdere PID’s
mpegPidListResume	Hervat filtering/descrambling van meerdere PID’s
mpegPidListOptionsSet	Stelt filteropties voor meerdere PID’s in
mpegPidListOptionsRemove	Verwijdert meerdere PID’s uit het mpeg block
Globale functionaliteit	
mpegStart	Zet de hardware filtering aan
mpegStop	Zet de hardware filtering uit
mpegSuspend	Stop tijdelijk de hardware filtering
mpegResume	Hervat de hardware filtering
mpegDataSet	Voegt een packet in de mpeg stream tussen

4.4 Ontwikkelomgeving: ARM Project Manager for Windows

4.4.1 Inleiding

De ARM Project Manager for Windows is een complete Software Development Kit voor de ARM processor die zich in de Sidsa MACtsp bevindt. Dit is natuurlijk een ontwikkelomgeving voor de ARM processor in het algemeen, dus voor alle apparaten waarin zich een ARM processor bevindt. Tezamen met de in de Core Libraries meegeleverde API calls hebben we echter een volledige ontwikkelomgeving voor de Sidsa gebaseerde cams!

4.4.2 Downloaden en installeren

Er zijn verschillende versies van de ARM Project Manager for Windows. Versie 1.0 kan bijvoorbeeld worden gedownload van http://www.et.fnt.hvu.nl/docenten/pkramer/ARM/ARM.htm. Hier wordt tevens een beschrijving van de installatie gegeven. Deze komt simpelweg neer op het unzippen van de files in een bepaalde directorynaam en een padverwijzing hiervoor opnemen in de autoexec.bat file. Er zijn ook nieuwere versies van de Project Manager te vinden op internet.

4.4.3 Project en sourcecode aanmaken

Na installatie kan de ARM Project Manager worden opgestart. Het eerste dat we moeten doen is een project aanmaken. Dit doen we door te kiezen voor Project -> New. In het Windows bladervenster kiezen we een directory voor ons project en geven de naam in. Direct erna komen we in het Edit Project dialoogvenster. Hierin kunnen we de (broncode) files selecteren die deel uitmaken van ons project. We doen dit met de Add knop. Deze (ascii) sourcefile(s) moet(en) aanwezig zijn op de harddisk. Als we deze nog niet hebben, dan kunnen deze worden aangemaakt met iedere source editor of zelfs kladblok (notepad) van Windows. Ook in de ARM Project Manager kunnen we sourcefiles aanmaken met de menukeuze File -> New.

4.4.4 Compileren en linken

In het venster Project -> Show kunnen we de samenstelling van ons project zien. Een dubbelklik op een sourcekode file opent deze file in de standaard editor van de ARM Project Manager. De menukeuze Project -> Build compileert en linkt de files uit ons project. Als hier fouten in zitten, worden deze in het Project Show venster getoond, en kunnen we door te dubbelklikken op de betreffende foutmelding rechtstreeks naar de betreffende regel in de sourcecode gaan om deze te corrigeren.

4.4.5 Runnen en debuggen

Na een succesvolle build kunnen we ons programma testen met Project -> Execute en Project -> Debug. Voor onze emulatie zullen we van deze mogelijkheden slechts beperkt gebruik kunnen maken. Dit omdat wij niet met bijvoorbeeld de standaard printf() functie output op het beeld zullen zetten (we zullen hier de MMI objecten voor gebruiken) en de meegelinkte functies uit de core libraries niet in de emulatie uitgevoerd zullen kunnen worden. De MACtsp engine zit natuurlijk niet in onze PC.

4.4.6 In de CAM laden

De linker produceert uiteindelijk een image dat uitvoerbare code voor de ARM processor in de MACtsp produceert. Deze imagefile is de uiteindelijke .bin file, die we met bijvoorbeeld de CAS2 interface in onze Matrix CAM kunnen laden.

We hebben hiermee voor het moment voldoende inzicht in de werking van de ontwikkelomgeving. Specifieke problemen hiermee zullen we verderop in ons project ongetwijfeld tegenkomen en hiervoor oplossingen zoeken.

4.5 En nu verder…

In dit hoofdstuk hebben we de in de eerdere hoofdstukken opgedane theoretische kennis aangevuld met en gekoppeld aan de hardware en de software ontwikkelomgeving van één specifieke CAM, de Matrix, en hiermee waarschijnlijk ook alle andere SIDSA gebaseerde CAM's. In de eerdere hoofdstukken hebben we naast algemene achtergrond informatie met name geleerd **wat** we moeten maken en in dit hoofdstuk hebben we geleerd **hoe** we dit moeten gaan doen. We hebben door de core libraries te bestuderen geleerd welke bouwstenen we aangeleverd hebben gekregen voor onze emulator en gezien hoe we in de Project Manager for Windows onze emulator kunnen gaan ontwikkelen. Onze gereedschapskist is dus goed gevuld!

Alvorens nu daadwerkelijk onze handen op het toetsenbord te zetten en te gaan programmeren gaan we in het volgende hoofdstuk eerst nadenken over de details van onze emulator. We gaan de doelstellingen en de uitgangspunten van onze emulator benoemen en deze verder uitwerken in een technisch ontwerp.

Literatuurverwijzingen:

- Homepage van de Matrix
- http://www.et.fnt.hvu.nl/docenten/pkramer/ARM/ARM.htm
- http://develmm.free.fr/ (core libraries en uitstekende info, maar franstalig ☹)

5. Technisch ontwerp

5.1 Inleiding

Hoewel de verleiding natuurlijk groot is, zullen we niet direct aan het programmeren slaan. Om tot een goed product te komen, is het verstandig eerst de doelstellingen van onze emulatie te definiëren. Daarnaast is het een goed gebruik voor een te ontwikkelen systeem eerst een gestructureerd ontwerp te maken. Hierdoor wordt het programma opgebouwd uit logische routines en worden spaghettislierten voorkomen. De software wordt hierdoor ook beter onderhoudbaar.

5.2 Doelstelling

De voornaamste doelstelling van het gehele project is de kennis van de werking van een emulatie en de hiervoor benodigde kennis voor meer mensen toegankelijk te maken. Wij zullen hiertoe trachten te komen tot broncode voor een emulatie, waarin alle bekende functionaliteit van de bekende emulaties voor Matrix, Xcam, etc. is opgenomen. Er zijn echter grenzen tot hoever we in het kader van de wetgeving mogen gaan. Zo zullen de communicatie tussen cam en ontvanger en de menustructuur in de emulator daadwerkelijk kunnen worden geprogrammeerd. Ook het principe van het filteren van ECM's en EMM's zullen we kunnen programmeren, maar de grens zal liggen bij het daadwerkelijk decoderen van de bekende providers. Het betreft hier namelijk gegevens zoals algoritmes, sleutels en hashtabellen, die het beschermde eigendom van de leveranciers van encryptiesystemen en providers zijn, en vrijschakeling is nu eenmaal verboden. Van dit soort gegevens zullen we in het kader van deze studie dan ook slechts de algemene werking onderzoeken.

In dit hoofdstuk beperken we ons tot de structuur van de emulator, de communicatie met de ontvanger en de werking van een menu. Daarna gaan we in het volgende hoofdstuk de programmeertaal C bekijken en het technisch ontwerp programmeren, om te controleren of we op de goede weg zitten. Nadat we de algemene werking van encrypties hebben bestudeerd, zullen we het afhandelen van verzoeken tot decodering van de ontvanger toevoegen aan de emulatie.

5.3 Technisch Ontwerp

5.3.1 Schematechniek

Om onze doelstelling van gestructureerde, onderhoudbare programmatuur te realiseren gaan we eerst een ontwerp maken van onze emulatie. We gaan dit doen met de voor programmeurs bekende Nassi Schneidermann PSD diagrammen (Programma Structuur Diagrammen). Zie voor een korte uitleg:
http://home.tiscali.be/sectieplc.brugge/PLC/Algemeen/Analyse/06_Nassi-Schneidermann.htm

5.3.2 Structuur van de emulatie

Er moest een keuze worden gemaakt voor de opzet van de emulatie. De schrijver heeft gekozen voor een opzet waarbij verschillende applicaties door elkaar heen communiceren met verschillende resources op de host. Hierdoor kun je er niet van uitgaan dat na het verzenden van een object het retourobject van de host een antwoord hierop is. Dit zou best een object kunnen zijn in een andere session voor een andere application. Dit is natuurlijk een wat andere opzet dan dat je uit zou gaan van een opzet waarbij op ieder object direct het antwoord volgt. Naar de mening van de schrijver resulteert dit in een weliswaar wat ingewikkelder maar breder inzetbare oplossing. En misschien is het zelfs wel noodzakelijk…

Als we de beschrijving in hoofdstuk 3. De CAM: het model bestuderen, dan is er een boot-fase waarin we ons aanmelden in de ontvanger waarna we in een soort “standby” modus terecht komen. We wachten hier op een verzoek van de ontvanger om actie: het decoderen van een kanaal, het opstarten van het menu, etc. We onderkennen in het technisch ontwerp de layers van het CAM model (Zie: 3.6.1 Het principe van layering):

1. Application Layer
2. Session Layer
3. Transport Layer
4. Link Layer
5. Physical Layer

Voor iedere layer maken we een aparte module. Op de application layer wordt de daadwerkelijke functionaliteit geprogrammeerd, zoals bijvoorbeeld de menu afhandeling en het decoderen van zenders. De andere layers hebben uitsluitend tot doel de communicatie tussen de Application Layer en de Resources en de ontvanger te verzorgen.

Communicatie tussen cam en ontvanger stroomt zowel in de ontvanger als in de cam door de lagen van het model. Iedere layer handelt de communicatie met zijn soortgenoot aan de andere kant af, zoals het openen en sluiten van verbindingen. Een layer ontvangt zijn eigen soort objecten van zijn soortgenoot aan de andere kant via zijn onderliggende layer en assembleert hieruit de objecten voor de bovenliggende laag. Omgekeerd neemt een layer objecten aan van de bovenliggende layer en stopt deze in zijn eigen soort objecten. Deze worden weer overgedragen aan de onderliggende layer voor verdere verwerking. Dit overdragen gebeurt door middel van buffers die zich tussen iedere layer bevinden. Per laag zijn er twee buffers: één voor data naar boven het model in en één voor data naar beneden het model in.

EVA (*Emulatie Voor Allen*)

```
rc=Initialisatie()
while   rc == OK                                   /* zolang pcmcia open */
    while   pcmciaDataReady == FALSE
        doe niks                                   /*wacht op data van host */
    function="up"          /* data host omhoog naar application(s) brengen */
        rc = Physical_layer(function)
        rc = Link_layer(function)
        rc = Transport_layer(function)
        rc = Session_layer(function)
        rc = Application_layer()
    function=down          /* data van application(s) naar host brengen */
        Session_layer(function)
        Transport_layer(function)
        Link_layer(function)
        rc=Physical_layer(function)
```

Allereerst wordt eerst een initialisatieroutine uitgevoerd, die de pcmcia interface opent en de buffers initialiseert. Daarna moeten we wachten tot de host een transport connection met ons opent. Als dat is gebeurd, kunnen een session openen naar de Resource Manager. Als dat succesvol is verlopen kunnen een session openen naar de Application Manager en de CA Manager en ons daarbij aanmelden. Hierna is het wachten op de verzoeken die de host ons zendt, zoals het openen van een MMI sessie of het descramblen van een kanaal.

De hoofdroutine van onze emulatie roept eerst de initialisatie aan waarin de pcmcia interface wordt geopend. Daarna wordt telkens gewacht op data van de receiver. Na ontvangst van data zorgt de hoofdroutine ervoor dat alle lagen van het model in de juiste volgorde worden aangeroepen.

Dit proces eindigt wanneer de cam uit de receiver wordt gehaald of de receiver wordt uitgeschakeld.

5.3.3 Buffers

We definiëren dus per layer twee buffers: up en down. Er ontstaan dan de volgende buffers:

1. Lpdu_up : de van de pcmcia interface ontvangen lpdu's, hiervan moeten tpdu's worden gemaakt
2. Lpdu_down : de via de pcmcia interface te verzenden lpdu's
3. Tpdu_up : de ontvangen tpdu's, hiervan moeten spdu's worden gemaakt
4. Tpdu_down : de te verzenden tpdu's, hiervan moeten lpdu's worden gemaakt
5. Spdu_up : de ontvangen spdu's, hiervan moeten apdu's worden gemaakt
6. Spdu_down : de te verzenden tpdu's, hiervan moeten tpdu's worden gemaakt
7. Apdu_up : de ontvangen apdu's, die moeten worden verwerkt door het betreffende proces.
8. Apdu_down : de te verzenden apdu's, hiervan moeten spdu's worden gemaakt

De instroom van data begint met het lezen van lpdu's van de host van de PCMCIA interface op de Physical Layer. Vervolgens worden telkens in de juiste volgorde routines aangeroepen die ieder de data op hun niveau in de buffer_up verwerken en klaarzetten in de buffer voor het volgende niveau. Zo stroomt de data naar boven het model in. pdu's die te maken hebben met de transportbesturing zoals bijvoorbeeld Open_session_requests e.d. worden op de hierbij behorende layer direct verwerkt en stromen niet door naar boven. pdu's met daadwerkelijke data stromen verder naar boven totdat zij uiteindelijk op de Application Layer worden verwerkt. Hier zal dus de daadwerkelijke functionaliteit van de emulatie worden geprogrammeerd. Routines voor bijvoorbeeld het decoderen van verschillende coderingen en het afhandelen van het menu. Antwoorden vanaf de Application Layer stromen op identieke wijze naar beneden het model in, via de pdu_down buffers totdat zij uiteindelijk op de Physical Layer naar de PCMCIA interface worden geschreven naar de host.

De buffers maken we door per buffer twee arrays te maken: een string array voor de pdu's en een integer array voor de lengte van de pdu's in de string array. Zo maken we bijvoorbeeld voor de Link Layer o.a.: *char* lpdu_up[x][y] en *int* len_lpdu_up[x]. Hierbij staat x voor de omvang van de buffers in aantallen pdu's en y voor de maximale lengte van een pdu. In len_lpdu_up[3] vinden we dus de lengte van de lpdu in lpdu_up[3]. Een lpdu wordt uit de buffer gewist door de waarde 0 in het corresponderende item in de lengte array len_lpdu_up[] te schrijven. De data blijft dan weliswaar in de array staan, maar die wordt bij de volgende pdu overschreven. Het maakt hierbij niet uit dat de nieuwe pdu kleiner is dan zijn voorganger, omdat we toch altijd het aantal bytes inlezen dat in len_lpdu_up[] is aangegeven.

Het is mogelijk dat er pdu's in een buffer staan die niet direct verwerkt kunnen worden. Zo mogen we bijvoorbeeld pas een tpdu verzenden als de host erom vraagt. En dat terwijl deze staan te wachten er nieuwe pdu's worden toegevoegd achteraan de buffer. Vervolgens kunnen we weer een pdu verwerken en nadat we dat gedaan hebben, worden er weer pdu's achteraan de buffer toegevoegd. We gaan hier twee pointers voor gebruiken: *int* *next_in en *int* *next_out. Next_in wijst naar de entry in de tabel waar de eerstvolgende nieuwe pdu moet worden gezet, en next_out wijst naar de entry in de tabel waar de eerstvolgende te verwerken pdu staat. Na toevoeging van een nieuwe pdu verhogen we next_in met 1. Zodat de volgende pdu erachter wordt toegevoegd, enz.. Na het verwerken van een pdu verhogen we next_out met 1. Aan het einde van de array beginnen beide indexen weer bij 1. Op het moment dat next_in gelijk is aan next_out, dan is de buffer dus leeg. Next_in plaatst eigenlijk dus de pdu's in de buffer en next_out loopt erachter aan om ze er weer uit te halen.

5.3.4 Het ontwerp

Het ontwerp is opgenomen in bijlage 5. Hier vinden we de programma structuurdiagrammen. Er is zoveel mogelijk commentaar opgenomen als toelichting op de statements. De statements zijn reeds richting de programmeertaal C geschreven maar er is geen echte syntax gehanteerd. Het is bijvoorbeeld soms nodig om een bepaalde bit in een byte te bekijken. In dat geval is gewoon tekst opgenomen als bitx van byte[y] van de betreffende pdu. Hopelijk begrijpt de lezer hiermee voldoende.

De beschrijvingen van de pdu's zijn natuurlijk te vinden in de EN50221 specificaties.

Ook is door een gebrek aan kennis van de programmeertaal C redelijk lichtvaardig omgegaan met de definitie en het gebruik van variabelen. Zo worden nauwelijks variabelen overgedragen via de routines en wordt ervan uitgegaan dat de variabelen zoals bijvoorbeeld de buffers op alle lagen van de routines beschikbaar en muteerbaar zijn. In de praktijk zal zich dat waarschijnlijk vertalen in definitie van deze variabelen als globale variabelen of door middel van het overdragen van pointers naar deze variabelen. Dit zal tijdens de programmering verder moeten worden uitgewerkt, maar het is de overtuiging van de schrijver dat dit niet tot onoverkomelijke problemen zal leiden.

5.4 En nu verder…

We hebben nu een gedetailleerd ontwerp van onze emulatie. Er zijn nog een paar puntjes die tijdens de programmering zullen moeten worden uitgezocht. Zo heeft bijvoorbeeld iedere application heeft zijn eigen session(s) naar resource(s) in de ontvanger. Maar is er ook een verband tussen een sessionnumber en een transport connection? Loopt de data van een session altijd over dezelfde transport connection of zijn we vrij om iedere transport connection te gebruiken?

We gaan nu in het volgende hoofdstuk de grondbeginselen van de programmeertaal C bekijken en aan de hand hiervan het technisch ontwerp omzetten in een uitvoerbaar programma voor de cam. Als dit ons lukt, dan zijn we daadwerkelijk een heel eind verder. Dan kunnen we ons na hoofdstuk 6 gaan verdiepen in de verzoeken van de ontvanger tot decodering van een zender.

6. Programmering

7. Coderingen

8. Emulatiesoftware

9. Smartcards

Appendix 1: DVB Algemeen

(Overgenomen van : http://mccb.be.eu.org/leden/krbonne/sat-tv.belgie.html#D4)

4. DVB-S: Digital Video Broadcasting - Satellite

DVB-S is een systeem voor digitale uitzendingen van audio, video en data via satelliet. Het vormt eveneens de basis voor DVB-MS, de variant van DVB over LMDS/MVDS. Hier volgt een beschrijving over enkele belangrijkste elementen van digitale uitzendingen en DVB in het algemeen en DVB-S in het bijzonder.

4.1 Streams, kanalen en boeketten

Het eerste belangrijke verschil tussen analoge en digitale uitzendingen is dat het verband tussen een transponder en een TV-programma volledig verdwijnt. Bij analoge uitzendingen bestaat er een duidelijk één-op-één verband tussen een 'kanaal' (een transponder op een satelliet) en een TV-programma. Eén kanaal komt overeen met één programma en visa-versa. Bij digitale uitzendingen is dit helemaal niet meer van toepassing.

- Een satelliet-transponder kan één of meerdere 'transport-streams' bevatten.
- Een transport-stream kan één of meerdere TV-, radio- of data-kanalen bevatten.
- Een TV- of radio-programma bestaat uit een combinatie van een aantal audio- en/of video- en/of data-kanalen.
- Anderzijds worden verschillende programma's (mogelijk verspreid over verschillende transponders op één of meerdere satellieten) gebundeld tot één enkel boeket.

4.1.1. De transport-stream

Een 'transport-stream' is, zoals de naam het zegt, de 'transportlaag' van digitale TV. Het is een stroom van bits, uitgezonden door de satelliet, met een bepaalde snelheid, op een bepaalde frequentie en polariteit van een satelliet-transponder. Ze komt overeen met 'zoveel miljoen bits per seconde'.

Een ander verschil met analoge uitzendingen is dat een transport-stream NIET altijd de gehele transponder van de satelliet in beslag neemt. Soms kan een transport-stream slechts een deel van het spectrum van een transponder in beslag nemen, waardoor één transponder op een satelliet meerdere transport-streams kan bevatten. Soms bevindt zich op een transponder zowel een analoog TV-kanaal als een digitale transport-stream.

4.1.2 De 'PES': Packetised Elementary Stream

- Binnenin de transport-stream bevindt zich één of meerdere 'substreams'; de zogenaamde 'PES' (Packetised Elementary Stream).
- Elke PES bevat één enkele uitzending: een TV-videosignaal, een geluidskanaal, teletekstinformatie, ondertitelinginformatie, of 'pure data'.
- Elke PES kan een verschillend bitrate hebben naar gelang het type informatie dat in de sub-stream opgeslagen zit. Het spreekt voor zich dat een videosignaal meer informatie moet bevatten dan een stream die enkel ondertitelings-informatie bevat.
- Elke PES wordt geïdentificeerd aan de hand van een 'PID' (PES Id).

4.1.3 Het boeket

Een boeket is een groepering van programma's van een bepaalde aanbieder (bv. een betaal TV-aanbieder). Een boeket kan zelfs verspreid zijn over verschillende transponders van een satelliet of zelfs over meerdere satellieten op dezelfde positie.

4.2: SRs, FECs: de beschrijving van een transport-stream

Een transport-stream wordt bepaald door vier waarden:

1. Satelliet-positie (bv. 'Astra 1' op 19,2 graden oost).
2. Frequentie en polarisatie: (bv. 12,574 GHz, horizontale polarisatie)
3. SR (Symbol Rate): zie hieronder
4. FEC (Forward Error correction), zie hieronder.

4.2.1. SR: Symbol rate

Indien men een transportstream op 'technisch' niveau bekijkt, dan is dat eigenlijk een radio-draaggolf die een vast aantal keer per seconde van fase verandert. Elke faseverandering noemt men een 'symbool', en omdat men bij DVB-S gebruik maakt van QPSK-modulatie, vertegenwoordigt elk symbool 2 bits.

De symbol-rate is het aantal keer per seconde dat de transport-stream van fase verandert. Het bepaalt dus effectief de hoeveelheid informatie per seconde wordt verstuurd door de totale transport-stream.

Eén van de eigenschappen van radio-communicatie bepaalt dat de totale hoeveelheid van het radio-spectrum (de zg. bandbreedte) dat een radio-signaal heeft rechtstreeks verband houdt met het aantal maal dat het radiosignaal per second verandert.
Voor digitale uitzendingen op satelliet betekent dit dat de bandbreedte die een transport-stream nodig heeft recht evenredig is met de symbol-rate van de transportstream (want de SR is net de maat voor het aantal veranderingen per second van de draaggolf).

Veel gebruikte symbol-rates zijn 27500 of 22000 Ksymbols/s omdat de benodigde bandbreedte voor zo'n signaal net overeenkomen met wat beschikbaar is op één volledige satelliet-transponder van bepaalde satellieten. Deze SR komt tegen 2 bits per symbol overeen met 55,5 of 44 MBps aan 'pure' bitrate.

4.2.2 Fout-correctie: Solomon-Reed en FEC

Een radioverbinding is nooit perfect, en ook bij satelliet-verbindingen is het altijd mogelijk dat er fouten optreden tijdens het oversturen van een signaal.

Omdat een omroepsysteem slechts in één richting werkt (van satelliet/zender naar de ontvanger) wordt hier gebruik gemaakt van "FEC" (ofwel "Forward Error Correction"). Bij dit soort systeem wordt reeds bij het uitzenden van het radiosignaal extra informatie meegestuurd zodat -indien er fouten optreden bij het oversturen van de bits van de zender/satelliet naar de ontvanger- de ontvanger dit kan detecteren en indien mogelijk ook de fouten kan corrigeren. De error-correctie bits worden dus vooraf doorgestuurd, vandaar de naam "forward error correction".

Een transport-stream van een satelliet-verbinding wordt 'beschermd' door twee verschillende error correctie-technieken: de 'outer-coding' (meestal aangeduid met de naam 'Reed Salomon') en de 'inner-coding' (gewoon aangeduidt met 'FEC').

De eerste (Reed-Salomon) neemt een vast percentage van de transport-stream in beslag (8%) en kan niet worden gewijzigd. De tweede (FEC) is wel instelbaar en wordt aangeduid met een breuk. Een FEC van bv. '3/4' betekent dat er per 3 bits 'echte' gegevens er een 4de bit meegestuurd wordt voor error-correctie. Veel gebruikte FEC-waarden zijn 1/2, 3/4, 5/6 of 7/8.

4.2.3 Een voorbeeld: BVN
Bon, voorbeelden zijn altijd een stuk duidelijker dan saaie getallen.
Dit zijn de gegevens voor de transport-stream waarin de TV-zender 'BVN' wordt uitgezonden. (BVN = "Beste van Vlaanderen en Nederland", een zender uitgebaat door de VRT en de openbare omroepen uit Nederland)

Positie: Astra 1 (op 19,2 graden oost)
Transponder: 12,574 GHz, horizontale polarisatie
transport-stream: Symbol rate 22000 (Ksymbols/s), FEC 5/6

4.3 De PES: binnenin de transport-stream
Een transport-stream is echter maar de pure 'drager' van de binaire informatie. De eigenlijk informatie die men wenst te bekijken of te beluisteren bevindt zich 'binnenin' de transport-stream in de verschillende 'substreams' of (in het juiste vakjargon) de 'PES' (Packetised Elementry Stream) in de transport-stream.

Even herhalen wat reeds kort werd besproken in 4.1.2.

- Elke PES bevat één stroom met 'informatie'. Deze informatie kan verschillend zijn van aard. Bijvoorbeeld:
  - beeld (video)
  - geluid (mono, stereo, surround sound, ...),
  - teletext-informatie,
  - ondertitel-informatie,
  - 'pure data' (bv. internet-data).
- Elke PES wordt aangeduid via een nummer: de 'PID'.

Daarnaast bevat een transport-stream echter ook nog een hoeveelheid administratieve informatie:

- Benaming en parameters van de individuele substreams.
- Het beeldkanaal en het geluidskanaal die moeten worden gekoppeld voor het verkrijgen van een 'programma'.
- Informatie over andere transport-streams.
- 'Klok'-informatie, nodig om het geluid van een film synchroon te houden met het beeld: de PCR-stream.
- Informatie of een programma al dan niet geëncrypteerd is.
- De 'EPG' ('electronic program guide', de elektronische programmagids)

4.4 En uiteindelijk: het programma

4.4.1 Een TV-programma zoals we het nu kennen
De laatste stap die nog moet gebeuren is het opbouwen van een 'programma': datgene waar wij als kijker naar kijken. Dat verkrijgt men gewoon door verschillende substreams te combineren. Voor een TV-kanaal is dat minimaal één video-signaal samen met één geluidskanaal.

Verder moet ook worden vermeld dat er -onzichtbaar voor de gebruiker- altijd nog een 'PCR' (klok) signaal wordt meegestuurd. Dit is nodig om de verschillende datastromen synchroon met elkaar te laten lopen. Indien dit niet klopt, bv. waarbij het geluid voor of achter loopt t.o.v. het beeld, dan spreekt men over 'lip sync' problemen.

4.4.2 Een TV-programma zoals het kan zijn

Echter, één van de voordelen van digitale TV, is dat men in principe alles met alles kan combineren. Hoewel het samenvoegen van één videosignaal met één geluidssignaal de meest logische combinatie is, zijn er veel meer mogelijkheden. Enkele voorbeelden:

Een 'uitgebreid' TV-kanaal. Dit bevat naast de video-stream (het beeld) en de audio (het geluid) eveneens 'teletekst', ondertitels en de elektronische programma gids (EPG).
Soms bevat een TV-kanaal meerdere geluidskanalen: bv. verschillende talen (zoals EbS, Eurosport of Arte) of een combinatie van een 'gewoon' audio-kanaal met een 'Surround'-geluidskanaal.
Het is ook denkbaar om meerdere videokanalen samen te voegen met één enkel audiokanaal. (Bv. een sportwedstrijd bekeken vanuit verschillende camerastandpunten).
Een andere mogelijkheid: een 'onderwijs' TV-kanaal, bestaande uit beeld, geluid en een 'data'-kanaal waarlangs de slides van de cursus worden doorgestuurd.

4.4.3 Het programma: de gegevens

Al deze extra gegegevens (Audio-PID, Video-PID, enz.) bepalen samen met de gegevens van de transport-stream het TV-programma. Nemen we opnieuw het programma 'BVN' (zie 4.2.3), dan krijgen we de volgende gegevens:

De transport-stream:

- Astra 1 (op 19,2 graden oost),
- 12,574 GHz, horizontale polarisatie,
- SR 22000, FEC 5/6

De gegevens van het programma 'BVN' binnenin deze transport-stream:

- Video-PID 516
- Audio-PID 690

Appendix 2: Program Map Table (PMT) (ISO13818-1)

The Program Map Table provides the mappings between program numbers and the program elements that comprise them. A single instance of such a mapping is referred to as a "program definition." The program map table is the complete collection of all program definitions for a Transport Stream. This table shall be transmitted in packets, the PID values of which are selected by the encoder. More than one PID value may be used, if desired. The table may be segmented into one or more sections, before insertion into Transport Stream packets, with the following syntax. In each section the section number field shall be set to zero. Sections are identified by the program_number field.

Table 2-29 -- Transport Stream program map section

Syntax	No. of bits	Mnemonic
TS_program_map_section() {		
table_id	**8**	**uimsbf**
section_syntax_indicator	**1**	**bslbf**
'0'	**1**	**bslbf**
Reserved	**2**	**bslbf**
section_length	**12**	**uimsbf**
program_number	**16**	**uimsbf**
Reserved	**2**	**bslbf**
version_number	**5**	**uimsbf**
current_next_indicator	**1**	**bslbf**
section_number	**8**	**uimsbf**
last_section_number	**8**	**uimsbf**
Reserved	**3**	**bslbf**
PCR_PID	**13**	**uimsbf**
Reserved	**4**	**bslbf**
program_info_length	**12**	**uimsbf**
for (i=0; i<N; i++) {		
Descriptor()		
}		
for (i=0;i<N1;i++) {		
stream_type	**8**	**uimsbf**
Reserved	**3**	**bslbf**
elementary_PID	**13**	**uimsnf**
Reserved	**4**	**bslbf**
ES_info_length	**12**	**uimsbf**
for (i=0; i<N2; i++) {		
descriptor()		
}		
}		
CRC_32	**32**	**rpchof**
}		

table_id -- This is an 8 bit field, which in the case of a TS_program_map_section shall be always set to 0x02 as shown in table 2-27 on page 47 above.

section_syntax_indicator -- The section_syntax_indicator is a 1 bit field which shall be set to '1'.

section_length -- This is a 12 bit field, the first two bits of which shall be '00'. It specifies the number of bytes of the section starting immediately following the section_length field, and including the CRC. The value in this field shall not exceed 1021.

program_number -- program_number is a 16 bit field. It specifies the program to which the program_map_PID is applicable. One program definition shall be carried within only one TS_program_map_section. This implies that a program definition is never longer than 1016 bytes. See Informative Annex C for ways to deal with the cases when that length is not sufficient. The program_number may be used as a designation for a broadcast channel, for example. By describing the different program elements belonging to a program, data from different sources (e.g. sequential events) can be concatenated together to form a continuous set of streams using a program_number. For examples of applications refer to Annex C.

version_number -- This 5 bit field is the version number of the TS_program_map_section. The version number shall be incremented by 1 modulo 32 when a change in the information carried within the section occurs. Version number refers to the definition of a single program, and therefore to a single section. When the current_next_indicator is set to '1', then the version_number shall be that of the currently applicable TS_program_map_section. When the current_next_indicator is set to '0', then the version_number shall be that of the next applicable TS_program_map_section.

current_next_indicator -- A 1 bit field, which when set to '1' indicates that the TS_program_map_section sent is currently applicable. When the bit is set to '0', it indicates that the TS_program_map_section sent is not yet applicable and shall be the next TS_program_map_section to become valid.

section_number -- The value of this 8 bit field shall be always 0x00.

last_section_number -- The value of this 8 bit field shall be always 0x00.

PCR_PID -- This is a 13 bit field indicating the PID of the Transport Stream packets which shall contain the PCR (Program Clock Reference) fields valid for the program specified by program_number. If no PCR is associated with a program definition for private streams then this field shall take the value of 0x1FFF. Refer to the semantic definition of PCR in 2.4.3.5 on page 25 for restrictions on the choice of PCR_PID value.

program_info_length -- This is a 12 bit field, the first two bits of which shall be '00'. It specifies the number of bytes of the descriptors immediately following the program_info_length field.

stream_type -- This is an 8 bit field specifying the type of program element carried within the packets with the PID whose value is specified by the elementary_PID. The values of stream_type are specified in table 2-36 on page 64.

elementary_PID -- This is a 13 bit field specifying the PID of the Transport Stream packets which carry the associated program element.

ES_info_length -- This is a 12 bit field, the first two bits of which shall be '00'. It specifies the number of bytes of the descriptors of the associated program element immediately following the ES_info_length field.

CRC_32 -- This is a 32 bit field that contains the CRC value that gives a zero output of the registers in the decoder defined in Annex B after processing the entire Transport Stream program map section.

Appendix 3: Conditional Access Descriptor (ISO13818-1)

The conditional access descriptor is used to specify both system-wide conditional access management information such as EMMs and elementary stream-specific information such as ECMs. It may be used in both the TS_program_map_section and the program_stream_map. If any elementary stream is scrambled, a CA descriptor shall be present for the program containing that elementary stream. If any system-wide conditional access management information exists within a Transport Stream, a CA descriptor shall be present in the conditional access table.

When the CA descriptor is found in the TS_program_map_section (table_id = 0x02), the CA_PID points to packets containing program related access control information, such as ECMs. Its presence as program information indicates applicability to the entire program. In the same case, its presence as extended ES information indicates applicability to the associated program element. Provision is also made for private data.

When the CA descriptor is found in the CA_section (table_id = 0x01), the CA_PID points to packets containing system-wide and/or access control management information, such as EMMs.

The contents of the Transport Stream packets containing conditional access information are privately defined.

Table 2-52 -- Conditional access descriptor

Syntax	No. of bits	Mnemonic
CA_descriptor() {		
descriptor_tag	**8**	**uimsbf**
descriptor_length	**8**	**uimsbf**
CA_system_ID	**16**	**uimsbf**
reserved	**3**	**bslbf**
CA_PID	**13**	**uimsbf**
for (i=0; i<N; i++) {		
private_data_byte	**8**	**uimsbf**
}		
}		

CA_system_ID -- This is an 16 bit field indicating the type of CA system applicable for either the associated ECM and/or EMM streams. The coding of this is privately defined and is not specified by ITU-T | ISO/IEC.

CA_PID -- This is an 13 bit field indicating the PID of the Transport Stream packets which shall contain either ECM or EMM information for the CA systems as specified with the associated CA_system_ID. The contents (ECM or EMM) of the packets indicated by the CA_PID is determined from the context in which the CA_PID is found, i.e. a TS_program_map_section or the CA table in the Transport Stream, or the stream_id field in the Program Stream.

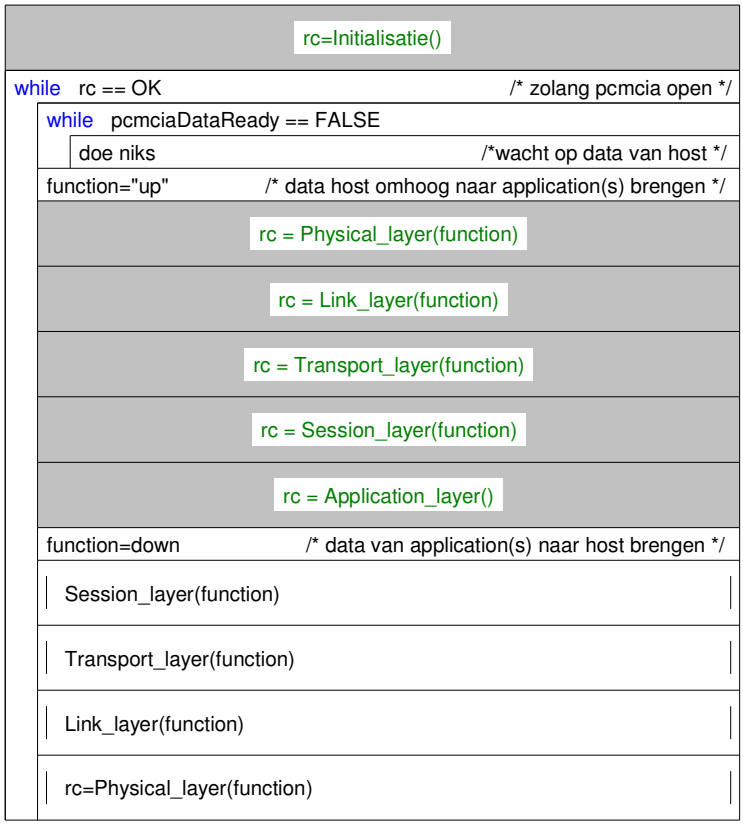
Appendix 4: Specificaties Matrix

1.	**Multimedia engine**: 144 pins - SIDSA MACTSP 0234 56524A - R2G6632 SIDSA's MACtsp multimedia engine is een enkele chip, gebaseerd op de snelle ARM7TDMITM processor die nog slechts enkele externe componenten nodig heeft: SRAM, FLASH en Smart Card Driver. Verschillende Conditional Access systemen kunnen worden geïmplementeerd op dezelfde engine door de software development tools en referentie ontwerpen van SIDSA.
2.	**Flash memory**: 48 pins - M29W160DB - 16 Mbit (2Mb x8 or 1Mb x16, Boot Block) The M29W160D is een 16 Mbit (2Mb x8 or 1Mb x16) non-volatile memory dat kan worden gelezen, gewist en geprogrammeerd. Bij het opstarten wordt het memory in default Read modus gezet waarbij het op dezelfde manier als ROM of EPROM kan worden gelezen. Het geheugen is ingedeeld in blokken die onafhankelijk van elkaar kunnen worden gewist zodat het mogelijk is bepaalde gegevens te behouden, terwijl andere gegevens worden gewist. Elk blok kan worden beschermd om te voorkomen dat de gegevens per ongeluk worden gewist. Programma en Erase commando's worden geschreven naar de Command interface van het geheugen. Een on-chip Program/Erase Controller versimpelt het proces van programmering of wissen van het geheugen door alle speciale acties te verzorgen die zijn benodigd om het geheugen te bewerken. Het einde van een programmeer of wis actie kan worden gedetecteerd en errors kunnen worden geïdentificeerd. De instructieset om het geheugen te beheren is consistent met JEDEC standaarden. De geheugenblokken zijn assymetrisch ingedeeld. De eerste of laatste 64 Kbytes zijn ingedeeld in 4 additionele blokken. Het 16 Kbyte Boot Block kan worden gebruik voor een kleine initialisatiecode om de microprocessor te starten. De twee 8 Kbyte Parameter Blocks kunnen worden gebruikt voor opslag van parameters. De overige 32 Kbytes is een klein hoofdblok waar de applicatie kan worden opgeslagen. Chip Enable, Output Enable en Write Enable signalen controleren de bus operation van het geheugen. Hierdoor kan eenvoudig verbinding worden gemaakt met de meeste microprocessoren, vaak zonder additionele programmeerlogica. Het geheugen wordt aangeboden in SO44, TSOP48 (12 x 20 mm) en TFBGA48 (0,8 mm picth) pakketten. Het geheugen wordt geleverd met alle gewiste bits op '1' gezet.
3.	**Xilinx**: 44 pins XC9536XL De XC9536XL is een 3.3V CPLD (Complex Programmable Logical device), Gericht op applicaties met een hoge performance en een lag voltage op het gebied van communciatie en computer systemen. Hij bestaat uit twee 54V18 Function Blocks, waardoor 800 usable gates worden geboden "with propagation delays of 5 ns." (lekker duidelijk! ☺)
4.	**32 pins - B002C - 8174S** ???
5.	**CMOS SRAM**: 44 pins - Alliance - AS7C34098-15TC 44 pins - Alliance - AS7C34098-15TC is a 3.3V 256K x 16 CMOS SRAM, access time 15ns made by Alliance Semiconductor Corporation. The AS7C34098 is a high-performance CMOS 4,194,304-bit Static Random Access Memory (SRAM) devices organized as 262,144 words × 16 bits. They are designed for memory applications where fast data access, low power, and simple interfacing are desired.

Appendix 5 Technisch ontwerp EVA

Appendix 5.1 Hoofdroutine EVA

Als eerste onze hoofdroutine “Main” van Eva (Emulatie voor allen). Deze bestuurt het gehele proces en roept in de juiste volgorde de subroutines per layer aan.



We beginnen met de initialisatie routine waarin de pcmcia interface wordt geopend en de buffers worden geïnitialiseerd.

Omdat volgens de EN50221 specificaties we moeten wachten op een transport connection met de host, wachten we daarna objecten van de host af. Zodra er data is ontvangen, wordt deze naar boven het model in gebracht. Dit doen we door achtereenvolgens de “up” routines aan te roepen van de diverse layers.

Verzoeken tot transport connections of sessions worden op de corresponderende layers afgehandeld en beantwoord.

Uiteindelijk zullen er objecten de Application Layer bereiken die we daar behandelend. De antwoorden op deze objecten worden weer klaargezet in de down buffers en na de aanroep van de Application Layer worden achtereenvolgens de down functies van verschillende layers weer aangeroepen.

Hierdoor worden de objecten weer naar beneden getransporteerd tot ze uiteindelijk op de Physical Layer naar de host worden geschreven. Hierna wachten we weer op data van de host en begint alles weer overnieuw.

Appendix 5.2 Initialisatie

Initialisatie()

Deze routine zal niet echt met een call worden gedaan. Ten behoeve van de overzichtelijkheid van de hoofdroutine is ie hier wel als zodanig opgenomen. De variabelen die hier worden gedeclareerd zijn door de hele emulator nodig en moeten overal benaderd en gewijzigd kunnen worden. Het zal dus waarschijnlijk zo zijn dat deze in de uiteindelijke code in de hoofdroutine voorin zullen worden opgenomen.

```
function="open"

rc=Physical_layer(function,*lpdu_up, *lpdu-down)                    /* Open interface        */

pcmciaBufferLengthGet(pcmciabufferlengte)                    /* Haal bufferlengte pcmcia interface op = maximale lpdu */

/* Buffersizes aantal pdu's: /*
#define MAX_L = 100
#define MAX_T = 100
#define MAX_S = 100
#define MAX_A = 100

/*buffersizes pdu lengte: /*
#define SIZ_L = 1024
#define SIZ_T = 1024
#define SIZ_S = 1024
#define SIZ_A = 1024

char lpdu_up[MAX_L][SIZ_L];      char tpdu_up[MAX_T][SIZ_T];     char spdu_up[MAX_S][SIZ_S];      char apdu_up[MAX_A][SIZ_A];
int len_lpdu_up[MAX_L];          int len_tpdu_up[MAX_T];         int len_spdu_up[MAX_S];          int len_apdu_up[MAX_A];
int next_in_lpud_up=0;           int next_in_tpdu_up=0;          int next_in_spdu_up=0;           int next_in_apdu_up=0;
int next_out_lpdu_up=0;          int next_out_tpdu_up=0;         int next_out_spdu_up=0;          int next_out_apdu_up=0;

char lpdu_down[MAX_L][SIZ_L];  char tpdu_down[MAX_T][SIZ_T];  char spdu_down[MAX_S][SIZ_S];  char apdu_down[MAX_A][SIZ_A];
int len_lpdu_down[MAX_L];        int len_tpdu_down[MAX_T];       int len_spdu_down[MAX_S];        int len_apdu_down[MAX_A];
int next_in_lpud_down=0;         int next_in_tpdu_down=0;        int next_in_spdu_down=0;         int next_in_apdu_down=0;
int next_out_lpdu_down=0;        int next_out_tpdu_down=0;       int next_out_spdu_down=0;        int next_out_apdu_down=0;

                        /* Dus per buffer 100 entries voor strings van max 1024 bytes  */
                        /* Globaal initialiseren zodat ze overal bruikbaar zijn        */

/* Tabellen voor sessions en transport connections */

# DEFINE MAX_TRANSPORTS = 20
int transport[MAX_TRANSPORTS]      /* Transport connections, index = sessionnr, dus transport connection per session      */

int sessionnr_RM = -1                /* Session number met Resource Manager    */
int sessionnr_AM = -1                /* Session number met Application Manager  */
int sessionnr_CA = -1                /* Session number met CA Manager           */
int sessionnr_MMI = -1               /* MMI session number                      */
int MMI_mode_set = 0                 /* Bijhouden of de MMI interface in highlevel mode is gezet */

int profile_change_received = 0      /* Flag om aan te geven of we zijn aangemeld bij de Resource Manager              */
int application_info_send = 0        /* Flag om aan te geven of we ons hebben aangemeld bij de Application Manager     */
```

Appendix 5.3 Physical Layer

De Physical Layer zorgt voor het transport van de lpdu's van en naar de host. De functie Open wordt eenmaal aangeroepen tijdens de initialisatie om de pcmcia interface te openen. Als gevolg hiervan zal de host een transport connection met ons opzetten.

Physical_layer(function)

```
Physical_layer:
-------------------------
Drie functies: open, receive en send
1. open: opent en initialiseert de fysieke interface
2. up: leest de ontvangen lpdu's in en plaatst deze in de lpdu_up-buffer
3. down: verzend de lpdu's die in de lpdu_down buffer staan

case   function
    of   "open"
        rc = pcmciaOpen(bufferlengte)
    of   "up"
        while   pcmciaDataReady() == TRUE
            rc = pcmciaRead(lpdu,lpdu_length)    /* haal lpdu op uit pcmcia */
                                                  if   rc == OK
            then                                                  else
            lpdu_up[next_in_lpdu_up] = lpdu;
            len_lpdu_up[next_in_lpdu_up] = lpdu_length
            next_in_lpdu_up++
                                                  if   next_in_lpdu_up>=MAX_L
            then                                                  else
            next_in_lpdu_up = 0   /* einde buffer, weer vooraan beginnen */
    of   "down"
        while   len_lpdu_down[next_out_lpdu_down]>0          /* lpdu te verzenden? */
            lpdu=lpdu_down[next_out_lpdu_down];
            len_lpdu=len_lpdu_down[next_out_lpdu_down]       /* haal lpdu uit buffer  */
            len_lpdu_down[next_out_lpdu_down]=0              /* clear buffer entry    */
            rc=pcmciaWrite(lpdu,len_lpdu)                    /* verzend lpdu          */
            next_out_lpdu_down++                  /* pointer op volgende te verzenden */
                                                  if   next_out_lpdu_down>=MAX_L
            then                                                  else
            next_out_lpdu_down = 0          */ einde buffer, weer vooraan beginnen */
    otherwise

return(rc)
```

In de Up functie worden, zolang er nog data kan worden opgehaald van de pcmcia interface, de lpdu's in de lpdu_up buffer geplaatst, voor verdere verwerking door de Link Layer.

In de down functie worden alle door de Link Layer klaargezette lpdu's via de pcmcia interface overgebracht naar de ontvanger.

Appendix 5.4 Link Layer

Link_Layer(function)

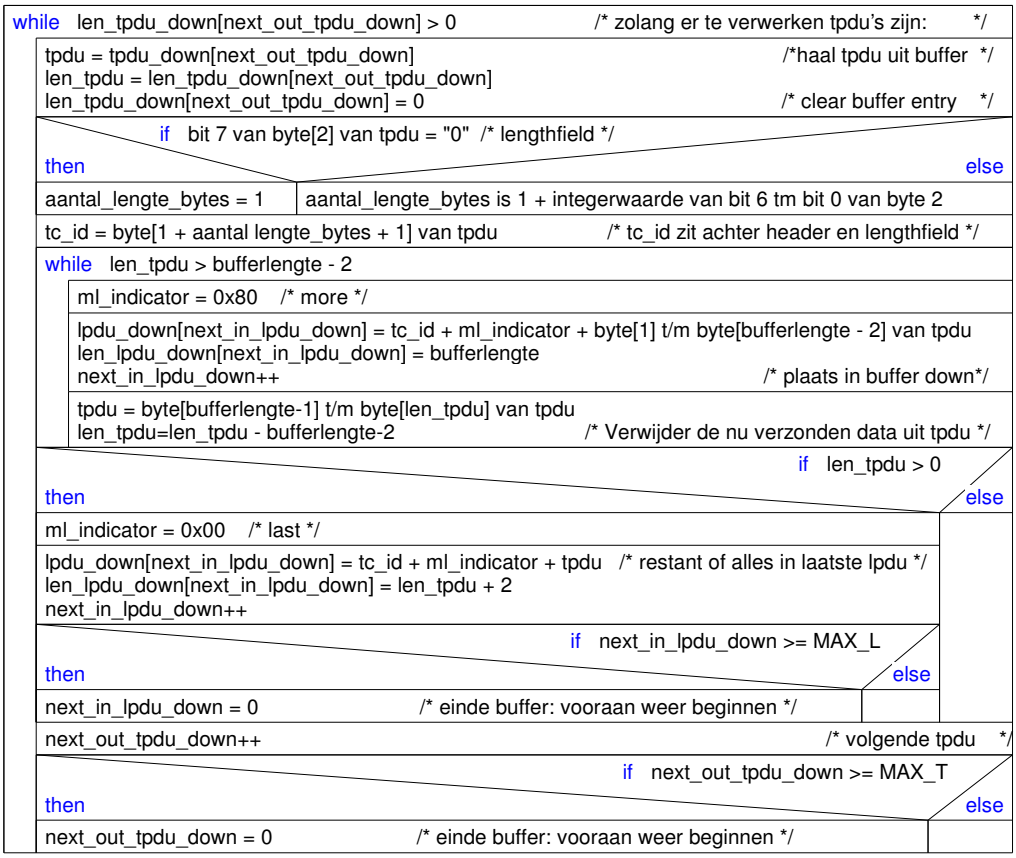
```
Link Layer
----------
Twee functies: up en down:
1) Up: assembleert de lpdu's tot tpdu's
2) Down transformeert de tpdu's tot lpdu's

Het zou  kunnen dat de eerste lpdu is ontvangen en door timing
(pcmciaDataReady == False) pas bij de volgende run de erbij behorende lpdu's
worden ontvangen. Daar moeten we rekening mee houden.

case   function
    of   up
            Link_layer_up()
    of   down
            Link_layer_down()
    otherwise
```

Op de Link Layer worden de van de Physical Layer ontvangen lpdu's geassembleerd tot tpdu's voor de Transport Layer. Omgekeerd worden de tpdu's van de Transport Layer omgevormd tot lpdu's ter verzending door de Physical Layer.

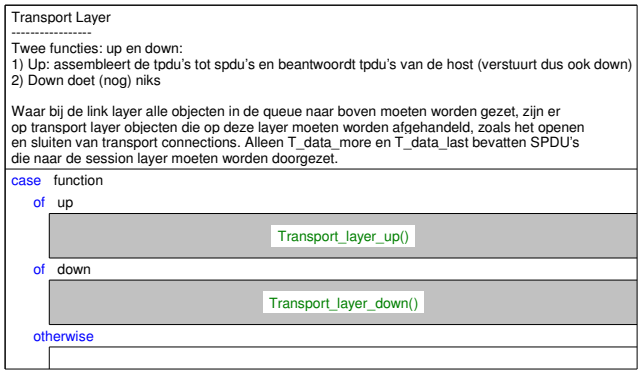
Link Layer_up()

```
static tpdu[255][SIZ_T] ; len_tpdu[255][SIZ_T]  /* Zo initialiseren dat bij de her-entry de waarde behouden blijft  */
                                                /* zo blijven lpdu's met ml indicator eventueel behouden als het */
                                                /* vervolg nog niet in de buffer is toegevoegd en pas met een     */
                                                /* volgende  run volgt. Het is dus een array met entries voor 255*/
                                                /* connections, waarin de tpdu's worden opgebouwd, alvorens    */
                                                /* ze in de tpdu_up buffer worden geplaatst.                   */
while   len_lpdu_up[next_out_lpdu_up] > 0       /* zolang er nog lpdu's te verwerken zijn */
    lpdu=lpdu_up[next_out_lpdu_up]                          /* haal lpdu uit buffer     */
    len_lpdu=len_lpdu_up[next_out_lpdu_up]
    len_lpdu_up[next_out_lpdu_up] = 0                       /* clear buffer entry       */
    tc_id = integer waarde van byte[1] van lpdu             /* Transport connection_id */
    tpdu[tc_id] = tpdu[tc_id] + lpdu vanaf byte[3]      /* eerste 2 bytes niet, horen bij link layer */
    len_tpdu[tc_id] = len_tpdu[tc_id] + (len_lpdu - 2)      /* bouw tpdu eerst buiten buffer-up */
                                                    if   byte 2 van lpdu == 0x00      /* Last */
    then                                                                              else
        tpdu_up[next_in_tpdu_up] = tpdu[tc_id];         /* tpdu is nu volledig en kan in buffer-up */
        len_tpdu_up[next_in_tpdu_up] = len_tpdu[tc_id]
        tpdu[tc_id] = leeg ; len_tpdu[tc_id] = 0                /* verwijder uit lokale tabel */
        next_in_tpdu_up++                               /* pointer op volgende te vullen tpdu */
                                                        if   next_in_tpdu_up >= MAX_T
        then                                                                          else
            next_in_tpdu_up = 0             /* einde buffer, weer vooraan beginnen */
    next_out_lpdu_up++                              /* pointer op volgende te verwerken lpdu */
                                                    if   next_out_lpdu_up >= MAX_L
    then                                                                          else
        next_out_lpdu_up = 0                /* einde buffer, weer vooraan beginnen */
```

Link_Layer_down()



Appendix 5.5 Transport Layer



Transport_layer(function)

Op de Transport Layer worden de ontvangen tpdu's verwerkt. Indien de tpdu's betrekking op het communicatieprotocol hebben, worden ze op dit level verwerkt. Indien ze data voor de Session Layer bevatten worden de spdu's geassembleerd en klaargezet voor de Session Layer. Bij verzending van de tpdu's kan er slechts 1 tpdu tegelijkertijd worden verzonden, omdat er alleen op verzoek van de ontvanger een tpdu mag worden verzonden. Daarom vindt de verzending plaats binnen de up-functie en **is de Transport_layer_down() functie vooralsnog leeg**.

Transport_layer_up()

Deze routine verwerkt maar 1 ontvangen tpdu per keer. Dit is omdat we op iedere tpdu moeten reageren en moeten wachten op een nieuwe tpdu van de host voor we weer een nieuwe tpdu mogen verzenden.

```
static spdu[255][SIZ_S] ; len_spdu[255][SIZ_S]  /* Zo initialiseren dat bij de her-entry de waarde behouden blijft  */
                                                /* zo blijven tpdu's T_data_more eventueel behouden als het */
                                                /* vervolg nog niet in de buffer is toegevoegd en pas met een     */
                                                /* volgende  run volgt. Het is dus een array met entries voor 255*/
                                               /* connections, waarin de spdu's worden opgebouwd, alvorens    */
                                               /* ze in de spdu_up buffer worden geplaatst.                    */

                                                                  if  len_tpdu_up[next_out_tpdu_up] > 0
then                                                                                                  else

tpdu=tpdu_up[next_out_tpdu_up]
len_tpdu=len_tpdu_up[next_out_tpdu_up]                                  /* haal tpdu uit buffer     */
len_tpdu_up[next_out_tpdu_up] = 0                                       /* clear buffer entry       */

                          if  bit 7 van byte[2] van tpdu = "0"  /* length field */
                              /* tc_id en lengte spdu bepalen */
then                                                                                                  else

aantal_lengte_bytes = 1                  | aantal_lengte_bytes is 1 + integerwaarde van bit 6 tm bit 0 van byte[2]
len_spdu=int(bit6-bit0 van byte [2]) - 1 | len_spdu=integer waarde van (byte[3] + bytes[aantal_lengte_bytes-1]) - 1
tc_id = byte [1 + aantal lengte_bytes + 1 van tpdu]                     /* zo, lengte spdu en tc_id nu bekend */

                          if  (tpdu byte[1] == 0xA0 and len_spdu>0) or tpdu byte[1] == 0xA1
                              /* sessiondata: T_data_more of t_data_last */
                              /* als T_data_last == leeg, dan is het een poll */
then                                                                                                  else

/* spdu data naar boven brengen */                                                                    |
spdu[tc_id] = spdu[tc_id] + tpdu vanaf byte (1+aantal_lengte_bytes+1]                                  |
len_spdu[tc_id] = len_spdu[tc_id] + len_spdu          /* bouw spdu eerst buiten buffer-up */       | /* besturings comm */
if  tpdu byte[1] == 0xA1       /* T_data_more */                                                      |
    /* dan is de spdu nog niet compleet */                                                            |
then                                                                                          else    |
    spdu_up[next_in_spdu_up] = spdu[tc_id];          /* spdu is nu volledig -> buffer-up */       |
    len_spdu_up[next_in_spdu_up] = len_spdu[tc_id]                                                    |
    spdu[tc_id] = leeg ; len_spdu[tc_id] = 0                 /* verwijder uit lokale tabel */     | Transportcontrol()
    next_in_spdu_up++                                /* pointer op volgende te vullen spdu */     |
                                                                  if  next_in_spdu_up >= MAX_S        |
    then                                                                                      else    |
    next_in_spdu_up = 0              /* einde buffer, vooraan beginnen */                             |
next_out_tpdu_up++                                                  /* pointer op volgende te verwerken tpdu */

                                                                  if  next_out_tpdu_up >= MAX_T
then                                                                                                  else

next_out_tpdu_up = 0
```

Transport_control()

```
/* Deze routine handelt het prototcol op transport level                    */
/* Antwoorden op Create Connection, etc.                                    */
/* We doen alleen Create_T_C en Delete_T_C omdat we zelf geen connection     */
/* gaan creeren. De objecten hiervan zullen we dus niet tegenkomen          */
/* zenden van een spdu doen we altijd op de tc_id waarop we antwoorden      */
/* als dit niet goedis, moeten we het later aanpassen                       */
case   byte1 van TPDU (tag)
   of   0x82                                        /* Create_T_C  */
        Stuur_ctc_reply()
   of   0x84                                        /* Delete_T_C */
        Stuur_dtc_reply()
   of   0xA0                                        /* T_data_last , leeg dus poll! */
        Stuur_t_sb()
   of   0x81                                        /* T_RCV       */
        Stuur_data()
   otherwise
```

Stuur_ctc_reply()

```
r_tpdu = 0x83+0x01+tc_id                            /* C_t_c_reply  */
len_rtpdu = 3
tpdu_down[next_in_tpdu_down] = r_tpdu               /* plaats in buffer */
len_tpdu_down[next_in_tpdu_down] = len_rtpdu
next_in_tpdu_down++
                          if   next_in_tpdu_down >= MAX_T
then                                                else
next_in_tpdu_down = 0
```

Stuur_dtc_reply()

```
r_tpdu = 0x85 + 0x01 + tc_id                        /* D_T_C_Reply * /
len_rtpdu = 3
tpdu_down[next_in_tpdu_down] = r_tpdu               /* plaats in buffer */
len_tpdu_down[next_in_tpdu_down] = len_rtpdu
next_in_tpdu_down++
                          if   next_in_tpdu_down >= MAX_T
then                                                else
next_in_tpdu_down = 0
```

Stuur_t_sb()

```
          if   len_spdu_down[next_out_spdu_down]>0
               /* staat er nog spdu data klaar?  */
then                                                else
/* T_SB: wél data te verzenden  */   /* T_SB: geen data te verzenden  */
r_tpdu = 0x80 + 0x02 + tc_id + 0x80   r_tpdu = 0x80 + 0x02 + tc_id + 0x00
tpdu_down[next_in_tpdu_down] = r_tpdu
len_tpdu_down[next_in_tpdu_down] = len_rtpdu
next_in_tpdu_down++
                          if   next_in_tpdu_down >= MAX_T
then                                                else
next_in_tpdu_down = 0
```

Stuur_data()

```
/* Nu gaan we een tpdu met (een deel van) een spdu verzenden.  */
/* Waar ik over twijfel is over welke tc_id data kan of moet worden verzonden. Ik antwoord nu op de tc_id van de T_RCV. Dat */
/* zal ook wel moeten, maar mag ik dan spdu's van alle sessionnrs verzenden of heeft iedere session zijn eigen tc_id en     */
/* mag ik alleen data verzenden van de bij de tc_id behorende session? Goed. Proberen maar en we zien het wel.             */

if   len_spdu_down[next_out_spdu_down] > SIZ_T - 5 - 4
     /* 5 bytes header, 4 bytes T_SB */
then                                                                  else

*/ Haal SIZ_T -  5 - 4 bytes uit de te verzenden spdu            */   spdu = spdu_down[next_out_spdu_down]
*/ pointer next_out_spdu_down blijft ongewijzigd!               */   len_spdu = len_spdu_down[next_out_spdu_down]
                                                                      len_spdu_down[next_out_spdu_down] = 0
spdu = spdu_down[next_out_spdu_down] byte[1] t/m byte[SIZ_T - 5 - 4]   next_out_spdu_down++
len_spdu = SIZ_T - 5 - 4                                              if   next_out_spdu_down >= MAX_S
verwijder byte[1] t/m byte[SIZ_T - 5 - 4] uit spdu_down[next_out_spdu_down]
len_spdu_down[next_out_spdu_down]                                     then                                    else
      = len_spdu_down[next_out_spdu_down] - SIZ_T - 5 - 4             next_out_spdu_down = 0

tag = 0xA1                          /* T_data_more     */             tag = 0xA0                  */ T_data_last      */

if   len_spdu_down[next_out_spdu_down] > 0
     /* meer data te verzenden?  */
then                                                                  else

t_sb = 0x80 + 0x02 + tc_id + 0x80       /* T_SB more data */          t_sb = 0x80 + 0x02 + tc_id + 0x00 /* no more */

if   len_spdu<127
then                                                                  else

lengthfield = len_spdu + 1                                            if   len_spdu < 255
/* voor tc_id */                                                      then                                    else
                                                                      lengthfield = byte(0x01) + byte(len_spdu+1)    lengthfield = byte(0x02) + len_spdu+1 in 2 bytes

r_tpdu = tag + lengthfield + tc_id + spdu + t_sb
len_rtpdu = 1 + aantal bytes lengthfield + 1 + len_spdu + 4

tpdu_down[next_in_tpdu_down] = r_tpdu
len_tpdu_down[next_in_tpdu_down] = len_rtpdu
next_in_tpdu_down++

if   next_in_tpdu_down >= MAX_T
then                                                                  else

next_in_tpdu_down = 0
```

Appendix 5.6 Session Layer

Op de Session Layer worden de ontvangen spdu's verwerkt. Indien de spdu's betrekking op het communicatieprotocol hebben, worden ze op dit level verwerkt. Indien ze data voor de Application Layer bevatten worden de apdu's geassembleerd en klaargezet voor de Application Layer. We laten de session header hierbij voor de apdu staan, om zodoende te kunnen antwoorden op hetzelfde sessionnumber.

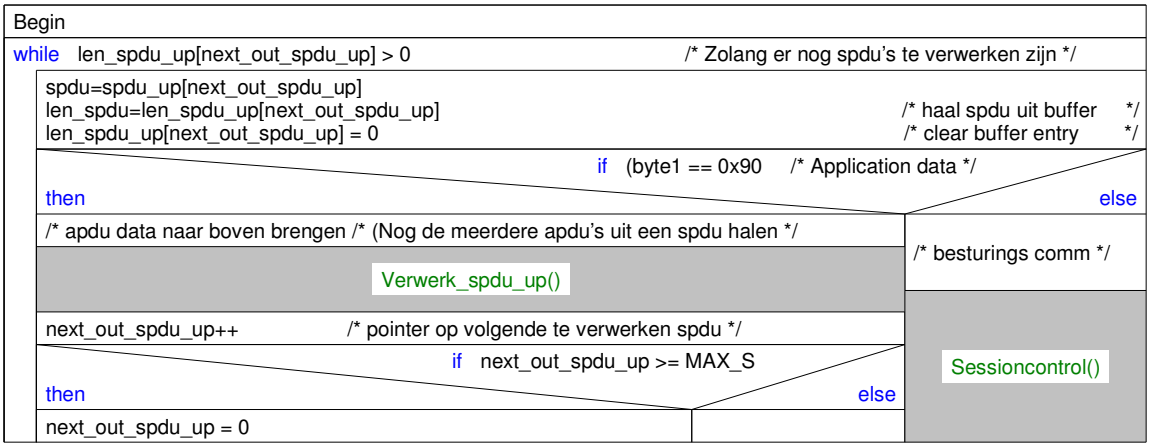
Session_layer(function)

```
Session Layer
-----------------
Twee functies: up en down:
1) Up: assembleert de spdu's tot apdu's
2) Down: zet de apdu's om in spdu's

Net als bij de Transport layer zitten er op het niveau van de session layer objecten die
betrekking hebben op de communicatie, zoals het openen en sluiten van sessions.
Alleen session objecten T_session number bevatten APDU's, en moeten naar de
aplication layer moeten worden doorgezet.

case   function
    of   up
            Session_layer_up()
    of   down
            Session_layer_down()
    otherwise
```

Session_layer_down()

```
Deze routine is eigenlijk heel eenvoudig. Op Application level nivo de objecten
al zijn voorzien van een session header, omdat in dezelfde session het antwoord
moet worden gegeven. Deze routine doet dus niks anders dan apdu_down[] doorzetten
naar spdu_down[].

while   len_apdu_down[next_out_apdu_down] > 0
    spdu_down[next_in_spdu_down] = apdu_down[next_out_apdu_down]
    len_spdu_down[next_in_spdu_down] = len_apdu_down[next_out_apdu_down]
    len_apdu_down[next_out_apdu_down] = 0                    /* Clear buffer */
    next_in_spdu_down++
                                  if   next_in_spdu_down >= MAX_S
    then                                                          else
    next_in_spdu_down = 0
    next_out_apdu_down++
                                  if   next_out_apdu_down >= MAX_A
    then                                                          else
     next_out_apdu_down = 0
```

Session_layer_up()



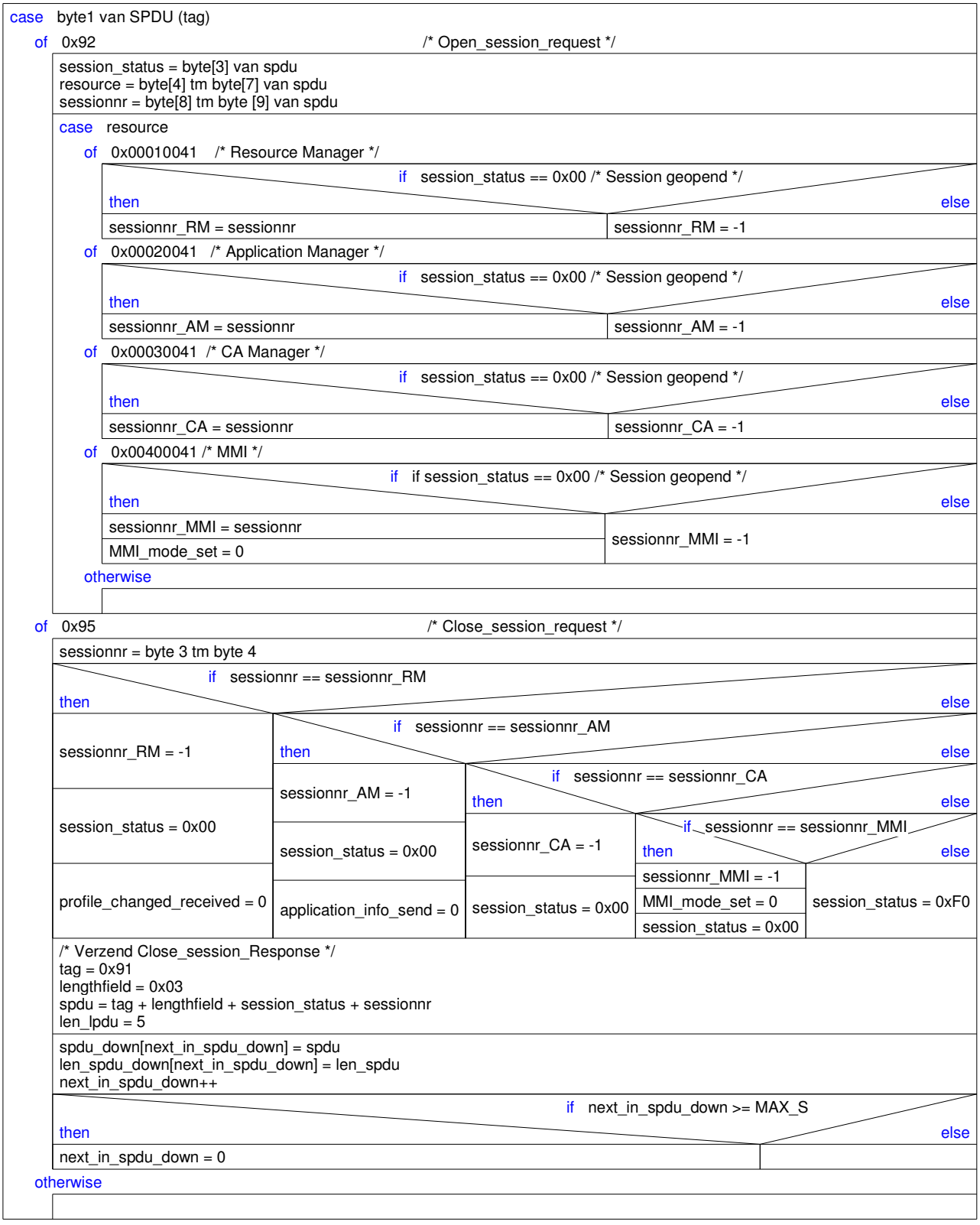
Verwerk_spdu_up()

Deze routine haalt de apdu('s) uit een spdu en brengt deze naar apdu_up[] Enkele apdu's kennen last en more. Vooralsnog lijkt het erop dat we deze objecten echter niet gaan tegenkomen. We zetten dus de apdu's één op één door naar de Application Layer zonder naar het soort apdu te kijken.
header = byte[1] tm byte[4] van spdu begin_apdu = 5 /* index die we telkens opschuiven, begin bij eerste apdu */
while begin_apdu < len_spdu /* De verschillende apdu's uit de spdu halen */

if bit 7 van byte[begin_apdu + 3] van spdu = "0" /* length field apdu*/ /* lengte apdu bepalen */	
then	else
aantal_lengte_bytes = 1	aantal_lengte_bytes is 1 + integerwaarde van bit 6 tm bit 0 van byte[begin_apdu +3]
len_apdu=int(bit6-bit0 van byte begin_apdu + 3) - 1	len_apdu=integer waarde van (begin_apdu + 4 + bytes(aantal_lengte_bytes-1)) - 1
einde_apdu = begin_apdu + 3 + aantal_lengtebytes + len_apdu - 1	
apdu = header + spdu[begin_apdu] t/m spdu[einde_apdu] len_apdu = 4 + einde_apdu - begin_apdu + 1	
begin_apdu = einde_apdu + 1 /* doorschuiven naar eventueel volgende apdu */	
apdu_up[next_in_apdu_up] = apdu /* apdu naar application layer, incl. session header */ len_apdu_up[next_in_apdu_up] = len_apdu	
next_in_apdu_up++ /* pointer op volgende te vullen apdu */	

if next_in_apdu_up >= MAX_A	
then	else
next_in_apdu_up = 0 /* einde buffer, vooraan beginnen */	

Session_control()



Appendix 5.7 Application Layer

Op deze layer begint het langzamerhand leuker te worden. Hier wordt de daadwerkelijke functionaliteit geprogrammeerd. De apdu's staan klaar ter verwerking in de apdu_up buffer. Wél hebben we eerst de initialisatie te voltooien. Vandaar dat de Application Layer in twee delen is te verdelen. Het eerste deel controleert en verzorgt de aanmeldingen bij de Resource Manager, de Application Manager en de CA Manager. Het tweede deel bevat de functionaliteit van de emulatie.

Application_layer()

Application Layer

Hier zit dus de daadwerkelijke functionaliteit van de CAM.
Als we beginnen kunnen we eigenlijk nog niks. Alle actie wordt door de host geïnitieerd. Eerst zal de host een transport connection met ons openen. Als dat is gebeurd, moeten we een session openen naar de Resource Manager. Dan moeten we wachten op een Profile Enquiry. Als die binnen en beantwoord is, moeten we weer wachten op een Profile_change en als die binnen is, moeten we een session openen naar de Application Manager. Als dat is gebeurd, dan kunnen we ons aanmelden bij de CA Manager. Daarna komen in de normale operating modus waarin we wachten wat de host van ons wil.
Het eerste deel is dus het aanmeldingsproces in de juiste volgorde, in het tweede deel verwerken we de binnenkomende communicatie van de host, de apdu's.

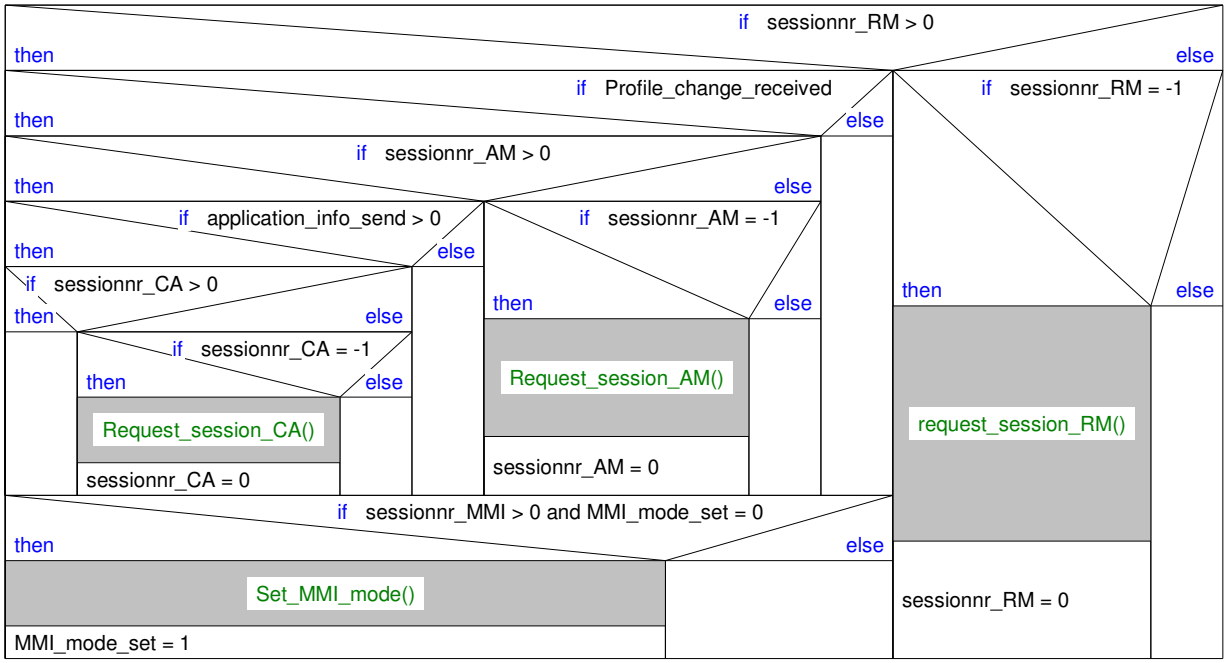
/* DEEL 1: Het aanmeldingsproces: /*

Aanmeldingen()

/* DEEL 2: Verwerking communicatie met host: /*

Verwerk_apdu()

Aanmeldingen()



Request_session_RM()

```
/* Verzend Open_session Request */
tag = 0x91
lengthfield = 0x04
resource = 0x00010041 /* Resource Manager */
spdu = tag + lengthfield + resource
len_lpdu = 6

spdu_down[next_in_spdu_down] = spdu
len_spdu_down[next_in_spdu_down] = len_spdu
next_in_spdu_down++

if next_in_spdu_down >= MAX_S
then                          else
next_in_spdu_down = 0
```

Request_session_AM()

```
/* Verzend Open_session Request */
tag = 0x91
lengthfield = 0x04
resource = 0x00020041 /* App. Manager */
spdu = tag + lengthfield + resource
len_lpdu = 6

spdu_down[next_in_spdu_down] = spdu
len_spdu_down[next_in_spdu_down] = len_spdu
next_in_spdu_down++

if next_in_spdu_down >= MAX_S
then                          else
next_in_spdu_down = 0
```

Request_session_CA

```
/* Verzend Open_session Request */
tag = 0x91
lengthfield = 0x04
resource = 0x00030041 /* CA Manager */
spdu = tag + lengthfield + resource
len_lpdu = 6

spdu_down[next_in_spdu_down] = spdu
len_spdu_down[next_in_spdu_down] = len_spdu
next_in_spdu_down++

if next_in_spdu_down >= MAX_S
then                          else
next_in_spdu_down = 0
```

Set_MMI_mode

```
Begin
/* Sessionheader maken voor display control command*/
tag = 0x90
lengthfield = 0x02
sessionnr = sessionnr_MMI
header = tag + lengthfield + sessionnr_MMI
tag = 0x9F8801                                  /* Display control */
display_control_cmd = 0x01                      /* Set MMI mode    */
MMI_mode = 0x01                                 /* High level MMI  */
lengthfield = 0x02                              /* Lengte = 2 bytes */
apdu = header + tag + lengthfield + display_control_cmd + MMI_mode
apdu_down[next_in_apdu_down] = apdu
len_apdu_down[next_in_apdu_down] = 0x08
next_in_apdu_down++
                                  if  next_in_apdu_down >= MAX_A
then                                                    else
next_in_apdu_down = 0
```

Verwerk_apdu()

```
while  len_apdu_up[next_out_apdu_up] > 0                    /* Zolang er nog apdu's te verwerken zijn */
    apdu=apdu_up[next_out_apdu_up]                          /* In onze apdu zit voor het sessionnr ook nog de spdu header */
    len_apdu=len_apdu_up[next_out_apdu_up]                  /* haal apdu uit buffer     */
    len_apdu_up[next_out_apdu_up] = 0                       /* clear buffer entry       */
    tag = apdu byte[5] tm byte[7]
    case  tag
        of  0x9F8010   /* Profile Enquiry */
            Send_profile_reply()
        of  0x9F8012   /* Profile change */
            Profile_change_received = 1   /* Na de eerste ontvangst van Profile Change kunnen we verder met aanmelding bij de */
                                          /* Application Manager. Voor de vervolgontvangsten: lekker belangrijk :-)          */
        of  0x9F8020   /* Application Info enquiry */
            Send_Application_info()
            application_info_send = 1
        of  0x9F8022   /* Enter Menu */
            Enter_menu()
        of  0x9F88??       /* Iedere apdu die begint met 9F88 = MMI interface
            MMI_interface()
        of  0x9F8030   /* CA Info enquiry */
            Send_CA_info()
        of  0x9F8032   /* CA_PMT = verzoek om descramble */
            Descramble()
        otherwise
    next_out_apdu_up++                                      /* pointer op volgende te verwerken apdu */
                                          if  next_out_apdu_up >= MAX_A
    then                                                                  else
    next_out_apdu_up = 0
```

Send_profile_reply()

```
Begin
header = byte 1 tm 4 van apdu                                   /* Session header  */
tag = 0x9F8011                                                  /* Profile Info */
lengthfield = 0x00          /* Lengte = 0 omdat we geen resource beschikbaar stellen */
apdu = header + tag + lengthfield
apdu_down[next_in_apdu_down] = apdu
len_apdu_down[next_in_apdu_down] = 0x08
next_in_apdu_down++
                                      if  next_in_apdu_down >= MAX_A
then                                                              else
next_in_apdu_down = 0
```

Send_application_info()

```
begin
header = byte 1 tm 4 van apdu                                   /* Session header  */
tag = 0x9F8021                                                  /* Application Info */
application_type = 0x01                                         /* CA Application   */
Application_manufacturer = 0x0001                               /* Standardized system uit ETR-162?? */
Manufacturer_code = 0x0001                                      /* Vrij in te vullen veld */
Menu_string_length = 0x06                                       /* 6 bytes voor menu    */
Menu_string = "Eva_01"                                          /* Hoofdmenu keuze      */
lengthfield = 0x0C                                              /* Lengte = 12 bytes */
apdu = header + tag + lengthfield + application_type + Application_manufacturer +
       Manufacturer_code + Menu_string_length + Menu_string
apdu_down[next_in_apdu_down] = apdu
len_apdu_down[next_in_apdu_down] = 20   /* 20 bytes totaal */
next_in_apdu_down++
if  next_in_apdu_down >= MAX_A
then                                                            else
next_in_apdu_down = 0
```

Enter_menu()

```
Begin
if  sessionnr_MMI > 0
then                                                            else
                                                                if  sessionnr_MMI = -1
                                                                then                                    else
                                                                /* Verzend Open_session Request */
                                                                tag = 0x91
                                                                lengthfield = 0x04
                                                                resource = 0x00400041 /* MMI */
                                                                spdu = tag + lengthfield + resource
/* Dit weet ik niet zeker. Volgens mij start de host geen /*    len_lpdu = 6
/* 2e MMI session als ik er al eentje open heb. Ik ga     /*   spdu_down[next_in_spdu_down] = spdu
/* dus uit van één MMI session per keer                   /*   len_spdu_down[next_in_spdu_down] = len_spdu
                                                                next_in_spdu_down++
                                                                if  next_in_spdu_down >= MAX_S
                                                                then                                    else
                                                                next_in_spdu_down = 0
                                                                sessionnr_MMI = 0
```

MMI_interface()

```
Begin
static *char cur_menu[3] = 0x202020          /* Hier houden we onze positie in het menu in vast, 3 levels */
tag = apdu byte[5] tm byte[7]
if  bit 7 van byte[8] van apdu == "0"  /* length field */
    /* lengte apdu bepalen */
then                                                                  else
aantal_lengte_bytes = 1                  | aantal_lengte_bytes is 1 + integerwaarde van bit 6 tm bit 0 van byte[8]
len_spdu=int(bit6-bit0 van byte [8]) - 1 | len_spdu=integer waarde van (byte[8] + bytes[aantal_lengte_bytes-1]) - 1
case  tag
  of  0x9F8802                                                        /* Display_Reply */
      diplay_reply_id = byte[8+aantal_lente_bytes]
      if  display_reply_id == 0x01 /* mmi_mode_ack */
      then                                                            else
      /* MMI_mode goed ingesteld, stuur hoofdmenu */                  /* probleem: wat nu??        */
      cur_menu = "000"                  /* Hoofdmenu      */        /* MMI sluiten en opnieuw    */
                                                                      /* openen?                   */
          Stuur_hoofdmenu()
  of  0x9F880B                                                        /* Menu_answ    */
      case  cur_menu
        of  "000"                                                     /* Hoofdmenu    */
            hoofdmenu()
        of  "200"                                                     /* Submenu 200  */
            Menu_200()
        otherwise
  otherwise
```

Stuur_hoofdmenu()

```
text_tag = 0x9F8803                          /* tag voor text items */
tag = 0x9F8809                               /* menu_tag                */
length=0x4C                                  /* 76 bytes                */
choice_nb=0x03                               /* 3 menukeuzes            */
title = text_tag + 0x06 + "EVA_01"           /* 10 bytes                */
subtitle = text_tag + 0x0D + "Ja, het werkt" /* 17 bytes                */
bottom_text = text_tag + 0x0D + "Maak uw keuze" /* 17 bytes             */
menu_1 = text_tag + 0x07 + "Submenu"         /* 11 bytes                */
menu_2 = text_tag + 0x07 + "Keuze 1"         /* 11 bytes                */
menu_3 = text_tag + 0x05 + "Einde"           /*  9 bytes                */
header = 0x90 + 0x02 + sessionnr_MMI
apdu = header + tag + length + choice_nb + title + subtitle
          + bottom_text + menu_1 + menu_2 + menu_3
len_apdu = 83
apdu_down[next_in_apdu_down] = apdu
len_apdu_down[next_in_apdu_down] = len_apdu
next_in_apdu_down++
if  next_in_apdu_down >= MAX_A
then                                                                  else
next_in_apdu_down = 0
```

Hoofdmenu()

```
keuze = byte[5] van apdu
case   keuze
   of   0x00                                          /* Cancel          */
        Close_mmi()
   of   0x01                                          /* Keuze 1 = submenu */
        /* Moeten we eerst de session sluiten, of kunnen we direct het nieuwe menu sturen? */
        cur_menu = "200"
        Stuur_menu_200()
   of   0x02                                          /* Keuze 2 = dummy keuze */
        /* Volgens mij kunnen we ook gewoon niks doen */
   of   0x03                                          /* Keuze 3 = einde
        close_mmi()
   otherwise
```

Menu_200()

```
keuze = byte[5] van apdu
case   keuze
   of   0x00                                          /* Cancel, naar hoofdmenu */
        cur_menu = "000"                  /* Hoofdmenu          */
        stuur_hoofdmenu()
   of   0x01
        /* nog niets */
   of   0x02
        /* nog niets */
   of   0x03
        /* nog niets */
   otherwise
```

Close_mmi()

```
tag = 0x9F8800                                        /* close_mmi          */
length = 0x01                                         /* 1 Byte             */
close_mmi_cmd_id = 0x00                               /* Immediate          */
header = 0x90 + 0x02 + sessionnr_MMI
apdu = header + tag + length + close_mmi_cmd_id
len_apdu = 9
apdu_down[next_in_apdu_down] = apdu
len_apdu_down[next_in_apdu_down] = len_apdu
next_in_apdu_down++
                                  if   next_in_apdu_down >= MAX_A
then                                                          else
next_in_apdu_down = 0
```

Send_CA_info()

Begin
header = byte 1 tm 4 van apdu /* Session header */
tag = 0x9F8031 /* CA Info */
CA_system_id = 0x000100020003 /* Providers 0001, 0002 en 0003 die we kunnen decoderen */
lengthfield = 0x06 /* Lengte = 6 bytes */
apdu = header + tag + lengthfield + CA_system_id
apdu_down[next_in_apdu_down] = apdu len_apdu_down[next_in_apdu_down] = 0x0E /* 14 bytes totaal */
next_in_apdu_down++
if next_in_apdu_down >= MAX_A then / else
next_in_apdu_down = 0 /

Descramble()

/* Hier wordt het leuk. CA descriptors uit CA_PMT's halen, ECM pids filteren */ /* control words ontsleutelen, etc. */

Appendix 6: Releasenotes

Versie 1.0 (3 oktober 2004)
Document hoofdstukindeling gemaakt en hoofdstukken 1."Inleiding" en 2."Een globaal overzicht" geschreven. Appendix 1 gekopieerd van internet en appendix 2 met de releasenotes gemaakt. In deze versie zitten nog een aantal aannames van mij, waarvan ik hoop dat deze door anderen bevestigd of tegengesproken worden. Kleun ik er compleet naast, hoor ik het ook graag. Verder is de smartcard is momenteel nog een wat onderbelicht onderwerp. Misschien moet ik als gevolg hiervan de hoofdstukindeling in de toekomst herzien. Ook kan gedurende de studie blijken dat een andere volgorde wellicht handiger is. Ik ga vooralsnog verder met hoofdstuk 3. "UCAS CAM" door, in afwachting van commentaar op deze versie. Dit commentaar zal ik verwerken in versie 1.1 en hoger. In versie 2.0 zal nieuwe informatie zijn opgenomen.

Versie 2.0 (26 oktober 2004)
Geen inhoudelijke feedback ontvangen. Hoofdstuk 2 is dus ongewijzigd gebleven. Alleen het woord substream in PES veranderd. Hoofdstuk 3 "De CAM: het model" geschreven en appendix 2 en 3 tussengevoegd. Eventueel commentaar zal ik in versie 2.1 bijwerken en ondertussen ga ik verder met hoofdstuk 4.

Versie 3.0 (14 november 2004)
Hoofdstuk 4 De Matrix Cam geschreven en Appendix 4 toegevoegd. Op aanwijzing van Wildcard een kleine toevoeging over au gedaan in paragraaf 2.7. Verder de hoofdstukindeling van de komende hoofdstukken wat gewijzigd omdat het ondertussen duidelijk is geworden dat we eerst een technisch ontwerp zullen moeten maken, alvorens met programmeren te beginnen.

Versie 4.0 (26 december 2004)
In hoofdstuk 5 naar beste kunnen een technisch ontwerp voor een emulatie gemaakt. Er zijn geen structurele wijzingen aangebracht in de eerdere hoofdstukken. Nu gaan we ons verdiepen in de programmeertaal C en het coderen hierin van het technisch ontwerp.