

Projektbericht: Praxissemester

## Comsoft Quadrant TIS-B Transceiver

**Eugen Sawin**

Angewandte Informatik, Hochschule Offenburg  
Matrikel-Nr. 168626

**Prof. Dr. Klaus Dorer**

Leiter Praktikantenamt, Hochschule Offenburg

**Dr. Stephan Schulz**

Betreuer, Comsoft GmbH

13. April 2010

## **Abstract**

Die moderne Flugsicherung hat das Ziel den stetig wachsenden Luftverkehr effizienter und sicherer zu steuern. Das Flugzeug hat sich als Standardverkehrsmittel etabliert, immer mehr Flüge finden auf immer dichter werdenden Luftraum statt. Alle Regionen der Welt werden bereist, doch nicht alle Gegebenheiten eignen sich für den Einsatz von konventionellen Flugüberwachungssystemen.

Der technologische Fortschritt erlaubt die Automatisierung der Flugsicherung, moderne Sensorik ermöglicht die Sicherung von bisher unzugänglichen Gebieten. Die Erweiterung eines solchen Sensors ist Inhalt dieses Berichts. Es werden alle Phasen eines Projekts im Bereich Flugsicherung von der Anforderungsanalyse bis zum Testbetrieb beschrieben.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung</b>	<b>5</b>
1.1 Flugsicherung . . . . .	5
1.2 Aufbau des Berichts . . . . .	5
1.3 Comsoft GmbH . . . . .	6
<b>2 Technologien der Flugsicherung</b>	<b>7</b>
2.1 Primärradar . . . . .	8
2.2 Sekundärradar . . . . .	8
2.3 Automatic Dependent Surveillance . . . . .	9
2.4 Multilateration . . . . .	9
2.5 Traffic Information Service - Broadcast . . . . .	10
<b>3 Quadrant ADS-B Transponder</b>	<b>12</b>
3.1 Sensorhardware . . . . .	13
3.2 Software . . . . .	13
3.3 Formate . . . . .	13
3.4 Architektur . . . . .	13
3.5 Systemmodule . . . . .	13
3.5.1 System Controller . . . . .	14
3.5.2 DSP Watchdog . . . . .	14
3.5.3 Hardware Monitor . . . . .	14
3.5.4 SNMP Agent . . . . .	14
3.5.5 Maintenance Application . . . . .	14
3.5.6 Core Surveillance . . . . .	14
<b>4 Quadrant TIS-B Transceiver</b>	<b>16</b>
4.1 TIS-B Erweiterung . . . . .	16
4.1.1 Hardwareerweiterung . . . . .	16
4.1.2 FPGA-Anpassung . . . . .	17
4.1.3 Treibererweiterung . . . . .	17
4.2 ASTERIX Category 21 Version 1.3 . . . . .	17
4.3 Synchronisation mit MLAT Central Processor . . . . .	18
<b>5 TIS-B Software</b>	<b>19</b>
5.1 Anforderungen . . . . .	19
5.1.1 Musskriterien . . . . .	19
5.1.2 Sollkriterien . . . . .	20

5.1.3	Abgrenzungskriterien . . . . .	21
5.2	Entwurf . . . . .	21
5.2.1	TIS-B Server-Kommunikation . . . . .	22
5.2.2	Scheduling . . . . .	22
5.2.3	Statusnachrichten . . . . .	23
5.2.4	SNMP Interface . . . . .	23
5.2.5	Maintenance Application . . . . .	23
5.2.6	Transmission . . . . .	23
5.2.7	Watchdog . . . . .	24
5.3	Realisierung . . . . .	25
5.3.1	Programmiersprache & Bibliotheken . . . . .	25
5.3.2	Compiler . . . . .	25
5.3.3	CppUnit & Code Coverage . . . . .	25
5.3.4	Entwicklungsumgebung . . . . .	26
5.4	Verifikation . . . . .	26
5.4.1	Unit-Tests . . . . .	26
5.4.2	Testskripte . . . . .	27
5.4.3	Testaufbau . . . . .	27
5.4.4	Leistungsanalyse . . . . .	28
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>30</b>
<b>A</b>	<b>Comsoft Quadrant TIS-B System Requirements Specification v0.3D</b>	<b>33</b>
<b>B</b>	<b>Comsoft TIS-B FPGA Specification Clarification v0.2D</b>	<b>56</b>
<b>C</b>	<b>Comsoft TIS-B Interface Design Document v0.4D</b>	<b>59</b>
<b>D</b>	<b>Comsoft TIS-B Software Design Description v0.1D</b>	<b>89</b>

# 1 Einführung

## 1.1 Flugsicherung

Der Flugverkehr ist ein Exportmotor, der den bis zum Jahre 2008 stetigen internationalen Wirtschaftswachstum ermöglicht hat. Warentransport per Flugzeug ist schnell, flexibel und ökonomisch konkurrenzfähig mit den Alternativen wie z.B. dem Schiffsverkehr.

Mobilität ist nicht nur für den Gütermarkt notwendig, sondern ist auch eine Voraussetzung für individuellen Erfolg im Berufsleben. Die Globalisierung hat zu einer weltweiten Vernetzung der Geschäftsbeziehungen geführt, somit trägt der Berufsverkehr neben dem allgemeinen Tourismus ebenfalls verstärkt zu der Intensität des Flugverkehrs bei.

Die Sicherung des Luftverkehrs basiert auf der Luftraumüberwachung. Die Überwachung wurde bisher hauptsächlich von Radaranlagen realisiert, eine Anlage bedeutet stets eine hohe monetäre Investition und ist zudem wartungsintensiv. Teilweise ist der Einsatz gänzlich unpraktikabeln, wie z.B. in unzugänglichem Gebirge oder Wüstenregionen.

Der technologische Fortschritt ermöglicht eine neue Form der aktiven Luftraumüberwachung mittels verteilter Sensorik. Solche Sensoren bieten niedrige Anschaffungs- und Wartungskosten bei der Gewährleistung höherer Überwachungsqualität. Dieser Bericht beschäftigt sich mit der Erweiterung der Software eines solchen Sensors von der Comsoft GmbH, die führend in der Technologieentwicklung auf diesem Segment ist.

## 1.2 Aufbau des Berichts

Der Projektbericht protokolliert die Tätigkeiten in einem Praxissemester. Die Gliederung ist thematisch und nach dem Schwerpunkt der Arbeit gewählt worden. Nach dem einführenden Kapitel wird in Kapitel 2 eine Übersicht über heutige Verfahren der Luftraumüberwachung und Flugsicherung geboten. Es dient dazu Begriffe einzuführen und den praktischen Nutzen der Entwicklungen zu verdeutlichen. Das dritte Kapitel ist eine Beschreibung des Systems, welches die Basis der Weiterentwicklungen darstellt. Es soll deutlich gemacht werden, was der Stand der Funktionalität des Systems vor den Veränderungen war und soll zugleich die Komponenten einführen, die später zur Integration angepasst werden mussten.

Das vierte und fünfte Kapitel sind der eigentlichen Tätigkeit dediziert und erläutern alle Arbeitspakete im Detail. Im vierten Kapitel wird dazu eine Übersicht über alle

Entwicklungsarbeiten geboten, während das fünfte Kapitel die Haupttätigkeit des Praxisseminars beschreibt – die Entwicklung der TIS-B Software für den Quadrant Sensor.

Das letzte Kapitel dient der Zusammenfassung und den abschließenden Worten.

### **1.3 Comsoft GmbH**

Die Firma wurde im Jahr 1979 von Manfred Jlg und Herman Kindler gegründet und spezialisierte sich auf die Entwicklung und Fertigung von industriellen Kommunikationsanlagen. Die Comsoft GmbH ist mittlerweile seit 20 Jahren in der Entwicklung von Flugsicherungssystemen aktiv. Comsoft entwickelt dabei Systeme zur Lotzenunterstützung im Tower, Aufzeichnungs- und Analysewerkzeuge und automatisierte Systeme zur Luftverkehrsregelung.

Die Comsoft-Systeme sind weltweit im Einsatz, Island und die Vereinigten Arabischen Emirate setzten u.a. den Comsoft Quadrant ADS-B Sensor ein.

## 2 Technologien der Flugsicherung

Die Flugüberwachung bietet eine Reihe von Möglichkeiten den täglichen Flugverkehr zu erfassen, hier sollen die Techniken erläutert werden. Zur erfolgreichen Sicherung des Luftverkehrs ist es notwendig stets ein möglichst genaues Bild über den kontrollierten Luftraum zu erlangen. Die Schaffung eines Abbildes des Luftraums samt der aktuellen Luftfahrzeugpositionen ist die Grundlage der Flugsicherung und bedarf dedizierter Technologie.

Neben der Bodenkontrolle sind auch die Luftfahrzeuge daran interessiert einen Überblick über den nahe liegenden Luftraum zu kriegen um gegebenenfalls Gefahrensituationen vorzubeugen. Der Pilot muss in der Lage sein Entscheidungen zu treffen, welche die Sicherheit seines Luftfahrzeugs gewährleisten.

Traditionelle Flugsicherung bedient sich dem Sprechfunk zur Übermittlung von Anweisungen und Informationsmeldungen. Sowohl die Bodenstationen als auch die Pilot untereinander sind so in der Lage in Kommunikation zu treten und Vereinbarungen zu treffen was den Flugverlauf betrifft.

Mit dem stetigen Wachstum des Flugverkehrs kommt man in naher Zukunft an die Grenzen der möglichen Sprechfunkkapazitäten, die Abhandlung der Flugsicherung wird erschwert und letztendlich mit dieser Technologie nicht mehr durchführbar werden. Die internationalen Institutionen sind nun bestrebt neue Standards der automatisierten Flugraumüberwachung und Sicherung zu verabschieden, die Unternehmen sind entsprechend daran interessiert funktionierende Lösungen zu entwickeln.

Eine Solche Implementierung stellte das *Automatic Dependent Surveillance - Broadcast*, kurz ADS-B, dar. Zur Vervollständigung des Luftbilds wurde das *Traffic Information Service - Broadcast*, kurz TIS-B, entwickelt und soll parallel zu ADS-B betrieben werden. Die Informationen der Broadcasts werden im sog *Cockpit Display of Traffic Information*, kurz CDTI, verwendet. Das CDTI visualisiert die Luftraumbewegungen im Wirkungsradius des Luftfahrzeugs mit relevanten Zusatzinformationen über die Eigenschaften der Luftfahrzeuge.

In den folgenden Abschnitten sollen die Techniken genauer erläutert werden und die Vor- und Nachteile deutlich gemacht werden.

## 2.1 Primärradar

Bei dem Primärradar wird ein gerichteter Hochfrequenzimpuls erzeugt, von dem Flugobjekt reflektiert und anhand der Zeitdifferenz vom Sendezeitpunkt und des Wiedereintreffens die Position des Objekts bestimmt. Dieses Verfahren setzt eine starke Sendeleistung voraus um größere Reichweiten zu erreichen, schließlich muss das Signal den doppelten Abstand von Radar zum Luftfahrzeug überbrücken.

Das Primärradar ist neben der Satellitenüberwachung die einzige Möglichkeiten Luftfahrzeuge zu erfassen, die entweder nicht die technischen Hilfsmittel zur aktiven Radarortung besitzen, oder aber deren Sendeequipment beschädigt oder anderweitig gestört ist. Somit bilden Primärradare bis heute ein flächendeckendes Überwachungsfeld in dicht besiedelten Regionen mit hohem Luftverkehrsaufkommen.

Die Nachteile dieser Überwachungsart liegen in dem hohen Energiebedarf solcher Anlagen, deren notwendige Größe um auch entfernte Objekte erfassen zu können und daraus folgenden sehr hohen Betriebs- und Wartungskosten. Durch die beweglichen Teile ist so eine Anlage besonders anfällig für feinkörnige Verschmutzungen, wie z.B. Wüstensand, was den Betrieb in vielen Regionen unwirtschaftlich macht. Große Gebirgsformationen stören den Empfang und schränken die Reichweite einer Radaranlage stark ein, die Überwachung von tief liegenden Flughäfen wird dadurch erschwert.

## 2.2 Sekundärradar

Ursprünglich zur Freund/Feindidentifikation für den militärischen Einsatz entwickelt, ist es zum Standard in der zivilen Luftraumüberwachung geworden. Im Gegensatz zum Primärradar wird hier nicht die passive Reflektion des Signals empfangen und interpretiert, sondern ein aktives Antwortsignal vom Flugobjekt ausgesandt.

Dadurch kann die Signalstärke beim Radar verringert werden, die Antwort erfolgt durch einen Impuls auf einer höheren Frequenz, was nochmals eine Energiebedarfsreduktion beim Luftfahrzeug bedeutet, z.B. das Radar sendet mit 1030MHz und das Objekt antwortet mit 1090MHz. Diese Technik bedeutet eine Energieersparnis für die Radaranlage, während der Energiebedarf seitens des Luftfahrzeugs im vertretbaren Bereich liegt.

Der weitere Vorteil liegt darin, dass das Antwortsignal weitere Informationen über Flugobjekt und dessen Zustand enthält, somit erhöht es die Entscheidungsgrundlage für die Regelung des Verkehrs für die Flugsicherung. So beinhaltet das Antwortsignal u.a. Informationen über Rufzeichen, Flugzeugtyp und die Flugvektoren wie Position, Richtung und Geschwindigkeit. Die lokale, GPS-ermittelte Position hat zudem eine höhere Genauigkeit was die Sicherheit und Effektivität der Überwachung steigert.

Das Sekundärradar teilt viele Merkmale und dadurch auch Nachteile des Primärradars.



So ist auch hier die Anschaffung und der Betrieb mit hohen Kosten verbunden und die Einsatzmöglichkeit stark von den örtlichen Gegebenheiten abhängig.

## 2.3 Automatic Dependent Surveillance

Der Betrieb von Radaranlagen ist mit sehr hohen Kosten und Aufwand verbunden, was den Einsatz in vielen Regionen der Welt schwierig macht. Natürliche Gegebenheiten wie z.B. Wüsten oder größere Gebirge schränken die Effektivität und Einsetzbarkeit gewöhnlicher Radaranlagen ein. Das führt zu einer unausreichenden Luftraumüberwachung wie auf dem afrikanischen Kontinent oder gar zu überwachungsfreien Regionen wie dem Nordatlantik, großer Teile Alaskas oder auch Australiens.

Eine Alternative dazu stellt ADS-A/B/C dar. ADS-A und ADS-C sind dabei für Interrogationsvorgänge, das heißt das Fluggerät antwortet auf eine explizite Anfragen, während ADS-B einen unaufgeforderten Broadcast darstellt. Weiterhin werden wir uns auf ADS-B zur Erläuterung des Verfahrens beschränken.

Voraussetzung für den Betrieb von ADS-B ist ein Transponder, der ADS-B-konforme Signale versenden und empfangen kann. Besitzt ein Luftfahrzeug entsprechende Ausrüstung, so sendet es periodisch ein oder mehrere Signale. Diese Signale kodieren u.a. die Position, die Flugrichtung, Reisegeschwindigkeit und das Rufzeichen des Senders. Zusätzlich können weiter Informationen wie z.B. Statusmeldungen über den Flugbetrieb im Signal enthalten sein.

Der eigentliche Vorteil von ADS-B liegt darin, dass die Broadcasts von allen teilnehmenden Flugobjekten in Reichweite empfangen und dekodiert werden. So erhalten alle Luftfahrzeuge unabhängig von der Bodenunterstützung ein genaues Luftbild rund um den aktuellen Standort.

Das Resultat ist eine erhöhte Sicherheit, die durch die höhere Abstraten gewährleistet wird. Zudem erhalten die Flugobjekte unabhängig von Bodenstationen oder Radaren ein Fluglagenbild, welches in entsprechenden CDTI dargestellt werden. Natürlich sind auch Bodenstation in der Lage ADS-B-Signale zu empfangen und können diese an zentrale Stellen weiterleiten, aufbereiten und entsprechenden Flugsicherungsinstanzen bereitstellen. Die zentralen Instanzen kombinieren die Eingangsinformationen mehrerer Empfänger und generieren daraus ein vollständiges Luftverkehrsbild vom höchsten Genauigkeit.

## 2.4 Multilateration

Multilateration ist ein Verfahren zur Positionsermittlung von einem Punkt basierend auf der Information mehrerer – mindestens 4 – Sensoren mit bekannten Standorten. Anhand von Entfernungsmessungen zwischen dem zu bestimmenden Punkt und den

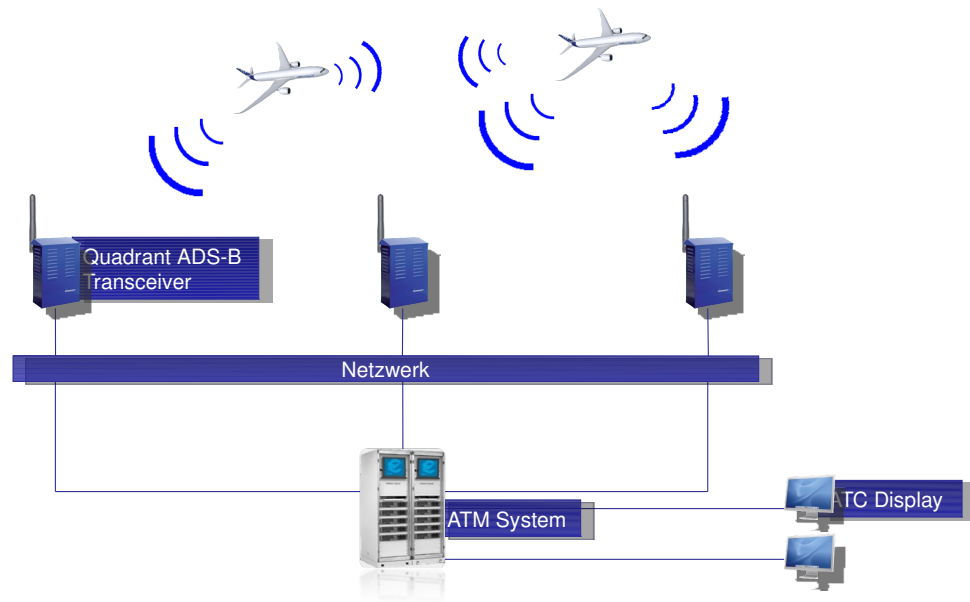


Abbildung 2.1: ADS-B Funktion: Signale werden zwischen Luftfahrzeugen ausgetauscht, Bodenstation dient als zusätzlicher Empfänger

geometrisch verteilten Sensoren, ist es möglich die genaue Position des Punktes zu bestimmen. Die größte Genauigkeit erreicht man durch die Messung der Zeitdifferenzen beim Empfang eines Signals, welches von dem Luftfahrzeug als Broadcast ausgesandt und so von allen Sensoren empfangen wird. Die Zeitdifferenzen des Signals können direkt in ein Abstandsmaß umgerechnet werden, so erhält man die Abstände zwischen Sensoren und Luftfahrzeug mit höchster Präzision. ADS-B ist ein geeignetes Signal für diese Zeitmessung.

## 2.5 Traffic Information Service - Broadcast

ADS-B bietet eine kostengünstige und effektive Alternative zum traditionellen Radar, jedoch sind bis dato nicht alle Luftfahrzeuge mit ADS-B-fähigen Transpondern ausgestattet. Ohne ADS-B versenden die Luftfahrzeuge keine Broadcasts, die Flugvektoren bleiben anderen Luftfahrzeugen somit unbekannt. Um den ADS-B-fähigen Flugzeugen

trotzdem den Flugverkehr lückenlos abzubilden, sollen TIS-B Transponder eingesetzt werden.

Sog. *Tracker* sind zentrale Einheiten, die von mehreren Quellen Radardaten, bzw. ADS-B-Daten beziehen und daraus ein lückenloses Luftbild generieren. Sendet ein Luftfahrzeug keine ADS-B-Signale, so wird es durch örtliche Radaranlagen erfasst und im Tracker verarbeitet. Dieser liefert die Information über die Luftfahrzeuge an entsprechende TIS-B Transceiver Bodenstationen weiter. Die TIS-B Bodenstationen versenden die Informationen über ein *ICAO Extended Squitter Format* und vervollständigen somit das Luftbild der Empfänger. TIS-B-Signale sind kompatibel mit ADS-B-Transpondern, die Informationen sind inhaltlich nahezu gleichwertig zu ADS-B-Signalen.

Die Integration der TIS-B-Funktionalität in einen bestehenden ADS-B Transponder wird in diesem Bericht und den Dokumenten im Anhang detailliert erläutert.

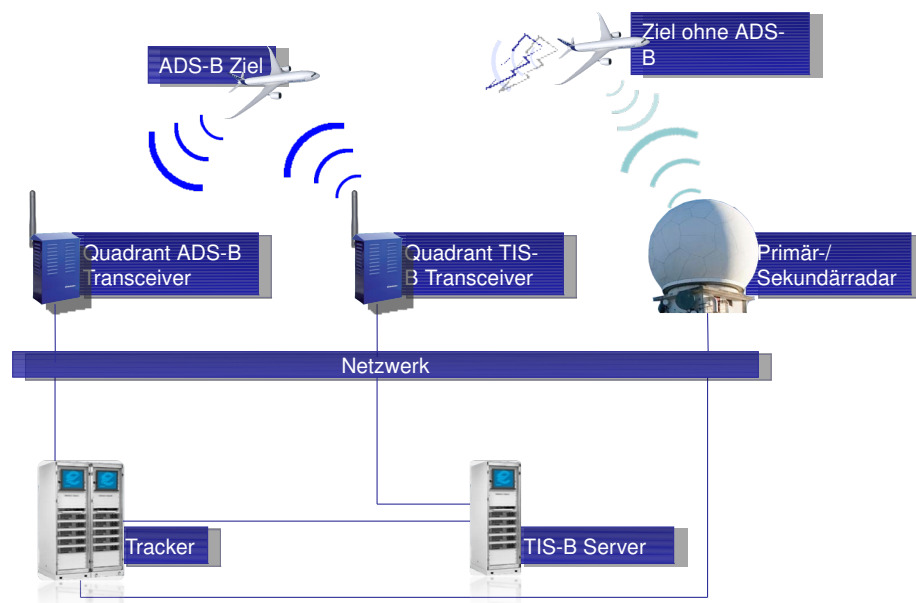


Abbildung 2.2: TIS-B-Funktion: ADS-B-fähige Luftfahrzeuge erhalten Radarinformationen über nicht ADS-B-fähige Luftfahrzeuge durch TIS-B-Bodenstation

### 3 Quadrant ADS-B Transponder

Der *Quadrant ADS-B Transponder* realisiert den Empfang, Filterung und Aufbereitung von ADS-B-Signalen. Die Signale werden dekodiert, interpretiert und aus den gelieferten Informationen ein ASTERIX-Output generiert. Die Transponder versenden mit Hilfe einer Netzwerkschnittstelle die ASTERIX-Daten an Tracker, wo die Daten zentral aufbereitet werden und zur Genauigkeit und Vollständigkeit des Luftbildes beitragen.



Abbildung 3.1: Quadrant ADS-B Sensor: Outdoor-Version mit Standardantenne

Der Transponder ist ein autonomes System mit Fernwartungsmechanismus. Die Netzwerkinteraktion des Systems erlaubt eine vollständige Konfigurierbarkeit, Kontrolle und Steuerung des Transponders per SMTP und einer konsolenbasierten Applikation. Zudem arbeitet das Gerät gemäß Sicherheitsstandards, integriert somit Selbstdiagnosen und Fehlerkorrektur bzw. Systemwiederherstellung.

Der Quadrant Transponder ist durch die robuste Bauweise und geeignete Komponentenwahl in allen klimatischen Gebieten der Erde einsetzbar. Sowohl im großen Gebirge, wie vorzufinden in Peru und den Schweizer Alpen, als auch in trockenen Wüstenregionen wie den Vereinigten Arabischen Emiraten wurde das Gerät erfolgreich getestet und wird teilweise bereits operativ eingesetzt.

### **3.1 Sensorhardware**

Der Sensor besteht aus einer Antenne samt Verstärker, einem GPS-Empfänger und der integrierten Hardware in einem Metallgehäuse. Als integrierte Lösung werden u.a. einen XILINX-FPGA zur Echtzeitsignalverarbeitung eingesetzt. Der Intel XScale PXA270 Digital Processor ist für die restliche Bearbeitungsprozeduren zuständig, hauptsächlich sind das die Funktionen des Betriebssystems. Mit der Quadrant-Standardantenne wird ein Operationsradius von über 250 nautischen Meilen erreicht bei einer maximalen Leistungsaufnahme von 10W.

### **3.2 Software**

Als Betriebssystem wird ein  $\mu$ Linux eingesetzt, die Softwaremodule sind in der Programmiersprache C entwickelt. Das Betriebssystem erlaubt einen hohen Grad an Anpassungsfähigkeit, gleichzeitig bietet es einen stabilen Kernel. Zur Steigerung der Effizienz werden nur die notwendigen Module geladen, dies erlaubt den Einsatz auf Hardware mit begrenzter Rechenkapazität und Speicher.

### **3.3 Formate**

Der Quadrant Sensor empfängt neben Mode-3/A und Mode-C auch Mode-S Formate definiert in ICAO Annex 10 (RTCA DO260, DO260A).

Nach der Interpretation der Downlink-Formate generiert der Sensor Datenpakete im ASTERIX Category 21 Format. Diese werden über eine Ethernet-Schnittstelle an Tracker und andere Surveillance Clients weitergeleitet.

### **3.4 Architektur**

Die Antenne ist durch ein Empfangsteil mit dem FPGA verbunden, beim Empfang werden entsprechende FPGA-Register mit den Daten gefüllt.

Der GPS-Empfänger ist über eine R232-Schnittstelle mit dem Sensor verbunden. Dabei geht ein Datenkanal an den PXA270-Prozessor, während ein weiterer den PPS-Impuls für das FPGA bereitstellt.

### **3.5 Systemmodule**

Neben den Linux-Systemmodulen, stellen eine Reihe von Modulen die Funktionalität des Quadrant bereit. Dabei gibt es bearbeitende Prozesse, die z.B. für das Decodieren, Interpretieren und Encodieren von Nachrichten zuständig sind und Prozesse, die für die Überwachung des Gesamtsystems verantwortlich sind.

### **3.5.1 System Controller**

Der System Controller ist der Überwachungs- und Regelungsmodul in der Quadrant-Architektur. Nach dem Boot-Vorgang melden sich alle Prozesse, außer dem Hardware Monitor, bei dem System Controller an. Ab diesem Zeitpunkt überwacht dieser die Prozesse mit Hilfe eines Watchdog-Protokolls und greift sobald ein Prozess mehrfach nicht auf den Heartbeat-Request antwortet. In der Regel hat dies einen Neustart des Prozesses zur Folge und soll garantieren, dass das sich System stets in einem korrekten und definierten Zustand befindet.

### **3.5.2 DSP Watchdog**

Zur Unterstützung des System Controllers, überwacht der DSP Watchdog die Aktivitäten des FPGA. Bei Fehlverhalten kann dieser ebenfalls eingreifen und den FPGA neu initiieren. Der DSP Watchdog wird selbst auch vom System Controller überwacht.

### **3.5.3 Hardware Monitor**

Der Hardware Monitor kommuniziert über den i2c-Bus mit der Hardware um Spannungs- und Temperaturinformationen zu gewinnen. Zudem stellt er auch den Synchronisationsstatus des NTP fest. Performance bedingt stellt der Prozess eine Ausnahme dar, denn er wird nicht vom System Controller überwacht.

### **3.5.4 SNMP Agent**

Der SNMP Agent ist für das Beantworten von SNMP-Get/Set Requests und das Generieren von SNMP-Notifications zuständig. Das System lässt sich über SNMP überwachen, steuern und konfigurieren. Als SNMP-Monitor wird u.a. QCMS eingesetzt.

### **3.5.5 Maintenance Application**

Die Maintenance Application ist zur Konfiguration und Überwachung des Systems über eine Konsole konzipiert.

### **3.5.6 Core Surveillance**

Die Core Surveillance ist der informationsverarbeitende Prozess für ADS-B. Die vom FPGA bereitgestellten Nachrichten werden aus einer FIFO gelesen, dekodiert, interpretiert und weiterverarbeitet. Abhängig vom Nachrichtentyp und dessen Inhalt, werden die Nachrichten:

- zum Multilaterationsprozessor weitergeleitet
- zum Kodieren von Asterix CAT21 Nachrichten verwendet
- zur internen/externen Synchronisation genutzt

Weiterhin dekodiert der Prozess den Datenstrom des GPS und synchronisiert somit die Systemzeit.

## 4 Quadrant TIS-B Transceiver

Basierend auf der vorhandenen Hardware und Software des Quadrant ADS-B Transponders, sollte ein TIS-B Transceiver entwickelt werden. Aufgaben des TIS-B Transceiver sind die Kommunikation mit dem TIS-B Server abzuwickeln und TIS-B Nachrichten chronologisch korrekt zu versenden. Das TIS-B System soll in den Quadrant ADS-B Transponder integriert werden, sodass dieser nun sowohl als Sende- als auch Empfangseinheit agiert.

### 4.1 TIS-B Erweiterung

Um die TIS-B-Funktionalität auf dem Quadrant ADS-B Sensor zu integrieren waren eine Reihe von Anpassungen nötig. Zum Einen wurde die Hardware erweitert um das Senden zu ermöglichen. Die Antenne wurde dazu durch eine bilaterale Sende- und Empfangseinheit ersetzt, die Hardwaresteuerung entsprechend umgesetzt. Zur Integration mussten diverse notwendige Erweiterungen am Treiber und der vorhandenen Software realisiert werden. Als verarbeitende Instanz wurde ein TIS-B Softwaremodul entwickelt und als weiterer Prozess in das System integriert. Die Softwareerweiterung für die TIS-B-Funktionalität war der Schwerpunkt des Praktikums und wird im Detail in Kapitel 5 erläutert.

**Verantwortlicher:** Eugen Sawin (CS/PRO)

- Meine Aufgaben:**
- Evaluierung und Anpassung der Anforderungen
    - Evaluierung und Anpassung der Schnittstellenspezifikation
    - Erstellung des Software-Designs
    - Implementierung der TIS-B Software
    - Integration in den Quadrant ADS-B Sensor
    - Erstellung der Systemtestspezifikation
    - Testen der Software und des Systems

#### 4.1.1 Hardwareerweiterung

Der Sensor wurde um eine Sendeeinheit erweitert. Zusätzlich wird ein Dämpfungsglied eingesetzt, der das ausgehende Signal um eine variable Größe dämpft.

Aufgrund von gesetzlichen Sendefrequenzbestimmungen war es nicht möglich die Sendefunktion mit einer aktiven Antenne zu verifizieren, stattdessen wurde der RF-Ausgang des Quadrants mit dessen RF-Eingang kurzgeschlossen, mit dazwischen gesetzten Dämpfern



wurde die Signalstärke korrigiert um eine Beschädigung der Hardware zu vermeiden. Im Kapitel 5.4 wird der Testaufbau detaillierter erläutert.

**Verantwortlicher:** Stefan Schneider (HUS/ATE)

**Meine Aufgaben:** Testen und Verifikation der Sendefunktion und Sendeleistungsdämpfung

### 4.1.2 FPGA-Anpassung

Am FPGA mussten diverse Modifikationen vorgenommen werden um die erwartete Sendefunktionalität zu unterstützen. Es wurde ein 12 Registerset definiert, indem der TIS-B-Prozess die Sendenachrichten und Konfigurationswerte ablegt. Da das Versenden zeitlich festgelegt auf 10  $\mu$ s genau ausgeführt werden muss, wurde die letzte Phase des Scheduling auf demr FPGA realisieren.

**Verantwortlicher:** Sergii Kibets (HUS/ATE)

**Meine Aufgaben:**

- Definition des FPGA-Interface für TIS-B
- Festlegung des Scheduling-Verfahrens
- Testen und Verifikation der FPGA-Funktionalität

### 4.1.3 Treibererweiterung

Bisher war die Schnittstelle zwischen Software und FPGA auf lesenden Zugriff auf die FIFO beschränkt. Der Treiber wurde um weiter 12 beschreibbare Register erweitert. Weiterhin wurde ein TIS-B Interrupt bereitgestellt, der die Bereitschaft des Registersatzes signalisiert. Der Interrupt musste entsprechend konfiguriert werden.

**Verantwortlicher:** Eugen Sawin (CS/PRO)

**Meine Aufgaben:**

- Erweiterung des Registersatzes
- Bereitstellung des TIS-B Interrupts
- Testen und Verifikation der FPGA-Funktion bezüglich des Interrupts: auf Ebenen der Hardware, Treiber und Software

## 4.2 ASTERIX Category 21 Version 1.3

Nach Abschluss der TIS-B-Erweiterung wurde die Unterstützung des ASTERIX Category 21 von Version 0.26 auf Version 1.3 hochgestuft. Hierfür waren Änderungen sowohl im Dekodieren der empfangenen ADS-B-Nachrichten notwendig, als auch die Erweiterung der Generierung der ASTERIX-Formate.

Bisher bot Quadrant Unterstützung für die ASTERIX CAT 21 Version 0.23 und 0.26, welche nur im Detail Unterschiede aufweisen. Das Format in der Version 1.3 beinhaltet grundlegende Änderungen gegenüber den vorherigen Versionen. So mussten bereits genutzte Identifikationsfelder anders interpretiert werden, außerdem wurde das Format

um einige neue Informationseinheiten erweitert. Eine besondere Schwierigkeit lag in der eingeführten semantischen Abhängigkeiten zwischen einzelnen Informationseinheiten innerhalb eines Signals und auch verteilte in mehreren Downlinks.

Die Änderungen waren mit dem vorhandenen Interpretierungsprozess nicht kompatibel und musste von Grund auf neu strukturiert werden. Das folgende Arbeitspaket bestand aus der Erweiterung des Parsers und der Implementierung der Verbesserungsvorschlag.

**Verantwortlicher:** Eugen Beck (HUS/ATE)

**Meine Aufgaben:**

- Umstrukturierung der Dekodierungs- und Interpretationsarchitektur
- Erweiterung der Versionsumschaltung
- Unterstützung bei der Implementierung der Interpretationsfunktionen

### 4.3 Synchronisation mit MLAT Central Processor

Um den Quadrant erfolgreich als Multilaterationssensor einsetzen zu können ist es notwendig einen Mechanismus der Zeitsynchronisation zwischen dem Sensor und dem MLAT Central Processor zu liefern. Da das Multilaterationsverfahren auf der Messung von minimalen Zeitunterschieden basiert, ist eine hohe Präzision bei der Synchronisation notwendig.

Die Auflösung der Systemuhr ist für so einen Einsatz unzureichend. Es ist notwendig den FPGA-Schrittgeber für die Synchronisation zu nutzen. Um dies zu ermöglichen, war es notwendig die Verarbeitung der verschiedenen FPGA-Interrupts zu erweitern. Da im Falle der Multilateration auch die genaue Position ein Teil der Berechnung ist, war ein Betrieb ohne GPS-Synchronisation nicht praktikabel. Dieser Zustand ermöglichte die Nutzung des GPS-generierten PPS-Signals: man erzeugt mit jedem eingehenden PPS-Impuls ein UDP-Paket mit der Systemzeit und dem FPGA-Counter und sendet dieses an den Central Processor. Dieser kann mit Hilfe dieser Daten ein Zeitbild mit der Auflösung von einer Nanosekunde erstellen und so alle beteiligten Quadrant Sensoren synchronisieren.

**Verantwortlicher:** Eugen Sawin (CS/PRO)

**Meine Aufgaben:**

- Spezifizierung des MLAT-Zeitprotokolls
- Erweiterung der Quadrant-Zeitsynchronisationsprozedur um die Generierung der Zeitpakete

## 5 TIS-B Software

Als reine ADS-B-Sendeeinheiten hatten bisherige Quadrant Softwareversionen keinerlei Unterstützung für den Empfang, die Verarbeitung und das Versenden von TIS-B Nachrichten. Der Schwerpunkt des Praktikums lag in der Entwicklung der TIS-B Software.

In Zusammenarbeit mit QinetiQ sind bereits Dokumente zu den Systemanforderungen und Schnittstellenspezifikation entstanden. Die erste Aufgabe bestand darin die Anforderungen zu evaluieren, wenn nötig zu präzisieren und zu erweitern. Die nächste Phase bestand aus der Bereitstellung eines Entwurfs für die TIS-B-Softwarekomponente und die Integration in die Quadrant-Architektur. Die Realisierung des Entwurfs war die Abschließende Entwicklungsarbeit. Danach folgte die Verifizierung der Komponenten, insbesondere die Bestätigung der Einhaltung der verschiedenen Zeitbegrenzungen zur Laufzeit unter Last.

### 5.1 Anforderungen

Die Anforderungen waren zum Beginn der Tätigkeit bereits vorhanden. Lediglich kleinere Änderungen wurden unter Abstimmung mit den Projektleitern und nach einer gründlichen Evaluation eingearbeitet. Hier sollen die die Anforderungen in zusammengefasster Form beschrieben werden, die ausführlichen und vollständigen Anforderungen sind in der *System Requirements Specification*, zu finden in Anhang A. Im folgenden Abschnitten wird die TIS-B Software kurz mit die Software oder das Modul referenziert.

#### 5.1.1 Musskriterien

Die folgenden Kriterien haben *höchste Priorität*:

##### 1. Empfangen von TIS-B Send Requests

Das Modul soll durch eine Netzwerkschnittstelle Verbindung mit einem TIS-B Server halten. Die Software soll TIS-B Request-Nachrichten von dem Server empfangen, verifizieren und interpretieren. Das TIS-B Request Datenformat ist im *Interface Design Document* festgehalten. Es gibt zwei Basistypen für die TIS-B Send Requests: *primitive* und *scheduled*. Die Software soll primitive Requests unmittelbar versenden, die anderen zeitgesteuert.

Die maximale Latenz beim Versenden von primitiven Requests beträgt 50ms, die Fluktuation der Latenz darf maximal 10ms betragen.

## 2. Senden von TIS-B-Nachrichten

Das Modul soll TIS-B-Nachrichten generieren und senden. Die Software soll standardkonforme Nachrichten generieren und diese mit Hilfe der Sendeeinheit als Mode-S Extended Squitter-Signal mit einer Frequenz von 1090MHz senden. Den Standard des Uplinkformats stellt ICAO Annex 10 Volume IV.

## 3. Scheduling

Das Modul soll TIS-B Send Requests vom Typ *scheduled* auf 10µs genau versenden. Die Software soll die erste Phase des Scheduling bereitstellen. Um die notwendige Genauigkeit zu gewährleisten soll die Software das FPGA Scheduling steuern, welches die zweite Phase des Scheduling realisiert.

## 4. SNMP

Es soll die SNMP-Schnittstelle erweitert werden um eine Kontrolle über die Konfiguration und den Zustand des Moduls zu gewährleisten. Es sollen SNMP-Notifications versendet werden, falls Fehlerkonditionen auftreten wie z.B. das Überlaufen des Netzwerkstacks oder eines der modulinternen Puffer.

## 5. Maintenance Application

Es soll die Quadrant Maintenance Application erweitert werden zur Kontrolle und Konfiguration des Moduls.

## 6. Sendeleistung

Das Modul soll die maximale Sendeleistung/Dämpfung konfigurierbar in 12 Schritten machen, bei einer Auflösung von 1dB. Die Sendeleistung wird durch den Inhalt der TIS-B Requests bestimmt.

### 5.1.2 Sollkriterien

Folgende Kriterien *sollen* berücksichtigt werden:

#### 1. Konfigurierbarkeit

Das Modul soll mit Hilfe von SNMP und der Maintenance Application vollständig konfigurierbar sein. Weiterhin soll die Überwachung der Leistung und des Zustands ermöglicht werden. Folgende Statistiken sollen u.a. bereitgestellt werden: Nachrichten empfangen, Nachrichten verworfen und Nachrichten versendet. Die Konfiguration soll u.a. folgende Werte steuern: Transmission ein/aus, minimales Transmissionsintervall und die Empfängerschutzverzögerungen.

#### 2. Effizienz

Das Modul soll keine Prozessorleistung bei Inaktivität beanspruchen. Die Software soll während der Verarbeitung nicht mehr als Durchschnittlich 50% Prozessorlast in der Sekunde bewirken.

#### 3. Kontinuierliches Senden

Die Software soll ein effektives Versenden von mehreren zeitlich aufeinander folgenden TIS-B Nachrichten unterstützen. Der sog. *Burst Mode* soll in geeigneten Situationen kurzzeitig den Sendeausstoß maximieren.

#### 4. Nebenläufiger Betrieb zu ADS-B

Die Software soll den ADS-B-Betrieb nicht beeinflussen. Ein paralleler Betrieb von ADS-B und TIS-B soll ohne Qualitätsverlust der Dienste möglich sein. Es gelten Richtlinien für die maximale Sendefensterzeit für TIS-B, damit der Empfang von ADS-B-Signalen nicht gestört wird.

#### 5. Segmentierung

Das Modul soll die segmentbasierte Ausrichtung der Sendeeinheit unterstützen. Ein Segment wird im TIS-B Send Request mit der Kombination von Sektor und Sendeleistung kodiert.

### 5.1.3 Abgrenzungskriterien

Folgende Funktionalität soll *nicht* realisiert werden:

#### 1. TIS-B Server

Das Modul soll keine TIS-B Server-Funktionalität bereitstellen, d.h. das Modul soll keine TIS-B Send Requests basierend auf ADS-B Daten generieren.

#### 2. Semantische Datenprüfung

Die Software soll keine semantische Datenprüfung der empfangenen TIS-B Send Requests durchführen. Lediglich die Konsistenz des Formats soll mit Hilfe der Header-Metadaten validiert werden.

Nach Abschluss der Anforderungsrevision konnte man mit dem Entwurf der Software beginnen.

## 5.2 Entwurf

Vor dem Entwurf des Softwaremoduls galt es sich mit der vorhandenen Quadrant Softwarearchitektur auseinander zusetzen. Die Integration sollte möglichst mit wenigen Veränderungen an dem aktuellen Stand der Software erfolgen.

Bei der Erstellung des Software-Designs wurden alle Anforderungen im Detail realisiert. Besonders zu beachten dabei waren die sicherheitskritischen Merkmale, die das Endsystem zu erbringen hatte. Hierzu zählten:

- strikte Timing-Vorgaben (Reaktionszeiten, Dauer von Prozeduren)
- beschränkte Prozessorauslastung (unter 50%)
- beschränkte Sendeleistungseinstellung (1-12 dbM)
- begrenzte Sendezeitlaufzeit und Sendehäufigkeit

Die Software musste demnach in der Lage sein Sendeanfragen zügig zu verarbeiten, effizient zu speichern und zu sortieren und dabei nur wenig Prozessorlast erzeugen. Je nach Typ der Sendeanfrage, war es entscheidend möglichst schnell zu reagieren und den Sendeprozess unmittelbar einzuleiten oder aber das Sendepaket in einer effizienten Datenstruktur zu puffern.

Eine ausführliche Beschreibung des Entwurfs befindet sich in der *Software Design Description*, zu finden in Anhang D.

### 5.2.1 TIS-B Server-Kommunikation

Die Kommunikation mit dem TIS-B Server basiert auf UDP<sup>1</sup>-Schicht.

Der Server versendet sog. *TIS-B Send Requests*, es können mehrere Requests in einer Nachricht enthalten sein. Informationen über den Inhalt bietet ein Header, hier werden in 4 Bytes der Request-Typ und die Gesamtgröße des Pakets kodiert. Ein Request-Format misst 24 Bytes und beinhaltet das TIS-B-Datagramm – 14 Byte Mode-S Telegram – und Metainformationen zum gewünschten Sendezeitpunkt, Sendeleistung und Sendesegmentierung.

Mehr Informationen zum TIS-B-Paketformat sind im Anhang C in 2.1 zu finden, eine detaillierte Beschreibung der externen Schnittstelle ist in Anhang D in 2.1.1 enthalten.

### 5.2.2 Scheduling

Das TIS-B-Modul unterstützt sowohl zeitgesteuertes als auch unmittelbares Senden von TIS-B-Nachrichten. Die Schwierigkeit liegt darin die verschiedenen Anforderungen an beide Versandarten zu erfüllen. Die beste Möglichkeit beide Nachrichtentypen effizient zu Verarbeiten lag darin dedizierte Datenstrukturen für jeden Typ bereitzustellen.

Die Prozedur beim Erhalt eines sog. primitive TIS-B Send Requests besteht darin diesen nach der Verifikation der Paketintegrität in eine FIFO<sup>2</sup>-Datenstruktur abzulegen. Sobald das FPGA ein freies Registerset signalisiert, wird das älteste Request aus dieser Struktur kopiert und versendet. Nach dem erfolgreichen Versenden wird die Nachricht aus der FIFO entfernt. Ein effektiver Entwurf für die FIFO wurde mit Hilfe eines Ringpuffers realisiert.

Zeitgesteuerten TIS-B-Nachrichten hingegen werden zeitlich sortiert in einer doppelt verketteten Liste aufbereitet. Diese Struktur bietet für den Regelfall die höchste Effizienz und erlaubt basierend auf statischer Speicherallokation eine robuste Implementierung in der nächsten Phase.

---

<sup>1</sup>User Datagram Protocol – Ein verbindungsloses, nachrichtenbasiertes Standardprotokoll auf der IP-Schicht.

<sup>2</sup>First In First Out – Datenstruktur

Der Nachteil des Zweipufferentwurfs liegt in der Verdopplung des benötigten Pufferspeichers, vorausgesetzt man erwartet eine Gleichverteilung zwischen zeitgesteuerten und primitiven TIS-B Send Requests. Da der Einsatz aber keine Langzeitspeicherung vorsieht, können die Puffer klein gehalten werden, was die ungenutzte Speichermenge vernachlässigbar macht.

### 5.2.3 Statusnachrichten

Das TIS-B-Modul sendet periodisch *Service Status* und *Service Statistics* Nachrichten im Format nach ASTERIX Category 23. Die Frequenz der Statusnachrichten ist konfigurierbar. Diese Nachrichten bilden eine standardkonforme Kontrolle über die Leistung und die Funktionalität des Moduls nach dem EUROCONTROL Standard Document for Surveillance Data Exchange.

### 5.2.4 SNMP Interface

Die Erweiterung der Quadrant MIB<sup>3</sup> erlaubt es auf alle Zustände, Statistiken und Konfigurationen mit Hilfe von sog. *SNMP Manager* zuzugreifen. Eine solche Managementplattform bildet auch das Quadrant QCMS, die Einbindung von der TIS-B Kontrolle wurde hier von einem Comsoft-Mitarbeiter bereitgestellt. Eine genaue Aufstellung der MIB-Erweiterung ist im Anhang D in 2.1.1.3 zu finden.

### 5.2.5 Maintenance Application

Die Quadrant Maintenance Application bietet vollständige Kontrolle und Konfigurationsoptionen über alle Quadrant-Module. Diese Anwendung musste erweitert werden, um Zugriff auf die TIS-B-Funktionalität zu bieten. Die Erweiterung beinhaltet u.a. alle durch die SNMP-Schnittstelle bereitgestellten Funktionen. Die vollständige Konfigurationsoptionen sind im Anhang D in 2.1.1.4 beschrieben.

### 5.2.6 Transmission

TIS-B ist ein Uplinkformat nach ICAO Annex 10. Die Software steuert das zeitlich gesteuerte Versenden der TIS-B-Signale.

Die TIS-B Software basiert auf einem Event-basierten Modell. Mögliche Ereignisse sind:

- Empfang von TIS-B Send Requests
- FPGA-Interrupt
- Watchdog-Interrupt
- Timeout

---

<sup>3</sup>Management Information Base – Ein tabellarisches Beschreibungsformat für das SNMP Interface

Zum Versenden ist die Signalisierung der Bereitschaft des FPGA durch den FPGA-Interrupt relevant. Wird dieses ausgelöst bedeutet dies, dass das FPGA für weiteren VersendeprozEDUREN bereit ist. Das FPGA löst diesen Interrupt stets aus, sobald das Shadow-Register frei ist, dies ist der Fall sobald eine Nachricht erfolgreich versendet worden ist oder durch ein Timeout verworfen wurde. Im Falle eines Timeouts innerhalb des FPGA wird ein Register-Flag gesetzt, dies ist relevant für die Softwareverarbeitung des Interrupts.

Die Software beschreibt das TIS-B Send Register mit dem Inhalt des TIS-B-Formats und der gewünschten Sendezeit in FPGA-Counts. Die Ausführung des Quadrants stellte einen FPGA mit einem internen 100MHz-Schrittgeber bereit, der Einsatz von FPGA mit höheren Taktraten war für folgende Quadrant-Versionen geplant. Der 100MHz-Counter ermöglicht bereits eine Zeitaufösung im Nanosekundenbereich, was ausreichend für unsere gewünschte Genauigkeit von 10µs ist. Zur Ermittlung des Counter-Wertes wird die Software periodisch mit dem FPGA-Counter synchronisiert, dies geschieht durch GPS basierte PPS<sup>4</sup>-Signale. Im Falle eines Ausfalls der GPS-Verbindung, generiert das FPGA sog. *RF-Loop*-Nachrichten, diese gewährleisten u.a. eine fortwährende Synchronisation des Counters mit der Systemzeit.

## DSP Interface

Den letzten Schritt der Signalgenerierung übernimmt das FPGA, wobei der Inhalt des Extended Squitter Formats in 1090MHz moduliert werden und per Außen- oder Richtungsantenne ausgestrahlt werden. Vorher wird das Signal durch das Dämpfungsglied gedämpft, die Stärke der Dämpfung ist durch die Software konfigurierbar.

Das FPGA initiiert das Senden sobald die übermittelte Sendezeit mit dem internen Counter-Stand übereinstimmt. Ist die gewünschte Zeit nicht mehr realisierbar – man beachte weitere Verzögerungszeiten der Sendefunktion – so wird das Paket verworfen und das Register für weitere Sendungen freigegeben.

### 5.2.7 Watchdog

Da das Quadrant System nach den Richtlinien des IEC 61508 für Software nach SIL 2 entwickelt werden muss, gilt es u.a. die Vitalität des Gesamtsystems in allen Fällen zu gewährleisten. Jeder Prozess des Systems muss dafür überwacht werden, im Falle einer Dysfunktion oder Verletzung von Sicherheitsrichtlinien wird der Prozess terminiert und neu initiiert.

Solche Maßnahmen verlangen einen robusten Aufbau der einzelnen Module und nur schwache Kopplungen, im Normalfall datengetrieben, zwischen den Modulen. Die Prüfung der Vitalität basiert auf dem *Watchdog*-Verfahren. Hierbei wird periodisch ein Signal erzeugt und an alle Prozesse propagiert und die Verzögerungszeit des Antwortsignals

---

<sup>4</sup>Pulse Per Second – Ein GPS-Impuls zur Synchronisation der Systemzeit



gemessen.

Weitere Informationen zu dem Quadrant DSP Watchdog sind in Anhang D in 2.1.2.1 zu finden.

### **DSP Watchdog**

Das Signal wird direkt auf dem FPGA erzeugt, was höchste Genauigkeit und Stabilität bietet. Das FPGA generiert hierfür mehrmals in der Sekunden einen Hardware-Interrupt.

### **System Controller**

Den zweite Teil des Watchdog-Protokolls stellt der System Controller bereit. Dieser verwaltet die Anmeldung der Prozesse und registriert die Antwortsignale. Wird ein Zeitlimit bei einer Antwortverzögerung überschritten, so besteht Handlungsbedarf. Der System Controller kann bei wiederholter Verletzung der Reaktivität den Prozess terminieren und neu starten. Dieser Vorgang zeigt eine Fehlfunktion im entsprechenden Modul auf und wird via SNMP-Notification gemeldet.

## **5.3 Realisierung**

### **5.3.1 Programmiersprache & Bibliotheken**

Das System musste des weiteren im Hinblick auf Robustheit entwickelt werden. Als Programmiersprache wurde ANSI C, mit einigen Einschränkungen, eingesetzt. Entsprechend den Richtlinien der Softwareentwicklung nach dem IEC 61580 Standard (SIL 2) wurde u.a. auf dynamische Speicherallokierung verzichtet.

Bei der Entwicklung des SNMP-Agents kam C++ zum Einsatz. Der SNMP-Agent wird mit Hilfe von *NET-SNMP* entwickelt – die Bibliothek unterstützt die Erstellung von SNMP-Agenten durch die Bereitstellung der MIB.

### **5.3.2 Compiler**

Auf den Entwicklungssystem kam *GCC*<sup>5</sup> bei der Übersetzung zum Einsatz. Zur Auslieferung auf dem Zielsystem wurde ein Cross-Compiler eingesetzt, der den C-Code in die entsprechende Architektur überführte.

### **5.3.3 CppUnit & Code Coverage**

Zur Erstellung und der Durchführung von Unit-Tests wurde *CppUnit* eingesetzt. Das Framework ermöglicht das Testen von C++-Klassen und C-Modulen. Das Code Coverage dient zur Bestimmung der Testüberdeckung basierend auf den erstellten Unit-Tests. Die

---

<sup>5</sup>The GNU Compiler Collection – Ein C/C++ Compiler & Linker

resultierenden Statistiken lassen sich mit weiteren Werkzeugen visualisieren und bieten eine wichtige Grundlage zur Beurteilung der Testqualität.

### 5.3.4 Entwicklungsumgebung

Als Entwicklungsumgebung wurde Red Hat Enterprise Linux 5.4 eingesetzt. Das Betriebssystem bietet eine Reihe von Werkzeugen, welche die Entwicklung und insbesondere die Interaktion mit dem lokalen Zielgerät und weiteren Testsystemen im Comsoft-Netzwerk unterstützen.

#### IDE

Für Programmieraufgaben wurde hauptsächlich die Eclipse IDE eingesetzt. Eclipse ist ein modulares Framework mit großen Erweiterungsmöglichkeiten. Mit dem C++-Plugin wird Eclipse zu einem umfassenden Entwicklungssystem. Eclipse bietet, wie die meisten IDEs, u.a. eine intuitive Bedienung, Syntax Highlighting und Autovervollständigung. Die Integration mit anderen Werkzeugen wie der Versionsverwaltung steigert die Effektivität der Arbeit.

#### Versionsverwaltung

Bei der Entwicklung von sicherheitskritischen Systemen ist man stets bestrebt sowohl die Produkte als auch den Entwicklungsprozess sicher zu gestalten. Die Konsequenz ist eine konservative Technologiewahl, erprobte und bewährte Systeme und Prozesse werden nur nach gründlicher Prüfung der Alternativen ersetzt. Dies gilt auch für die Versionsverwaltung, so wurde für dieses Projekt CVS<sup>6</sup> eingesetzt.

## 5.4 Verifikation

In der letzten Phase stellt man den Zustand der entwickelten Komponenten fest und stellt diesen den Anforderungen gegenüber. Es werden Testfälle erstellt, die einzelne Positionen der Anforderungen abdecken. Bei der Durchführung der Tests ist eine objektive Sicht notwendig. Die Tests sollen alle Funktionen mindestens einmal verifizieren.

Beim Testen der TIS-B-Funktionalität wurde besonders auf die Einhaltung der vielen Timing-Bestimmungen geachtet. Dafür wurde ein Testprogramm entwickelt, welches parametergetrieben die gewünschten Testszenarien generiert. Die Stresstests dienen außerdem dazu die Software auf ihre Robustheit zu prüfen.

### 5.4.1 Unit-Tests

Bei der Verifikation der Unit-Tests wurden die Metriken genutzt um mögliche Gefahrenquellen zu erkennen und nachträglich durch Umformung/Aufspaltung der Funktio-

---

<sup>6</sup>Concurrent Versions System – Ein Versionsverwaltungssystem zur Versionierung von Software und aller Änderungen während der Entwicklungsphase

nalität zu beseitigen. Die Testüberdeckung diente der Entdeckung möglicher Schwachstellen in der Teststellung. Es galt eine Coverage-Rate von mindestens 80% einzuhalten, größtenteils lagen die einzelnen Komponenten bei einer Überdeckungsquote von 100%.

### 5.4.2 Testskripte

Die Testskripte beschreiben die manuelle Testdurchführung, durchgeführt durch einen Testingenieur. Die Skripte können auch Hilfswerkzeuge einführen und die Testfälle mit deren Hilfe gestalten. Da bei der TIS-B-Komponente keine Benutzerinteraktion besteht, war es möglich die meisten Testfälle mit Hilfe eines dafür entwickelten Testprogramms zu automatisieren. Die Funktion des Testprogramms besteht in der Simulation eines TIS-B Servers. Das Programm generiert basierend auf den übergebenen Parametern eine Sequenz aus TIS-B Send Request-Paketen in einem definierbaren Intervall. Die sog. *Payload* der Pakete konnte dynamisch aus einer vom Tester bereitgestellten Datei übernommen werden, oder statisch generiert werden.

### 5.4.3 Testaufbau

Da das TIS-B eine Sendeeinheit darstellt, mussten einige Schwierigkeiten in der Vorbereitung der Tests beseitigt werden. Eine Schwierigkeit bestand darin die tatsächliche Ausgangssignale zu verifizieren. Ein Senden auf der 1090MHz-Frequenz ist auch mit geringer Sendeleistung nicht ohne Genehmigung möglich. Eine Sendegenehmigung ist mit einem Kostenaufwand verbunden und wird nur für Anlagen im operativen Betrieb oder Dauertestbetrieb erwirkt.

Die Lösung dieses Problems bestand darin den Quadrant TIS-B/ADS-B Transceiver sowohl als Sende- als auch Empfangseinheit zu nutzen. Der Aufbau bestand aus einem Quadrant TIS-B Transceiver – dem Entwicklungsgerät – und einem Quadrant ADS-B Sensor. Dabei wird das Ausgangssignal des TIS-B Transceiver direkt an den Antenneneingang des Quadrant ADS-B Sensors angeschlossen. Dazwischen werden Dämpfungsglieder angeordnet, da sonst auch bei geringem Ausgangssignal eine Beschädigung der Hardware nicht ausgeschlossen ist, die Testgeräte verfügen über keine Blitzableitung, welche einen Quadrant im operativen Betrieb sonst vor solchen Überspannungen schützen würde.

Das in Abschnitt 5.4.2 beschriebene Testprogramm generiert TIS-B Send Requests, die über eine Netzwerkverbindung an den TIS-B Transceiver geleitet werden. Dieser verarbeitet die Anweisung und sendet die TIS-B Uplink-Daten über den Antennenausgang. Diese Signale landen nun im Quadrant ADS-B Sensor, werden dort zu ASTERIX-Daten aufbereitet und über eine Netzwerkschnittstelle zurück an das Testsystem geleitet. Im Testsystem werden die ASTERIX-Daten mit Hilfe von weiteren Comsoft-Werkzeugen wie dem QCMS zur Visualisierung (Abb. 5.2) und dem RAPS-3 zur automatischen Verifizierung verarbeitet (Abb. ??). Dieser Aufbau ermöglichte ein automatisiertes Testen mit manueller Bestätigungsmöglichkeit durch die Visualisierung der Daten.

Nach der initialen Prüfung der TIS-B-Effizienz, konnte der Quadrant ADS-B Sensor

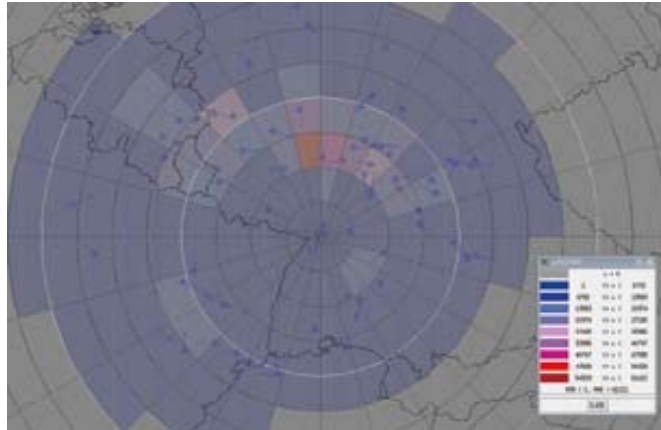


Abbildung 5.1: QCMS Display: Zeigt Targets basierend auf ASTERIX-Daten

aus dem Testaufbau entfernt werden und durch das TIS-B-Testgerät selbst ersetzt werden. Hierzu galt es lediglich den Antennenausgang des Quadrant mit dessen Eingang kurzzuschließen. In diesem zweiten Aufbau konnte das Gerät zudem auf die Stabilität der Nebenläufigkeit von ADS-B und TIS-B geprüft werden, denn auch im operativen Betrieb ist der Betrieb von ADS-B und TIS-B auf einem Sensor vorgesehen.



Abbildung 5.2: RAPS-3: System zum Testen, Verifizieren, Aufnehmen und Abspielen von ASTERIX-Datenströmen

#### 5.4.4 Leistungsanalyse

Nach Abschluss der Testdurchläufe wurden die Ergebnisse bewertet. Die TIS-B Software interagiert wie geplant mit dem FPGA und erfüllt alle Anforderungen. Alle zeitkritischen

Prozeduren arbeiten effizient, die Bearbeitungszeiten sind innerhalb der geforderten Beschränkungen.

Die Stresstests haben die Robustheit der Software bewiesen. Erst ab 3000 Nachrichten pro Sekunde wird die Grenze des Systems erreicht, dies entspricht der doppelten Belastung als der geforderte Maximalwert von 1500 Nachrichten pro Sekunde. Bei fortwährender Belastung mit dieser Rate gibt es nach einigen Sekunden einen Pufferüberlauf. Wie erwünscht werden in solchen Fällen Nachrichten verworfen, die nicht mehr zeitlich Versenden werden können, auch unter diesen Umständen bleibt das System stabil und die Prozessorlast unter 30%.

## 6 Zusammenfassung

Das entwickelte System erfüllt alle primären und sekundären Anforderungen. Die Dokumentation erfolgte vollständig sowohl auf der Code-Ebene, als auch in der Projektdokumentation. Das System zeigte bei den abschließenden Tests das erwünschte Verhalten. Die Leistungsanalyse weist genügend Zeitreserven nach um auch bei einer Mehrbelastung des Gesamtsystems durch andere Prozesse innerhalb der vorgeetzten Grenzen zu operieren.

In Zukunft wird der weitere Ausbau der Multilaterationsunterstützung angestrebt um den Quadrant Transceiver in der technologischen Führungsposition zu halten. Eine erfolgreiche Integration mit dem TIS-B Server steht noch aus, da zum Zeitpunkt der Arbeit die Entwicklung des Servers noch nicht abgeschlossen war.

# Abbildungsverzeichnis

2.1	ADS-B Funktion: Signale werden zwischen Luftfahrzeugen ausgetauscht, Bodenstation dient als zusätzlicher Empfänger . . . . .	10
2.2	TIS-B-Funktion: ADS-B-fähige Luftfahrzeuge erhalten Radarinformationen über nicht ADS-B-fähige Luftfahrzeuge durch TIS-B-Bodenstation . .	11
3.1	Quadrant ADS-B Sensor: Outdoor-Version mit Standardantenne . . . . .	12
5.1	QCMS Display: Zeigt Targets basierend auf ASTERIX-Daten . . . . .	28
5.2	RAPS-3: System zum Testen, Verifizieren, Aufnehmen und Abspielen von ASTERIX-Datenströmen . . . . .	28

# Literaturverzeichnis

- [Com05] International Electrotechnical Commission. *IEC 61508 Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*. IEC, 1998/2005.
- [May02] Rodney May. *Personal Competencies and the Requirements of IEC 61508*. Programmable Electronics and Safety Systems: Issues, Standards and Practical Aspects, 2002.
- [Men04] Heinrich Mensen. *Moderne Flugsicherung - Organisation, Verfahren, Technik*. Springer, 2004.
- [Org96] International Civil Aviation Organization. *Procedures for Air Navigation Services: Rules of the Air and Air Traffic Services*. ICAO, 1996.



# **A Comsoft Quadrant TIS-B System Requirements Specification v0.3D**

# **TIS-B Transceiver**

## System Requirements Document

V0.2D

08.02.2008

**Project No.:** 1648  
**Doc-ID.:** TIS-B Transceiver-SRD-V0.2D  
**Status:** Draft

Revision History

Version	Date	Description
V0.2D	08.02.2008	Added environmental req., security rec., update background material
V0.1D	17.08.2007	Initial Draft Version

Approval

Version	Quality Manager / Date	Project Manager / Date
V0.2D	  _____ (L. Merz)	  _____ (W. Pitz)

Version	Customer Representative / Date
V0.2D	  _____

Copyright © QinetiQ Ltd 2007  
**QinetiQ Proprietary**

COMSOFT GmbH  
Wachhausstraße 5a  
76227 Karlsruhe, Germany  
Phone +49 721 9497 - 0  
Fax +49 721 9497 - 129

Copyright © 2008 by COMSOFT GmbH

This document is protected by copyright. Reproduction, duplication, publishing, transfer or disclosure of the contents of this document are only permitted after prior written agreement has been obtained from COMSOFT GmbH.

# Contents

1 Introduction.....	1
Single Statement of User Need.....	1
1.1 Users Background.....	1
ADS-B Overview.....	2
1.2 Timing Diagram.....	3
1.3 Scope of System Requirement.....	3
2 Layout of System Requirements.....	4
3 Key/Mandatory System Requirements.....	6
4 System Requirements.....	7
4.1 Effective Deployment.....	7
Intended Life.....	7
Environment (Non-Operating).....	7
Environment (Operating).....	7
Interfaces / Interoperability.....	7
System Security.....	8
Functions.....	9
Capabilities.....	10
Statutory Regulations.....	11
4.2 Deployment and Mobility.....	12
Power Requirements.....	12
Setup Requirements.....	12
Transportability.....	13
4.3 Sustainability and Logistics.....	13
Availability, Reliability, Maintainability and Testability.....	13
5 Glossary.....	15
6 References / Bibliography.....	16

## List of Figures

Figure 1: Timing for TIS-B Transmission.....3

## List of Tables

Table 1: Priority of requirements.....4

This page is intentionally left blank !

# 1 Introduction

This document defines the System Requirements for the development of a TIS-B (Traffic Information Service – Broadcast) surveillance system. These System Requirements build on the ADS-B (Automatic Dependant Surveillance – Broadcast) requirements contained in Reference 6. The TIS-B capability is incorporated into the already existing ADS-B Quadrant System.

The goal of the project is to develop a surveillance concept based around a low cost to manufacture, 1090MHz receiver/transmitter.

This initiative recognises the move towards universal equipage of Mode S on aircraft across all aviation communities, including General Aviation and the military, as an institutional change that offers an opportunity for new surveillance techniques.

Given the evolution of aircraft equipage, the requirement is also based on the evidence of the emergence of the global use of ADS-B and future capability of multilateration, rather than in response to an individual user requirement.

## Single Statement of User Need

Provision of timely, reliable and accurate positional and supplementary information with regards to targets of interest.

### 1.1 Users Background

Possible Users of the system shall include Air Navigation Service Providers, Military Organisations (Air Force & Navy), Airports and Fleet operators.

- ANSP shall need Air Situation and Positional Information of cooperative aircraft. This information may be used for safety related purposes.
- Military organisations shall need Air Situation and Positional Information of cooperative aircraft. This information may be used for safety related purposes.
- Airports shall need positional information of ground targets which shall be fed into A-SMGCS. This information may be used for safety related purposes.
- Airports shall require positional information for logistics and business efficiency purposes.
- Fleet operators (including oil rigs) shall require positional information for logistics and business efficiency purposes.



Users may obtain the service through self-managed infrastructure or through network service providers.

All users will require sufficient System Monitoring providing information on the health of the system, and control of the ability to configure the system.

## **ADS-B Overview**

The increasing air traffic volume in most areas of the world has led to a strong development push for advanced Air Traffic Control technology. As part of this, new types of sensors have been introduced, in particular the Mode S radar sensors and the ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) surveillance technology.

ADS-B is based on the aircraft on-board capability to derive a geographical position from positioning systems such as GPS. This positional information together with other flight attributes like speed or heading is broadcast by means of ADS-B messages to other aircraft (air-to-air) and to ADS-B ground stations (air-to-ground).

On the ground the ADS-B data together with conventional data are consolidated by means of a SDPS (surveillance data processing system) and presented to air traffic controllers.

As part of an effort to produce a better situational awareness for airline pilots, the TIS-B approach aims at upgrading aircraft with equipment that permit to have an on-board view of the aircraft's neighbourhood. For this purpose it is proposed to equip every ADS-B capable airplane with a so-called CDTI (cockpit display of travel information) displaying an accurate picture of the direct surrounding of an in-flight aircraft.

While some of the aircraft surrounding can be viewed taking into account the ADS-B air-to-air messages, the CDTI is blind for any type of non-ADS-B aircraft. For this reason, it is proposed to establish a TIS-B (Traffic Information System – Broadcast) uplink that completes the air situation picture for the cockpit display ("gap filler scenario").

While the TIS-B server is the central coordinating instance of this gap filling protocol, the TIS-B Transmitter handles the input from the TIS-B Server and generates the ADS-B signal.

The TIS-B Transmitter will eventually be integrated in the Quadrant Transceiver.

### 1.2 Timing Diagram

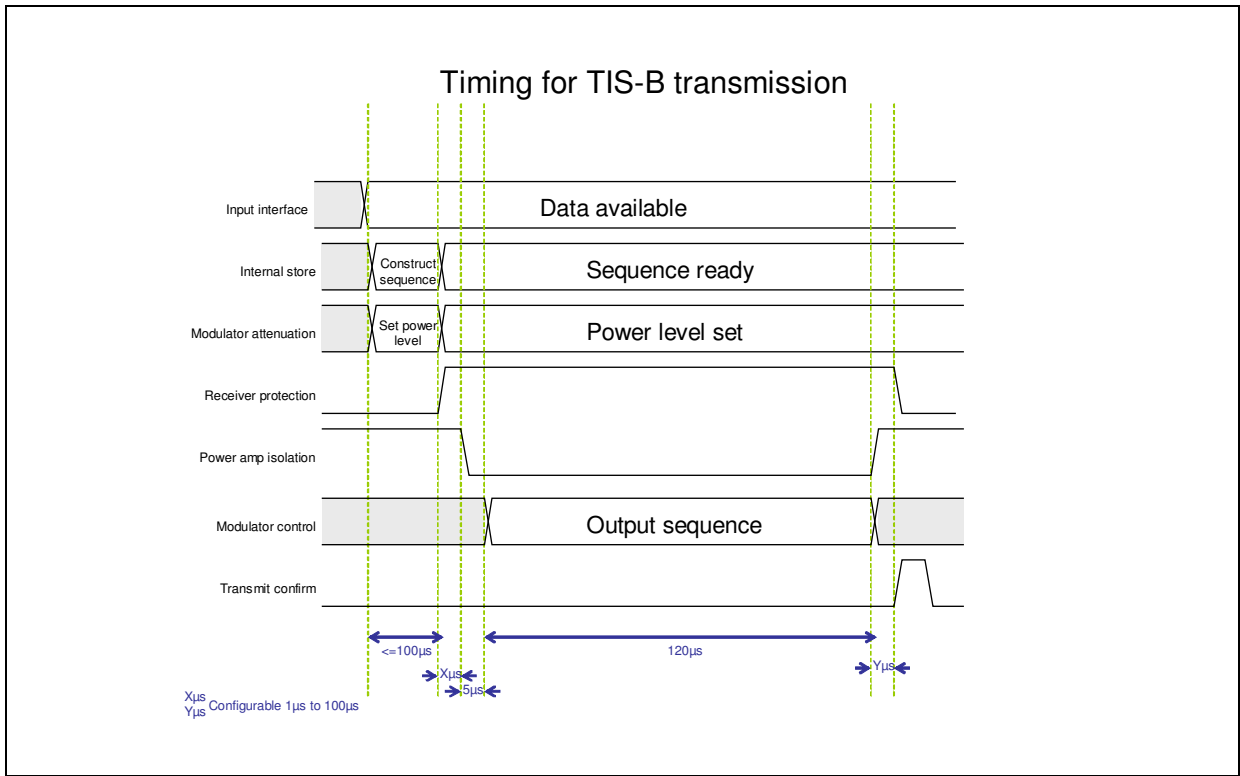


Figure 1: Timing for TIS-B Transmission

### 1.3 Scope of System Requirement

The scope of the system for the purposes of this document is the transceiver

Requirements for an extended system which would permit multiple sensors to perform a multilateration function through a central processing function are outside the scope of this document.

## 2 Layout of System Requirements

The System Requirements are set out in the following table. The column headings are explained below:

- URD Link Associated User Requirement.
- SRD ID Uniquely identifies each System Requirement, regardless of its position in the hierarchy. The ID cannot change through the life of the SRD.
- System Requirement The definition of the System Requirement.
- Validation Method to verify Requirement (e.g. Certification, Inspection, Demonstration, Analysis and Test).
- Notes. Any points of interest affecting the requirement.
- Status. To record System Requirement status: Compliant / Non-Compliant.
- Priority. Requirement Priority as defined below.

Table 1: Priority of requirements

<b>KSR</b>	Key System Requirement - assessed as key to the achievement of the mission need, or for some other reason assessed as of particular interest to management (e.g. ISD). A KSR cannot be traded without approval from the CCB.
<b>M</b>	Mandatory Requirement – dictated by law, regulation, convention, international treaty etc. Cannot be traded.
<b>P1</b>	High priority Requirement assessed as very important to the User's need. Will only trade if technically unachievable or to avoid unacceptable time/cost impacts. A P1 System Requirement cannot be traded without approval from the CCB.
<b>P2</b>	Medium priority Requirement (an important, but not fundamental, item). Will trade if too technically challenging (risky); may trade for significant time/cost advantage. A P2 System Requirement cannot be traded without approval from the CCB.
<b>P3</b>	Low priority Requirement (a 'nice to have' item). May be willing to trade for any performance/time/cost advantage. A P3 System Requirement cannot be traded without approval from the CCB.



### 3 Key/Mandatory System Requirements

URD Link	SRD ID	System Requirement	Validation	Notes	Status	Priority
	SR239	The system shall provide a 1090MHz output compliant with ICAO Annex 10 Volume IV Section 3.1.2.2. and EUROCAE MOPS for Secondary Surveillance Radar Mode S Transponders, ED-73B		This requirement will cascade to the Power Amplifier which may also introduce out-of-band interference.		KSR
	SR245	The system shall accept TIS-B payload messages from an external TIS-B server via Ethernet connection.		Preference for UDP for better timing. Multiple messages (sequences) can be included in a single UDP packet.		KSR
	SR253	The systems shall ensure that, when not transmitting, its own receiver is isolated from any internal 1090MHz signals to -90dBm				M
	SR268	The system shall comply with EMC standards EN301-489-1 30 and EN301-489-22 31		Standards to be confirmed		M
	SR269	The user requires that the capability comply with all EU regulations current at time of deployment		The standards will be identified in the certificate of conformity		M
	SR270	The system shall be provided with a safety argument sufficient to be integrated into a safety case				M

## 4 System Requirements

URD Link	SRD ID	System Requirement	Validation	Notes	Status	Priority
		<b>4.1 Effective Deployment</b>				
		<b>Intended Life</b>				
		The system shall have an In-Service life of no less than 10 years				P1
		<b>Environment (Non-Operating)</b>				
		Identical to Quadrant System (see 6)				P3
		<b>Environment (Operating)</b>				
		Identical to Quadrant System Indoor unit (see 6)				P1
		<b>Interfaces / Interoperability</b>				
	SR239	The system shall provide a 1090MHz output compliant with ICAO Annex 10 Volume IV Section 3.1.2.2. and EUROCAE MOPS for Secondary Surveillance Radar Mode S Transponders, ED-73B		This requirement will cascade to the Power Amplifier which may also introduce out-of-band interference.		KSR
	SR240	The output power shall be configurable for each output message when provided with an "Output Power" parameter associated with the message payload.				P1
	SR241	The system shall provide a 5V pull-up 120mA signal as an output to act as a		Assumes that the Power Amplifier is able to isolate its output stage to		P1

References / Bibliography

-

URD Link	SRD ID	System Requirement	Validation	Notes	Status	Priority
		transmit suppression for control of an external power amplifier.		-90dBm in response to the suppression signal.		
	SR242	The system shall provide a 5V pull-up 120mA signal as an output to act as driver for receiver protection of multiple external receiver units.		Capability to operate multiple suppression devices to provide receiver protection for remote receivers on a local site.		P1
	SR243	The system shall provide a minimum of three 5V pull-up 120mA signals as output to act as drivers for antenna switching.		Used where sectorised TIS-B deployment is required.		P1
	SR244	The antenna switching lines shall be driven in accordance with TBD when provided with an "Antenna Identifier" parameter associated with the message payload.		Used where sectorised TIS-B deployment is required. Line selection matrix and timing are TBD.		P1
	SR245	The system shall accept TIS-B payload messages from an external TIS-B server via Ethernet connection.		Preference for UDP for better timing. Multiple messages (sequences) can be included in a single UDP packet.		KSR
	SR246	In an overload condition the system shall drop arbitrary messages from the transmission sequence.				P1
	SR247	The system shall inform the external TIS-B server of an overload condition.				P1
	SR248	The system shall provide information on operational status of the TIS-B transmission to the TIS-B server.		<i>Overload conditions etc.</i>		P1
		<b>System Security</b>				
	SR87	The system shall be configurable to allow access to surveillance functions by allowing				P2

URD Link	SRD ID	System Requirement	Validation	Notes	Status	Priority
		connections from specific IP addresses only				
	SR88	The system shall support configuration of allowed IP addresses through the maintenance function				P2
	SR89	The system shall support enabling and disabling access control for surveillance functions through the maintenance function		With reference to access control requirement outlined in SR87		P3
	SR90	The system shall provide authorised access only to maintenance functions by the use of Username and Password		The maintenance function and SNMP interface are different ways to interact with the system		P1
	SR91	The system shall support configuration of usernames and passwords via the maintenance function				P2
		<b>Functions</b>				
	SR249	The output power shall be configurable in 12 steps of 1dB over a range of dB.				P1
	SR250	The transmit suppression signal shall be removed 5µs ahead of commencing a TIS-B transmission.		<i>See Figure 1: Timing for TIS-B Transmission</i>		P1
	SR251	The transmit suppression signal shall be applied immediately at completion of a TIS-B transmission.		<i>See Figure 1: Timing for TIS-B Transmission</i>		P1
	SR252	The system shall ensure that its own receiver is protected from damage during transmission.				P1
	SR253	The systems shall ensure that, when not transmitting, its own receiver is isolated from any internal 1090MHz signals to -90dBm				M



URD Link	SRD ID	System Requirement	Validation	Notes	Status	Priority
	SR254	The system shall support the scheduled transmission of payload when provided with a "Time of Applicability" parameter associated with the payload message.		<i>This is an enhancement of the "TIS-B primitive mode" that will allow a greater control over the precision of TIS-B scheduling.</i>		P1
		<b>Capabilities</b>				
	SR255	The maximum power of the 1090MHz output shall be not less than +7dBm at the output connection.		This will provide a transmit capability of +53dBm (200W) with the minimum requirement power amplifier.		P1
	SR256	The maximum power of the 1090MHz output shall be not less than +12dBm at the output connection.		This will provide a transmit capability of +60dBm (1000W) with the minimum requirement power amplifier.		P2
	SR257	The system shall initiate a 1090MHz TIS-B transmission within 100ms of accepting a TIS-B payload from the TIS-B server.		This is "TIS-B primitive mode" and is comparable to the ADS-B mode whereby basic ADS-B payload from the decoder is forwarded to the external comms interface.		P1
	SR258	When provided with a "Time of Applicability" the system shall schedule message transmission with a precision of 10 microseconds.		<i>The accuracy of delivery time is governed by the accuracy of the clock, whether this be NTP or GPS synchronised.</i>		P2
	SR259	When provided with a message requiring immediate transmission, the delay between accepting TIS-B payload and commencement of TIS-B transmission shall not exceed 50ms (95%)		<i>Limit on latency.</i>		P2
	SR260	When provided with a message requiring immediate transmission, the variability of delay between accepting TIS-B payload and		<i>Limit on variability. Uncertain what is feasible here but the lower the variability the more accurate the</i>		P2

URD Link	SRD ID	System Requirement	Validation	Notes	Status	Priority
		commencement of TIS-B transmission shall not exceed 10ms (95%)		<i>control of the server over TIS-B scheduling. &lt;=1ms would be adequate, &gt;10ms would probably be a problem.</i>		
	SR261	The system design shall foresee the performance of a full TIS-B scheduling function using data provided in ASTERIX from the external communication interface.		<i>This is "TIS-B server mode". Implementation of this mode is not foreseen in the initial development but should not be precluded by the design.</i>		P3
	SR262	The system shall be capable of handling up to 1000 TIS-B messages per second in the absence of any other activity.		<i>If the system is required to run at maximum TIS-B rate it is probable that it will operate as a dedicated TIS-B device and not be required to perform the ADS-B receiver function also.</i>		P1
	SR263	A minimum interval between consecutive transmissions (start-to-start) shall be assured at a value between 120µs and 2000µs, configurable in steps of 10 µs through the control and monitoring interface.		<i>This is because an external TIS-B server cannot guarantee delivery rates.</i>		P2
	SR264	When performing a contiguous TIS-B sequence, the PA suppression and rx-protection signals shall not be removed between messages.		<i>With reference to the timing diagram, contiguous means new "Data available" before "Output sequence" has completed. This requirement allows sequencing with minimum delay between messages (burst mode).</i>		P3
		<b>Statutory Regulations</b>				

URD Link	SRD ID	System Requirement	Validation	Notes	Status	Priority
	SR268	The system shall comply with EMC standards EN301-489-1 30 and EN301-489-22 31		Standards to be confirmed		M
	SR269	The user requires that the capability comply with all EU regulations current at time of deployment		The standards will be identified in the certificate of conformity		M
	SR270	The system shall be provided with a safety argument sufficient to be integrated into a safety case				M
		<b>4.2 Deployment and Mobility</b>				
		<b>Power Requirements</b>				
		<b>Setup Requirements</b>				
	SR265	The output power shall be configurable via the control and monitoring interface.		This is an installation parameter that is unlikely to change frequently during normal operating life.		P2
	SR266	The receiver protection signal shall operate ahead of commencing a TIS-B transmission by a period between 5 $\mu$ s and 100 $\mu$ s in steps of 1 $\mu$ s, configurable through the control and monitoring interface.		<i>This is an installation parameter that is unlikely to change frequently during normal operating life (see Figure 1: Timing for TIS-B Transmission).</i>		P3
	SR267	The receiver protection signal shall be removed after completion of a TIS-B transmission by a period between 1 $\mu$ s and 100 $\mu$ s in steps of 1 $\mu$ s, configurable through		<i>This is an installation parameter that is unlikely to change frequently during normal operating life (see Figure 1: Timing for TIS-B</i>		P3

URD Link	SRD ID	System Requirement	Validation	Notes	Status	Priority
		the control and monitoring interface.		<i>Transmission).</i>		
		<b>Transportability</b>				
UR49	SR172	The system shall be packaged in two boxes when shipped from the factory, excluding cables				P3
UR50	SR173	The packaging of the sensor and GPS shall not exceed 500wx500hx500d mm		Per box		P3
UR50	SR174	The weight of the sensor and GPS as packaged shall not exceed 15Kg		Both boxes combined		P3
UR50	SR175	The packaging of the reference antenna shall not exceed 1600x100x100mm		The specification of different sized antenna by the user is not precluded.		P3
UR50	SR176	The weight of the reference antenna as packaged shall not exceed 5Kg		The specification of different sized antenna by the user is not precluded.		P3
UR51, UR52, UR53	SR177	Suitable packaging is to be provided to enable the system to be transported by a commercial parcel service. This includes transportation worldwide.		Packaging as defined "suitable" by carrier		P1
		<b>4.3 Sustainability and Logistics</b>				
		<b>Availability, Reliability, Maintainability and Testability</b>				
UR55	SR180	The sensor component should provide an availability of at least 99.999%		Benign environment		P2
UR56	SR181	The sensor component should provide a hardware MTBF of 50,000 hours				P2
UR57	SR182	The system shall not require any preventative maintenance for proper				P2

References / Bibliography

-

URD Link	SRD ID	System Requirement	Validation	Notes	Status	Priority
		operation				
		The system shall comprise of the following LRUs:				
UR58	SR183	- Sensor component				P3
UR58	SR184	- 1090Mhz Antenna				P3
UR58	SR185	- Optional Antenna Mast Head Amplifier		Question: What about the optional weather protection shield?		P3
UR58	SR186	- Optional GPS Receiver				P3
UR59	SR187	The system shall provide an MTTR of 30 minutes for an LRU				P3
UR60	SR188	The system shall provide the capability to perform firmware updates via the Maintenance Function		Note, The system may disable normal operations when firmware updates are being performed		P2
UR61	SR189	The system shall be supported by a Logistics support solution.				P1

## 5 Glossary

A-SMGCS	Advanced Surface Movement Guidance and Control System
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance – Broadcast
CBIT	Continuous Built-In Test
CPU	Central Processing Unit
CRC	Cyclical Redundancy Check(ing)
DSP	Digital Signal Processor
EMC	Electro Magnetic Compatibility
EMI	Electro Magnetic Interference
EU	European Union
FPGA	Field Programmable Gate-Array
GPS	Global Positioning System
ICAO	International Civil Aviation Organization
ICMP	Internet Control Message Protocol
MIB	Management Information Base
NTP	Network Time Protocol
POST	Power-On Self Test
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics
SNMP	Simple Network Management Protocol
TIS-B	Traffic Information Service - Broadcast
UDP	User Datagram Protocol
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol

## 6 References / Bibliography

- [1] Quadrant Sensor User Requirements Document (URD)
- [2] Quadrant Sensor System Requirements Document (SRD)

## **B Comsoft TIS-B FPGA Specification Clarification v0.2D**



## TIS-B FPGA Specification Clarification V0.2D

- 1) **Register extension** according to *TIS-B\_InterfaceDesignDocumentV0.4D.doc* 3.1.
- 2) **Output power:**
  - a. Output power has to be configurable in range of 1 to 12 dB in steps of 1 dB.
  - b. For this purpose TIS-B Control Register (address 0xE2) bits 3 to 7 are reserved to hold the value.
  - c. When output power value has changed, the new value has to be applied for next transmission.
- 3) **Transmit suppression signal:**
  - a. Transmit suppression signal has to be removed 5  $\mu$ s ahead of commencing a TIS-B transmission.
  - b. Transmit suppression signal has to be enabled immediately after completion of a TIS-B transmission.
  - c. Transmit suppression signal should at no time be disabled when receiver protection (4) is disabled.
  - d. Transmit suppression signal should be provided on a dedicated pin.
- 4) **Receiver protection signal:**
  - a. Receiver protection signal enable delay is configurable in range of 5 to 100  $\mu$ s in steps of 1  $\mu$ s.
  - b. Receiver protection signal enable delay value is set in bits 8 to 15 of TIS-B Protection Delay register (address 0xE4).
  - c. Receiver protection signal disabled delay is configurable in range of 1 to 100  $\mu$ s.
  - d. Receiver protection signal disable delay value is set in bits 0 to 7 of TIS-B Protection Delay register (address 0xE4).
  - e. Change of receiver protection signal delay values will be accepted at the next TIS-B transmission if change happens during a transmission.
  - f. TIS-B Control register (address 0xE2) has reserved bit 8 for "keep receiver protection" flag.
  - g. If "keep receiver protection" flag is set, receiver protection signal should stay enabled after completion of the TIS-B transmission.
  - h. If "keep receiver protection" flag is not set, receiver protection signal should be disabled after the set delay time once TIS-B transmission has completed.
  - i. Receiver protection signal should at no time be disabled when transmit suppression signal is disabled.
  - j. Receiver protection signal should be provided on a dedicated pin.
- 5) **Scheduling:**
  - a. TIS-B Control register (address 0xE2) has reserved bit 1 for "use time stamp" flag.
  - b. Registers 0xDE and 0xE0 are reserved for time stamp value expressed as a value of the 100MHz FPGA counter.
  - c. If "use time stamp" bit is set, FPGA has to commence the TIS-B transmission when internal 100MHz counter equals time stamp value of register 0xDE to 0xE0 minus the receiver protection delay value in bit 8 to 15 of the TIS-B Protection Delay register (address 0xE4), if receiver protection is disabled. Otherwise FPGA has to commence the TIS-B transmission when internal

counter equals time stamp value of register 0xDE to 0xE0 minus 5  $\mu$ s for transmit suppression signal disabling.

Transmission is discarded and interrupt raised when calculated transmission begin time is smaller than the current counter value and the absolute difference between transmission time and current counter value is less than 20 s.

- d. If "use time stamp" bit is not set, FPGA has to commence the TIS-B transmission immediately.

6) **Transmission:**

- a. Register set 0xD0 to 0xE4 will be copied to a shadow register once register 0x71 is written.
- b. All value changes have to be applied for next transmission and have no effect on currently active transmissions.

# **C Comsoft TIS-B Interface Design Document v0.4D**

# Traffic Information Service Broadcast: an Innovative Approach to ATM - TIS- B

## Interface Design Document (IDD)

V0.4D

24.04.2009

Contract No.: **N/A**  
Project No.: **1651**  
Doc-ID.: **TIS-B-IDD-V0.4D**  
Customer: **intern**  
Status: **draft**

### Revision History

<b>Version</b>	<b>Date</b>	<b>Description</b>
V0.4D	22.04.2009	Update of DP to DPS Interface and FPGA register layout
V0.3D		Working copy for next release. - Cleaned up typography - Added info on IPO addresses
V0.2D	22.02.2008	Review and extensions by Fachhochschule Offenburg: - Interface Tracker-TIS-B Server - XML interface for ground station coverage
V0.1D	05.02.2008	draft version by sts, additional input by jf

### Approval

<b>Version</b>	<b>Quality Manager / Date</b>	<b>Project Manager / Date</b>
<b>V0.4D</b>	  _____ (name surname) / dd.mm.yyyy	  _____ (name surname) / dd.mm.yyyy

<b>Version</b>	<b>Customer Representative / Date</b>
<b>V0.4D</b>	  _____

# Contents

1 Introduction.....	1
1.1 Context.....	1
1.2 Purpose.....	1
1.3 Document Conventions.....	1
1.4 Intended Audience .....	1
1.5 References.....	2
2 External Interfaces.....	4
2.1 External TIS-B Server to Quadrant Transceiver.....	4
2.1.1 Payload Format of Message Send Request (Type 1).....	4
2.1.2 Payload Format of Test Messages (Type 2).....	7
2.2 Quadrant Transceiver to TIS-B Server ASTERIX back channel.....	7
2.3 Quadrant Transceiver SNMP interface.....	8
2.4 TIS-B Sender to TIS-B Users.....	8
2.5 TIS-B Server to Tracker Interface.....	8
2.6 TIS-B Ground Station Coverage - Configuration Interface.....	9
2.6.1 Introduction.....	9
2.6.2 Format.....	10
2.6.3 Power Coverage.....	13
3 Internal Interfaces.....	16

COMSOFT GmbH  
Wachhausstraße 5a  
76227 Karlsruhe, Germany  
Phone +49 721 9497 - 0  
Fax +49 721 9497 - 129

Copyright © 2009 by COMSOFT GmbH

**Fachhochschule Offenburg**  
Badstraße 24, D-77652 Offenburg  
Telefon ++49 - 781 205-0  
Fax: ++49-781 205-214

This document is protected by copyright. Reproduction, duplication, publishing, transfer or disclosure of the contents of this document are only permitted after prior written agreement has been obtained from COMSOFT GmbH.

3.1 DP to DSP.....16

3.2 DSP to DP.....18

3.3 DSP to 1090MHz Synthesizer/ TIS-B Sender.....18

Appendix A: Glossary.....20

Appendix B: Issues List.....22

## List of Figures



## List of Tables

Table 1: Example type 1 message with two Mode S telegrams.....6

This page is intentionally left blank !

# 1 Introduction

## 1.1 Context

Quadrant represents a family of products in the field of aircraft surveillance. The Quadrant ADS-B Sensor is the first member and cornerstone of this family. It receives and processes 1090 MHz messages which are sent to client systems for further processing.

A complementary function is the transmission of ADS B is the Traffic Information Services-Broadcast (TIS-B), a ground-based uplink report of proximate traffic that is under surveillance by ATC but is not ADS-B-equipped. This service would be available even with limited ADS-B implementation.

Within the Quadrant products, TIS B can be realised using components designed and developed for the Quadrant ADS-B Sensor.

The TIS B Transmitter is complemented by a TIS-B Server that receives data from a ground-based tracker and schedules the transmission requests for a number of TIS-B ground stations. The interfaces are of the TIS-B server are also included in this document.

## 1.2 Purpose

This document defines the System Interfaces for the TIS-B (Traffic Information Service – Broadcast) surveillance system. The TIS-B capability is incorporated into the already existing ADS-B Quadrant System.

## 1.3 Document Conventions

The TIS-B Server mentioned in this document is a synonym for the central controller software handling the TIS-B messages.

The document is self-contained and structured as follows. In chapter 2 the external interfaces are described. Chapter 3 describes the internal interfaces which has been identified.

## 1.4 Intended Audience

This document provides a guideline for system engineers working on either or both software and hardware components of the final product.

## 1.5 References

[RF 01] small application MIB **TBD** by Comsoft (see 2.3)

[RF 02] Quadrant FPGA-PXA270 Interface Design Document (QINETIQ/  
D&TS/SS/IDD061222) (see 3.2)

[RF 03] System requirement document for DSP (see 3.3)



## 2 External Interfaces

### 2.1 External TIS-B Server to Quadrant Transceiver

The Quadrant TIS-B transceiver receives input data via a stream of UDP/IP packets from the TIS-B server. The interfaces and the format of packets are proprietary and evolved under the control of COMSOFT. The initial version of the specification is described in this document.

The transceiver will expect packets on a predefined, but configurable UDP port.

Each packet contains a header and an optional payload. A packet header consists of 4 bytes. The first 2 bytes contain the packet type, encoded as a 16 bit unsigned integer in network byte order. The next two bytes contain the total length of the packet, again as a 16bit unsigned integer in network byte order.

The only packet type defined so far are type 1 for transmitting Mode S message send requests, and type 2 (structurally identical) for transmitting Mode S test messages.

The total message length shall not exceed 2048 bytes (2 kB).

#### 2.1.1 Payload Format of Message Send Request (Type 1)

The payload of a type 1 message is composed of a number of individual records, where each record contains a single ICAO DF18 message and a desired time of transmission for this message. Records are laid out sequentially and consecutively, with no padding between records.

A record consists of the following items, arranged consecutively, in the listed order, and without any padding inserted between them:

- 8 byte time stamp

The 8 byte time stamp is interpreted as an unsigned (long long) integer number in network byte order. It represents the scheduled time of transmission for this message in microseconds since the UNIX epoch (January first, 1970 UTC), where in accordance with UTC each day is assumed to have exactly 86400 seconds.

The time stamp with value 0 (all bits zero) shall be reserved to indicate immediate transmission, i.e. transmission as soon as possible.

Telegrams received with already expired time stamps will be discarded.

- one byte (8 bit) transmission power indicator. It is currently expected that at most 5 bits of this will be used.
- one byte antenna selector, which selects exactly one of the possible segments of the antenna. It is again assumed that only 3 bits of this will be used in current configurations.
- 112 bit (14 byte) Mode S telegram to transmit.

The 14 byte Mode S telegram is the raw telegram transmitted in natural byte order. This is an opaque sequence of bytes, no check or analysis is performed.

The following example contains two (unspecified) Mode S messages, the first scheduled for immediate sending on antenna segment 3 with power level 1, the second for sending on April 18th, 2007 at 12:49:08 sharp, on antenna segment 1 and with power level 6.

Note that each row contains the 2 bytes of one 16-bit word in hexadecimal notation.

```
    --- type -----
Header:    x00 0x01
          ---- payload length (header+2 records = 52 bytes) ---
Header:    x00 0x34
          ---- time stamp of message 1 (8 bytes) -----
Message 1: 0x00 0x00
Message 1: 0x00 0x00   Scheduled for immediate transmission
Message 1: 0x00 0x00
Message 1: 0x00 0x00
          ---- Power and antenna selection
Message 1: 0x01 0x03
          ----- actual Mode-S telegram (14 bytes) -----
```

Message 1: 0x.. 0x..

Message 1: 0x.. 0x..

Message 1: 0x.. 0x..

Message 1: 0x.. 0x..

Message 1: 0x.. 0x..

Message 1: 0x.. 0x..

Message 1: 0x.. 0x..

----- time stamp of message 2 (8 bytes) -----

Message 2: 0x00 0x04

Message 2: 0x2E 0x62 Scheduled for transmission at 2007-04-18:12-49-8

Message 2: 0x83 0x19 (1176900548000000 usec after the epoch)

Message 2: 0x79 0x00

---- Power and antenna selection

Message 1: 0x06 0x01

----- actual Mode-S telegram (14 bytes) -----

Message 2: 0x.. 0x..

Message 2: 0x.. 0x..

Message 2: 0x.. 0x..

Message 2: 0x.. 0x..

Message 2: 0x.. 0x..

Message 2: 0x.. 0x..

Message 2: 0x.. 0x..

-----

Table 1: Example type 1 message with two Mode S telegrams



## 2.1.2 Payload Format of Test Messages (Type 2)

The type 2 message payload has exactly the same structure as type 1. The messages are, however, interpreted as test messages to be injected at low power directly into a potentially co-located ADS-B antenna. If the configuration of the TIS-B station does not allow this, e.g. because there is no co-located ADS-B station, the message will be ignored.

## 2.2 Quadrant Transceiver to TIS-B Server ASTERIX back channel

The Quadrant TIS-B unit will use ASTERIX CAT023 over UDP to signal its status to the TIS-B server. ASTERIX is an international standard developed under the control of Eurocontrol.

Remark: CAT023 allows us to either specify the exact service (i.e. TIS-B Extended Squitter) and a very generic status indicator, or to give a report on the whole ground station, but with a much more comprehensive state description. Therefore, we will consider the TIS-B component as a "virtual" ground station and describe its state via Type 001 messages.

Messages will be send periodically. For the initial release, the Quadrant TIS-B station will send messages of **CAT023** with the following items:

**000 Message type** will be set to 001 to indicate a Ground Station Status message,

**010 Data Source Identifier** will be the assigned SAC/SIC,

**070 Time of Day** will use the UNIX system time,

### 100 Ground Station Configuration and Status

This will use the bits as follows:

- OP: Operational Release Status - this will be a user-configurable item.
- ODP: This will be set if either the number of scheduled messages is higher than a set limit (current suggestion: 10000 messages, to allow for 10 second pre-scheduling at 1000 messages/second) or if the CPU utilization of the system is higher than 75%.
- OXT: Scheduled messages are discarded before they can be transferred to the FPGA for sending, as their time stamps have expired.
- MSC: <TBD>, probably 0
- TSV: This will be set if the system is not in synchronized state.
- Spare: Set to 0
- FC: Set to 0

## 2.3 Quadrant Transceiver SNMP interface

The TIS-B transceiver gives access to some of its states via an SNMP MIB. The Simple Network Management Protocol (SNMP) is an internet standard developed and maintained by the Internet Engineering Task Force (IETF). Quadrant supports SNMP v2c (specified in RFCs 1901-1908) and SNMP v3 (RFCs 3411-3418).

The Quadrant Transceiver supports the relevant parts of the SNMP MIB-II (RFC1213) and a small application MIB **TBD**(see reference section).

## 2.4 TIS-B Sender to TIS-B Users

The external transmission interface from the TIS-B ground station to the TIS-B users consists of pulse-coded EM-transmissions on the 1090 MHz frequency. The exact properties (e.g. power, pulse shape, encoding), and the contents of the encoded packages, are described in Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation (ICAO Annex 10). This is an international standard maintained and developed by the International Civil Aviation Authority. Various documents refining these standards have been issued by the Radio Technical Commission for Aeronautics (RTCA) and are developed and maintained by this organization.

## 2.5 TIS-B Server to Tracker Interface

The TIS-B Server receives tracked position-reports from a ground-based tracker and forwards corresponding send requests to the TIS-B groundstation.

The interface between the TIS-B Server and the Tracker is unidirectional (Tracker to Server) and shall be completely standard-based, i.e. follow the corresponding EUROCONTROL and general communication standards.

In detail the TIS-B Server to Tracker Interface shall be compliant to the ARTAS version V8 (WAM version). As such it shall adhere to **(to be checked)**:

- EUROCONTROL Standard Document for Surveillance Data Exchange, ASTERIX, Part 9, Category 062, SDPS Track Messages, SUR.ET1.ST05.2000-STD-09-01, Ed. 1.7, November 2007

A standard UAP shall be used.

The transport-level communication between the Tracker and the TIS-B Sever shall be via a standard TCP/IP communication protocol.

On transport layer UDP (User Datagramm Protocol) shall be used. Both, TIS-B Server and Tracker shall be identified by a wellknown and firm IP-adress and UDP Port number.

The employed version of IP shall be IP Version 4.

On physical layer an Ethernet-based LAN shall be employed (it is assumed that the tracker and the TIS-B server are co-located at an Air Traffic Control Centre).

The Ethernet type shall be 100BaseT or 1000BaseT.

Over the ASTERIX Cat 62 connections the TIS-B Server expects data of the following characteristics:

- Aperiodical position updates (immediate service) of classical and non-classical aircraft from ARTAS tracker
- ARTAS broadcast service
- ARTAS Track volume including the complete Service Volume of the TIS-B server
- All ASTERIX items present that relate to ADS data
- Identification that track was updated by an ADS-report in the past (item I062/290) (to be checked)
- Age of last ADS-update for ADS-equipped aircraft (item I062/290) (to be checked)

The maximum update rate for conventional track input (i.e. track updates triggered by PSR, SSR, Mode S) is assumed to be that of the ARTAS tracker under the Maastricht load scenario

The maximum update rate for ADS-B-triggered track input is assumed to be limited by 500 reports/sec. (ref. TIS-B Server SRS, Req 6.2-3, 6.2-4, 6.2.5).

## 2.6 TIS-B Ground Station Coverage - Configuration Interface

The TIS-B groundstation and the TIS-B server need to have a common model of the coverage of the groundstation. This is configuration information that needs to be exchanged between the two systems in a standardized format. As exchange format XML was chosen.

### 2.6.1 Introduction

The Ground Station Coverage Description (GSCD) XML file describes the location of a TIS-B ground station and its area of coverage. For each ground station, one single XML file is needed.

A GSCD file can be split into three parts:

The first part is the location of the ground station, represented as altitude, longitude, and latitude.

The second part is the physical coverage of the ground station, which is the sum of the actual reachable area for every flight level.

The third part is the power coverage of the ground station, in which the sectors and power levels of the ground station and the maximal / minimal reachable range with each power level are defined.

## 2.6.2 Format

A GSCD file shall have the following format:

Header:

```
<?xml version="1.0" ?>
<GroundStation id="SICSAC">
```

The root of the GSCD XML file, with an attribute id identifies the ground station.

### 2.6.2.1 Location and IP Address

```
<Location>
  <Latitude>123.45</Latitude>
  <Longitude>23.45</Longitude>
  <Altitude>100</Altitude>
</Location>
```

The location of the ground station expressed in terms of the Altitude, Latitude, and Longitude. The altitude is given as altitude AMSL (above mean sea level). AMSL is defined as the height above the geoid as opposed to the height above the e.g. Bessel (used for WGS84) ellipsoid. The difference between the (theoretically described) ellipsoid and geoid is known and can be assumed a constant. The altitude unit is meter.

Latitude and longitude are given in WGS84 coordinates in decimal degrees. Latitude range is [-90.0; +90.0] and longitude range is [-180.0; +180.0].

```
<IP version="4">127.0.0.1</IP>
```

```
<Port>7158</Port>
```

The IP section defines the IP address of the ground station. A version attribute refers the version of IP address, has value "4" or "6", "4" by default if is omitted. IPv4 address is given in the dotted-decimal notation, IPv6 in colon separated hexadecimal notation.

Port section defines the UDP port used by the ground station for receiving incoming TIS-B message, given in decimal. Default port suggestion: 7158, since its similar looking as "TISB".

## 2.6.2.2 Physical Coverage

The physical coverage section defines the actual area that can be covered by the ground station. It shall have the following structure:

- Physical coverage
  - o Flight Level
    - Altitude at 100 (AMSL, Meter)
    - Default Inner Bound (Meter)
    - Section from 0 to e.g. 3 (degrees)
      - Maximal Reachable Range (Meter)
      - Minimal Reachable Range (Optional) (Meter)
    - Section from ... to ...
      - Maximal Reachable Range
      - Minimal Reachable Range (Optional)
    - Section from ... to ...
      - Maximal Reachable Range
      - Minimal Reachable Range (Optional)
    - ...
  - o Flight Level
    - Altitude at ....
    - Default Inner Bound

- Section from 0 to 5
      - Maximal Reachable Range
      - Minimal Reachable Range (Optional)
    - Section from ... to ...
      - Maximal Reachable Range
      - Minimal Reachable Range (Optional)
    - ...
  - o Flight Level ...
    - ...

The physical coverage is composed by several flight levels. For each flight level referred by an altitude, a default inner bound is specified, as normally the cone of silence has symmetrical boundaries at a certain altitude. Every flight level is in turn divided into many sections, for each section a maximal reachable distance of a message that is being sent out into this direction is defined, and an optional inner bound can, if necessary, be assigned. The unit of Flight Level and Min/Max Reachable Range is meter.

The angle range specified by the sections can be continuous or not continuous, but there should not be any overlapping or repetitive definition.

Example:

```

<PhysicalCoverage>
  <FlightLevel>
    <Altitude>100</Altitude>
    <DefaultInnerBound>20</DefaultInnerBound>
    <Section from="0" to="5">
      <MaximalReachable>110</MaximalReachable>
    </Section>
    <Section from="5" to="9">
      <MaximalReachable>100</MaximalReachable>
    </Section>
    <Section from="9" to="15">
      <MaximalReachable>115</MaximalReachable>
    </Section>
    <Section from="15" to="21">
      <MaximalReachable>90</MaximalReachable>
    </Section>
    <Section from="21" to="26">
      <MaximalReachable>95</MaximalReachable>
    </Section>
    <Section from="26" to="35">
      <InnerBound>15</InnerBound>
      <MaximalReachable>100</MaximalReachable>
    </Section>
    <Section from="35" to="55">
      <MaximalReachable>100</MaximalReachable>
    </Section>
  </FlightLevel>
</PhysicalCoverage>

```

```
<Section from="55" to="57">
  <InnerBound>15</InnerBound>
<MaximalReachable>100</MaximalReachable>
</Section>
  <Section from="57" to="60">
<MaximalReachable>100</MaximalReachable>
</Section>
  <Section from="60" to="360">
<MaximalReachable>100</MaximalReachable>
</Section>
</FlightLevel>
.....
<FlightLevel>
  <Altitude>200</Altitude>
  <DefaultInnerBound>40</DefaultInnerBound>
  <Section from="0" to="5">
    <MaximalReachable>110</MaximalReachable>
  </Section>
  <Section from="5" to="9">
    <MaximalReachable>100</MaximalReachable>
  </Section>
  .....
</FlightLevel>
</PhysicalCoverage>
```

### 2.6.3 Power Coverage

The power coverage defines, for a certain sector of a ground station, the power levels to be used in order to reach a certain distance. It has the following structure:

- Power coverage
  - o Sector with id 1, range from 0 to 60 (degree)
    - Power level 1 (minimum)
      - Minimal reachable distance (Meter)
      - Maximal reachable distance (Meter)
    - Power level 2
      - Minimal reachable distance
      - Maximal reachable distance
    - Power level 3 ...
      - ...
    - ...
    - Power level 8 (maximum)
      - Minimal reachable distance
      - Maximal reachable distance (i.e. the maximal possible range of the ground station.
  - o Sector with id 2, range from 60 to 120
    - ...
  - o ...
  - o Sector with id 6, range from 300 to 360

▪ ...

A ground station may have up to 6 sectors, each of them with up to 8 power levels. For each power level, a minimal reachable distance is specified, which will be used to decide whether an aircraft can be reached for sure, and a maximal reachable distance is also specified, which will be used for the interference detection between neighbor ground stations. The unit for Min/Max Reachable distance is meter.

Example:

```

<PowerCoverage>
  <Sector id="1" from="0" to="60">
    <PowerLevel value="1">
      <MinimalReachable>20</MinimalReachable>
      <MaximalReachable>40</MaximalReachable>
    </PowerLevel>
    <PowerLevel value="2">
      <MinimalReachable>40</MinimalReachable>
      <MaximalReachable>60</MaximalReachable>
    </PowerLevel>
    <PowerLevel value="3">
      <MinimalReachable>50</MinimalReachable>
      <MaximalReachable>70</MaximalReachable>
    </PowerLevel>
    <PowerLevel value="4">
      <MinimalReachable>60</MinimalReachable>
      <MaximalReachable>80</MaximalReachable>
    </PowerLevel>
    <PowerLevel value="5">
      <MinimalReachable>80</MinimalReachable>
      <MaximalReachable>85</MaximalReachable>
    </PowerLevel>
    <PowerLevel value="6">
      <MinimalReachable>90</MinimalReachable>
      <MaximalReachable>100</MaximalReachable>
    </PowerLevel>
  </Sector>

  <Sector id="2" from="60" to="120">
    <PowerLevel value="1">
      <MinimalReachable>20</MinimalReachable>
      <MaximalReachable>40</MaximalReachable>
    </PowerLevel>
    .....
  </Sector>

  <Sector id="6" from="300" to="360">
    .....
  </Sector>
</PowerCoverage>
</GroundStation>

```





## 3 Internal Interfaces

### 3.1 DP to DSP

TIS-B transmissions will be initiated by the Digital Processor (DP) and executed by the Digital Signal Processing (DSP) component. The interface between DP and DSP is a proprietary interface and an extension the existing interface described in the Quadrant FPGA-PXA270 Interface Design Document (QINETIQ/D&TS/SS/IDD061222).

The TIS-B functionality will be enabled or disabled via bit 12 in control register 1 (address 0x00). The default will be "enabled", and will be indicated by a value of 1. The DSP will ensure that enabling either DAC (control register bits 10 and 11) will disable TIS-B functionality, and that enabling TIS-B functionality will disable both DACs.

Remark: This last requirement is only to avoid hardware conflicts with older boards. In the future, DAC logic can be removed completely from the FPGA, as the DACs will be removed physically as well.

TIS-B send requests will be handed to the DSP via the existing memory interface. For this purpose, the memory map will be extended by a 12 register/24 byte input register set as follows:

- 1) 7 16-bit words will be reserved for the 112 bit extended squitter message to be send (address 0xD0 to 0xDC).
- 2) 2 16-bit words will be reserved for the scheduled time of transmission, expressed as a value of the 100 MHz FPGA counter (address 0xDE to 0xE0).
- 3) 1 16-bit word will be used as the control word (address 0xE2).

This will contain:

Bit 1: use time stamp (0: ignore time stamp, send as soon as possible; 1: use time stamp)

Bit 3 to 7: signal strength

Bit 8: keep receiver protection (0: disable protection after sending; 1: keep protection after sending)

Bit 0 and 2: validation bits (1: TIS-B register contains valid transmission data; 0: otherwise)

- 4) 1 16-bit word will be used as the receiver protection delay word (address 0xE4).

This will contain:

Bit 0 to 7: receiver protection activation delay before transmission

Bit 8 to 15: receiver protection deactivation delay after transmission

In order to commence transmission an arbitrary value needs to be written to the TIS-B Control Access Register (address 0x71).

```
0x71 "1110001" => -- TISB Control Access register
...
0xd0 "11010000" => -- TISB Message bits 111 to 96
0xd2 "11010010" => -- TISB Message bits 95 to 80
0xd4 "11010100" => -- TISB Message bits 79 to 64
0xd6 "11010110" => -- TISB Message bits 63 to 48
0xd8 "11011000" => -- TISB Message bits 47 to 32
0xda "11011010" => -- TISB Message bits 31 to 16
0xdc "11011100" => -- TISB Message bits 15 to 0
0xde "11011110" => -- TISB timestamp bits 31 to 16
0xe0 "11100000" => -- TISB timestamp bits 15 to 0
0xe2 "11100010" => -- TISB Control register
0xe4 "11100100" => -- TISB Receiver Protection Delay register
```

The FPGA will maintain a SHADOW and a SEND register of 24 bytes each. Whenever the Control Access register is written and both validation bits are set, it will atomically copy the current input register set into the SHADOW register (potentially overwriting a previous job).

When the scheduled time is reached or if the ignore time stamp is set and the SEND register is available, the FPGA will atomically move the data from the SHADOW register to the SEND register and immediately send the message from the SEND register. At the same time, it will inform the processor via an interrupt line (see below) that sending has commenced and the SHADOW register is available again. Sending will be completed within 125  $\mu$ s if receiver protection and power amplifier are already enabled, and within 221  $\mu$ s otherwise.

According to the "keep receiver protection" bit the receiver protection will be disabled after transmission or will stay enabled. It is the responsibility of the FPGA to schedule messages

depending on the receiver protection enable delay, if receiver protection is disabled and otherwise depending on the transmit suppression delay (5  $\mu$ s).

During sending, the SEND register is not available. If a message in the SHADOW register becomes ready for sending during this time, it is discarded and the "SHADOW register ready" interrupt is raised. It is the responsibility of the DP to schedule messages with sufficient time to avoid message loss in the DSP.

## 3.2 DSP to DP

The interface from the DSP to the DP requires only minor changes compared to the pure ADS-B interface described in the Quadrant FPGA-PXA270 Interface Design Document (QINETIQ/D&TS/SS/IDD061222).

These changes are the following:

1) The use of a current spare DP/DSP connection as an extra interrupt line to signal the commencement of a send request (see above). For this purpose, the FPGA pin AG18 (SPARE1/NET "MCU\_Spare(0)) shall be connected to the PXA270 GPIO81 pin. Electrical properties/timings shall be as for the current FIFO interrupt.

## 3.3 DSP to 1090MHz Synthesizer/ TIS-B Sender

The interface from the DSP to the 1090 synthesizer is a proprietary interface designed and evolved under control of COMSOFT and in cooperation with QinetiQ.

The TIS-B subsystem will be connected to the basic Quadrant board via a suitable hardware connector (TBD).

It will be driven via a video signal corresponding to the desired message. This video signal will be expected on FPGA pin D30.

The DSP will provide the receiver protection signal as specified in the system requirement document (SRD) on a dedicated output pin.

The DSP will provide the transmission suppression signal as specified in the SRD on a dedicated output pin.

Remark: Details TBD by COMSOFT HW team and QinetiQ. This is affected by and affects handling of CR011, regarding the removal of the DACs and the reuse of FPGA pins. Also see above for the logic separating TIS-B and DAC control.

## Appendix A: Glossary

ASTERIX	All Purpose Structured EUROCONTROL Surveillance Information Exchange (previously All Purpose Structured EUROCONTROL Radar Information Exchange). Standard format for surveillance-data exchange.
CRC	Cyclic Redundancy Check
DAC	Digital analogue converter
DF	Downlink Format
DP	Data processing
DSP	Digital signal processing is the study of <a href="#">signals</a> in a <a href="#">digital</a> representation and the processing methods of these signals
Eurocontrol	European Organisation for the Safety of Air Navigation
FIFO	First in, first out means the way data stored in a queue is processed
FPGA	Field-programmable gate array is a <a href="#">semiconductor</a> device containing <a href="#">programmable logic</a> components
ICAO	International Civil Aviation Organisation
IETF	Internet Engineering Task Force develops and promotes <a href="#">Internet standards</a>
MIB	Management information base is a type of database used to manage the devices in a communications network
PPS	Pulse per second is an <a href="#">electrical signal</a> that very <a href="#">precisely</a> indicates the start of a <a href="#">second</a>
QinetiQ	<a href="#">British defence technology company</a>
RFC	Request for Comments documents are a series of <a href="#">memoranda</a> encompassing new research, innovations, and methodologies applicable to <a href="#">Internet</a> technologies
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics develops standards related to the <a href="#">Federal Aviation Authority</a>

SNMP	Simple Network Management Protocol forms part of the <a href="#">internet protocol suite</a>
UDP	User Datagram Protocol is one of the core protocols of the <a href="#">Internet protocol suite</a>

## **Appendix B: Issues List**

Final Page!



# **D Comsoft TIS-B Software Design Description v0.1D**



## **TIS-B Transmitter**

### **Software Design Description - SDD**

V0.1/27.04.2009

### Revision History

Version	Date	Description	Resp.
V0.1	dd.mm.yyyy	Initial Version (submitted as tender response)	

### Approval

Version	Quality Manager / Date	Project Manager / Date
V0.1	 _____ (<name>)	 _____ (<name>)

Version	Customer Representative / Date
V0.1	 _____

# Contents

<u>1 Introduction.....</u>	<u>1</u>
<u>1.1 Overview.....</u>	<u>1</u>
<u>1.2 Purpose.....</u>	<u>1</u>
<u>1.3 Scope.....</u>	<u>1</u>
<u>1.4 Intended Audience.....</u>	<u>2</u>
<u>1.5 Definitions and Acronyms.....</u>	<u>2</u>
<u>2 TIS-B Process.....</u>	<u>3</u>
<u>2.1 Static Model.....</u>	<u>3</u>
<u>2.1.1 External Communication.....</u>	<u>3</u>
<u>2.1.2 Internal Communication.....</u>	<u>10</u>
<u>2.1.3 TIS-B Configuration Settings.....</u>	<u>12</u>
<u>2.1.4 TIS-B Volatile State Values.....</u>	<u>13</u>
<u>2.1.5 System Controller.....</u>	<u>14</u>
<u>2.2 Dynamic Model.....</u>	<u>14</u>
<u>2.2.1 Initialisation.....</u>	<u>15</u>
<u>2.2.2 Termination.....</u>	<u>15</u>
<u>2.2.3 Event Processing.....</u>	<u>15</u>
<u>3 Requirement Allocation.....</u>	<u>17</u>

COMSOFT GmbH  
 Wachhausstrasse 5a  
 76227 Karlsruhe  
 Phone +49 721 9497 - 0  
 Fax +49 721 9497 - 129

Copyright © 2009 by COMSOFT GmbH

## Business Confidential/COMSOFT Proprietary

This document includes data that shall not be duplicated, used, or disclosed - in whole or in part - for any purpose other than to evaluate this document. If, however, a contract with a customer is in force, the customer shall have the right to duplicate, use, or disclose the data to the extent provided in this contract. This restriction does not limit the customer's right to use the data in this document if it can also be obtained from another source without restriction. The data subject to this restriction are confidential in all pages of this document.

## List of Figures

Figure 1: TIS-B SNMP MIB Extension.....5

Figure 2: TIS-B Maintenance Application Extension.....10

## List of Tables

Table 1: QuadrantConfig Extension.....13

Table 2: QuadrantState Extension.....14



# 1 Introduction

## 1.1 Overview

- (1) Quadrant represents a family of products in the field of aircraft surveillance. The Quadrant ADS-B Sensor is the first member and cornerstone of this family. It receives and processes 1090 MHz messages which are sent to client systems for further processing.
- (2) A complementary function to ADS B is the Traffic Information Services-Broadcast (TIS-B), a ground-based uplink report of proximate traffic that is under surveillance by ATC but is not ADS-B-equipped. This service would be available even with limited ADS-B implementation.
- (3) Within the Quadrant products, TIS B can be realised using components designed and developed for the Quadrant ADS-B Sensor.
- (4) The TIS B Transmitter is complemented by a TIS-B Server that receives data from a ground-based tracker and schedules the transmission requests for a number of TIS-B ground stations.

Blank page

## 1.2 Purpose

- (1) The present Software Design Description is part of the TIS-B development documentation.
- (2) It describes the architecture of the software parts of the TIS-B embedded application, its interface to the external TIS-B Server; its driver interface and its integration into the Quadrant process family. The description is a textual presentation of what is implemented in the actual software of TIS-B.
- (3) It does not reveal TIS-B software implementation details or interfaces of the Quadrant process family or the TIS-B Server.

## 1.3 Scope

- (1) The SDD applies to the software source code under development for the TIS-B project.
- (2) The description is provided as a consolidated view to the solution and serves as the entry level to the technical documentation.



## 1.4 Intended Audience

- (1) This document is addressed to the Quadrant project team. This includes in particular persons pertaining to the following groups:
- 1 COMSOFT Project Team
  - 2 COMSOFT Quality Assurance

## 1.5 Definitions and Acronyms

<b>ADS-B</b>	<i>Automatic Dependent Surveillance Broadcast</i>
<b>ATC</b>	<i>Air Traffic Control</i>
<b>DP</b>	<i>Digital Processor</i>
<b>DSP</b>	<i>Digital Signal Processor</i>
<b>FPGA</b>	<i>Field Programmable Gate Array</i>
<b>MIB</b>	<i>Management Information Base</i>
<b>PPS</b>	<i>Pulse Per Second – a GPS emitted synchronisation signal</i>
<b>SNMP</b>	<i>Simple Network Management Protocol</i>
<b>TIS-B</b>	<i>Traffic Information System Broadcast</i>

## 2 TIS-B Process

### 2.1 Static Model

- (1) The static model of the TIS-B process describes its relationship to the different processes, its data structures, configuration and state parameters and the used communication ports.
- (2) The TIS-B process provides all the TIS-B related functionality as desired by the requirements. It interacts with other processes on the Quadrant Sensor and uses parts of the Quadrant library while extending the functionality with its local library.

#### 2.1.1 External Communication

##### 2.1.1.1 TIS-B Server Communication

- (1) TIS-B maintains an UDP socket for receiving of TIS-B Server transmission requests. The port is a software parameter defined in compile-constant `TISB_TRANS_PORT`.
- (2) TIS-B accepts all accurately formed requests from any IP once the process has started.
- (3) A TIS-B transmission request message contains a header and a payload consisting of one or multiple transmission requests. The maximum size of a message is 2048 Byte. With a header size of 4 Byte and transmission request size of 24 Byte the maximum payload consists of 85 transmission requests.
- (4) TIS-B transmission requests message format is defined in `send_request_msg_type` and the transmission requests in `send_request_record_type`. Transmission request header format is defined in `send_request_header_type`.

##### 2.1.1.2 Ground Station Service Messages

- (1) TIS-B sends periodically ASTERIX CAT023 messages of type Service Status (002) and Service Statistics (003). Additionally it contributes to ADS-B's Ground Station Status (001) messages with its state parameters, if TIS-B is enabled.
- (2) The frequency of the state reports is set via global configuration parameters `ground_station_status_update_frequency`, `service_status_update_frequency` and

`service_statistics_update_frequency`. This parameters adjust frequencies for both, TIS-B and ADS-B.

- (3) ASTERIX CAT023 types format is described in:
  - EUROCONTROL Standard Document for Surveillance Data Exchange, ASTERIX, Part 16: Category 023, CSN/ATM Ground Station Service Messages, SUR.ET1.ST05.2000-STD-16-01, Ed. 0.13, September 2008.

### 2.1.1.3 TIS-B SNMP Interface

#### 2.1.1.3.1 General Properties

- (1) The Simple Network Management Protocol (SNMP) is an internet standard developed and maintained by the Internet Engineering Task Force (IETF).
- (2) TIS-B extends the Quadrant MIB by certain elements described in Figure 1.
- (3) The Quadrant SNMP Agent is therefore extended with TIS-B specific implementation and provides the SNMP interface for external applications.
- (4) Please consult the Quadrant ADS-B Sensor Software Design Description (QUAD-SDD-V0.3D) for details of the Quadrant SNMP Agent and MIB.

#### 2.1.1.3.2 SNMP MIB

- (1) The TIS-B extension of the Quadrant MIB will allow read access to the following system parameters:
  - Total amount of accepted messages received from TIS-B Server(s).
  - Total amount of transmission requests received. A TIS-B message may contain multiple transmission requests.
  - Total amount of transmissions successfully sent.
  - Results of the CBIT:
    - Immediate queue overflow status
    - Scheduled queue overflow status
    - Communication overflow status.
- (2) The TIS-B extension of the Quadrant MIB will allow read/write access to the following system parameters:
  - TIS-B transmission status: enabled / disabled

- Minimum interval between transmissions 120..2000  $\mu$ s
- Receiver protection power on delay 5..100  $\mu$ s
- Receiver protection power down delay 1..100

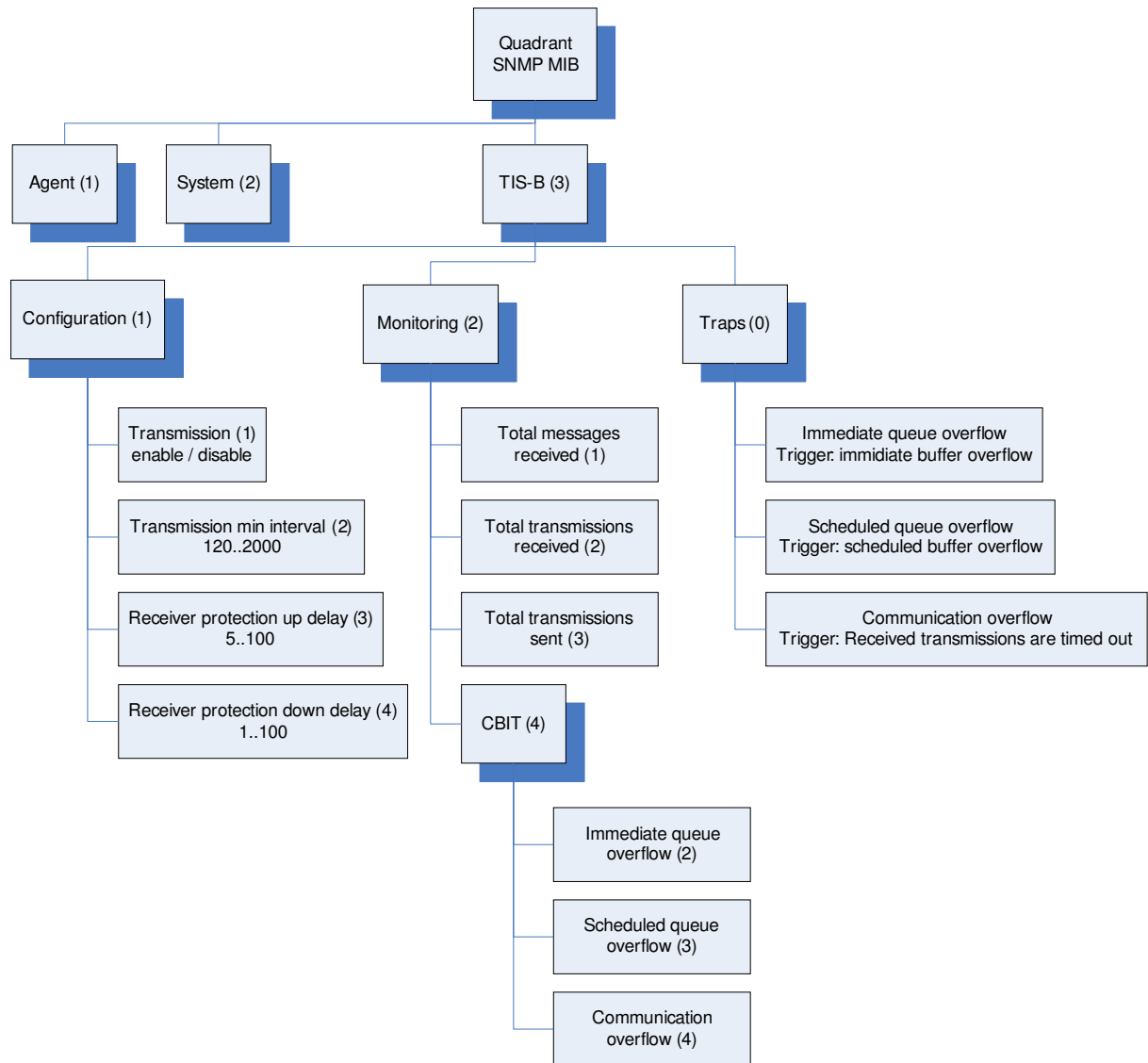


Figure 1: TIS-B SNMP MIB Extension

## 2.1.1.4 Maintenance Application

### 2.1.1.4.1 General Properties

- (1) TIS-B extends the Quadrant ADS-B Maintenance Application with its specific configuration setting and statistics.
- (2) TIS-B menu is located in the main menu option Customisation.

### 2.1.1.4.2 Menu Structure

- (1) TIS-B Maintenance Application menu tree consists of following items:
  - Display configuration
  - Set configuration
  - Display statistics
  - Reset statistics

#### 2.1.1.4.2.1 Display Configuration Menu

- (1) **TIS-B enabled status** displays whenever TIS-B transmission is enabled or disabled by software.
- (2) **Min transmission interval** displays the minimum transmission interval between TIS-B transmissions.
- (3) **Receiver protection power on delay** displays the time frame before the commission of a transmission, at which the receiver protection will be enabled. Remark: receiver protection may still be enabled, hence the delay will have no effect.
- (4) **Receiver protection power off delay** displays the delay between the end of transmission and the disabling of the receiver protection. Remark: receiver protection will not be disabled after transmission, if the keep-receiver-protection bit is set to 1.
- (5) **Max Output power** displays the maximum signal strength at which the transmissions are sent.
- (6) **TIS-B non-synchronised transmission** displays the state of non-synchronised transmission of scheduled transmissions.

### 2.1.1.4.2.2 Set Configuration Menu

- (1) **Enable/Disable TIS-B** allows the configuration of the TIS-B transmissions. When disabled, TIS-B will not receive and send any transmissions.
- (2) **Set min transmission interval** allows the configuration of the minimum transmission interval between 120 $\mu$ s and 2000 $\mu$ s in steps of 10 $\mu$ s. Remark: higher values may have a negative impact on transmission performance.
- (3) **Set receiver protection delays** allows the configuration of the receiver protection delays. The power on delay is configurable between 5 $\mu$ s and 100 $\mu$ s and the power off delay between 1 $\mu$ s and 100 $\mu$ s, both in steps of 1 $\mu$ s.
- (4) **Set max output power** allows the configuration of the maximum signal strength of TIS-B transmission between 1dB and 12dB in steps of 1dB. The actual signal strength is determined by the minimum value of the maximum output power and the transmission output power contained in each transmission request.
- (5) **Enable/Disable TIS-B non-synchronised transmission** allows the configuration of transmission of scheduled transmissions in non-synchronised state.

### 2.1.1.4.2.3 Display Statistics Menu

- (1) **Total messages accepted** displays the amount of transmission request messages received from the TIS-B server with a valid header. A message can contain multiple transmission requests.
- (2) **Total messages discarded** displays the amount of transmission request messages that were discarded due to inconsistent size/header information.
- (3) **Total transmission requests received** displays the amount of transmission requests received from the TIS-B server.
- (4) **Total transmission requests discarded** displays the amount of transmission requests that were discarded due to a time out.
- (5) **Total transmissions sent** displays the amount of sent transmissions.
- (6) **Last correct message received** displays the time at which the last transmission request message arrived in UTC that contained valid size/header information.
- (7) **Last immediate queue overflow** displays the time at which the last immediate queue overflow occurred.
- (8) **Last scheduled queue overflow** displays the time at which the last scheduled queue overflow occurred.

- (9) **Last transmission time out** displays the time at which the last scheduled transmission request timed out without transmission.

#### 2.1.1.4.2.4 Reset Statistics Menu

- (1) Resets all TIS-B statistic data.

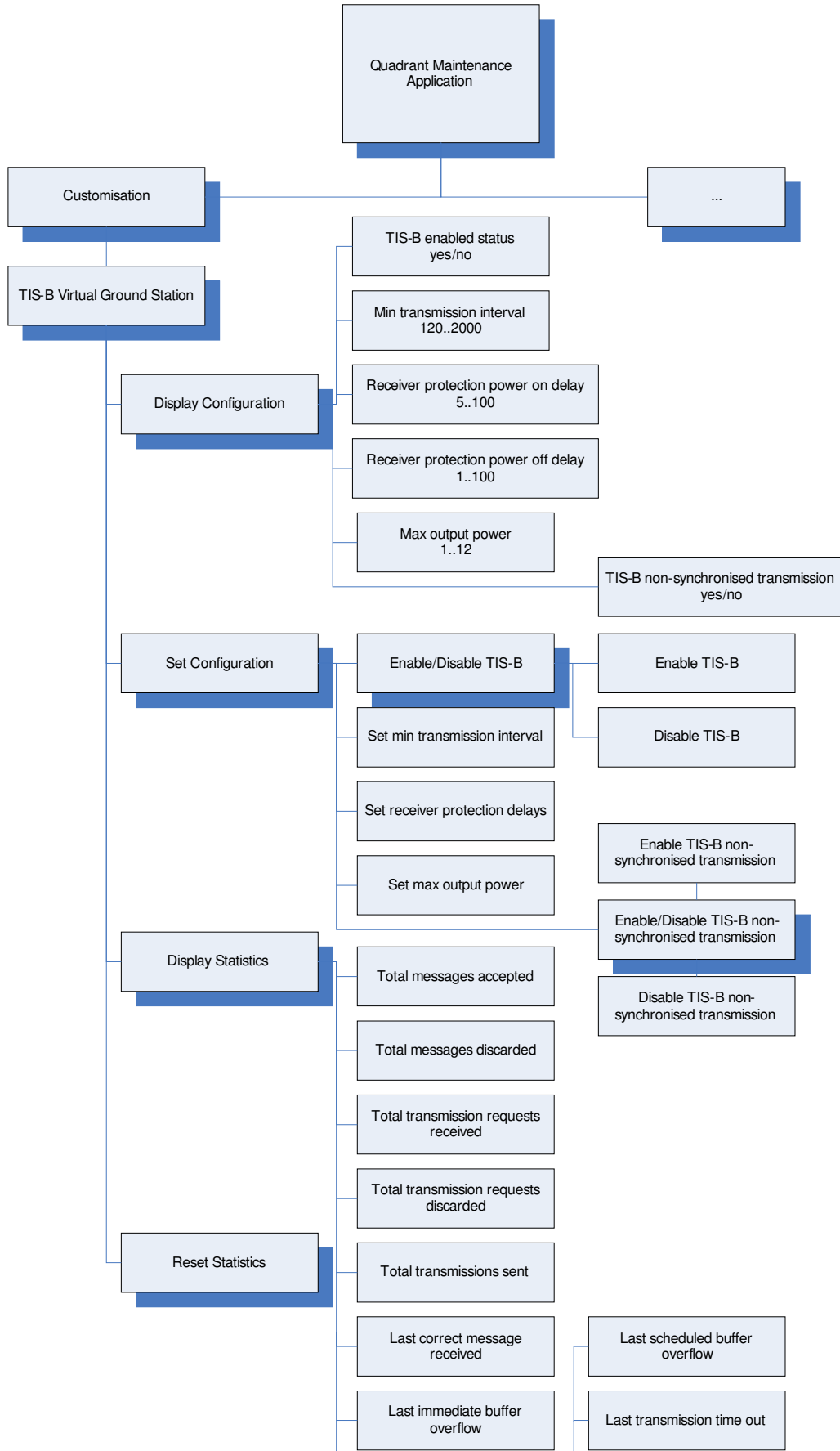




Figure 2: TIS-B Maintenance Application Extension

### 2.1.1.5 Transmission to External Clients

- (1) The external transmission interface from the TIS-B ground station to the TIS-B users consists of pulse-coded EM-transmissions on the 1090 MHz frequency.
- (2) The exact properties and the contents of the encoded packages are described in the Convention on International Civil Aviation (ICAO Annex 10).
- (3) TIS-B interfaces for this purpose with the DSP via a set of registers and is using that interface to commence the transmission. Further processing of the transmission and preparation of hardware for sending is responsibility of the DSP.

## 2.1.2 Internal Communication

### 2.1.2.1 Quadrant DSP Watchdog

- (1) The DSP watchdog requests heartbeats from the DSP to ensure correct processing of all registered Quadrant processes.
- (2) TIS-B maintains an UDP socket at a port defined as a software parameter to respond to the heartbeat requests. The port is defined in the compile-constant `TIS_B_IPC_PORT`.
- (3) TIS-B will reply to the watchdog requests even if `tisb_status` setting is disabled. This is to prevent the System Controller from unnecessary intervention.
- (4) For further details of the DSP watchdog process, please consult the Quadrant ADS-B Sensor Software Design Description (QUAD-SDD-V0.3D).

### 2.1.2.2 DP to DSP Interface

- (1) TIS-B transmissions are initiated by the Digital Processor (DP) and executed by the Digital Signal Processing (DSP) component.
- (2) The interface between the DP and DSP is a proprietary interface and an extension to the existing interface described in the Quadrant FPGA-PXA270 Interface Design Document. TIS-B specific extension is described in TIS-B IDD V0.4D.
- (3) TIS-B DSP functionality can be enabled and disabled via function `enable_tis_b` with the desired state. `tis_b_enabled` is used to query the current state of TIS-B

functionality.

*Remark:* the TIS-B DSP functionality is supposed to be set once at initial configuration of Quadrant. To enable/disable TIS-B functionality at runtime, use configuration setting variable `tisb_state`.

- (4) TIS-B transmissions can be initiated by writing to the dedicated register set via function `write_transmission` and `commenced` using `accept_tis_b_transaction`.

### 2.1.2.3 Maintenance Application

- (1) TIS-B extension is defined in `tisb_menu` and provides an interface to a set of TIS-B specific configuration settings and statistics.

### 2.1.2.4 SNMP Agent

- (1) TIS-B extends the Quadrant MIB by specific configuration settings and statistics.
- (2) Implementation of `quadrant_snmp_agent` has been extended respectively.

### 2.1.2.5 Quadrant Configuration

- (1) TIS-B extends the Quadrant configuration settings contained in the data structure `QuadrantConfig` by its specific configuration details. Further it uses the Quadrant shared memory interface to communicate its configuration changes to the global configuration
- (2) Quadrant configuration is accessed via shared memory segment to reduce access times and redundant writes to the persistent memory. Though, last used configuration is always made persistent and is available after a reboot of the Sensor.
- (3) The System Controller is responsible for allocation of the shared memory and its mapping to the persistent configuration database.
- (4) For further details of Quadrant's shared memory interface please consult Quadrant ADS-B Sensor SDD V0.3D.
- (5) See also 2.1.3 for details of TIS-B configuration settings.

### 2.1.2.6 Quadrant State

- (1) TIS-B extends the Quadrant state segment realised in data structure `QuadrantState` for volatile runtime information. Further it uses the Quadrant shared memory interface to communicate its state changes to the global state segment.
- (2) Quadrant state is accessed via shared memory segment and is not persistent.
- (3) The System Controller is responsible for allocation and initialisation of the shared memory segment.
- (4) For further details of Quadrant's shared memory interface please consult Quadrant ADS-B Sensor SDD V0.3D.
- (5) See also 2.1.4 for details of TIS-B state information.

### 2.1.3 TIS-B Configuration Settings

- (1) TIS-B extends the Quadrant state structure `QuadrantConfig` with its system specific configuration settings.
- (2) Configuration used by the sensor are backed by `quadrant_config/config1` or `quadrant_config/config2` as described in Quadrant ADS-B Sensor SDD.

TIS-B Structure QuadrantConfig Extension		
Type	Name	Description
bool	<code>tisb_status</code>	Is receiving and transmission of TIS-B messages enabled?
<code>usec_time_t</code>	<code>tisb_min_transmission_send_interval</code>	Minimum interval in $\mu$ s between two consecutive transmissions.
UINT_8	<code>tisb_receiver_protection_up_delay</code>	Delay between receiver protection enabling and transmission.
UINT_8	<code>tisb_receiver_protection_down_delay</code>	Delay between transmission completion and

		receiver protection disabling.
UINT_8	tisb_output_power	Signal strength of the transmission in dBm.

Table 1: QuadrantConfig Extension

## 2.1.4 TIS-B Volatile State Values

- (1) TIS-B extends the Quadrant state structure `QuadrantState` by its specific state variables.

TIS-B Structure QuadrantState Extension		
Type	Name	Description
usec_time_t	time_of_last_tisb_immediate_buffer_overflow	Time of last TIS-B immediate transmission buffer overflow condition.
usec_time_t	time_of_last_tisb_scheduled_buffer_overflow	Time of last TIS-B scheduled transmission buffer overflow condition.
usec_time_t	time_of_last_tisb_send_request_timeout	Time of last transmission request timeout condition.
usec_time_t	time_of_last_tisb_msg_received	Time of last transmission request message received.
usec_time_t	time_of_last_tisb_send_failure	Time of last transmission sending error.
UINT_32	dsp_high_res_clock_at_non_pps	FPGA 100MHz counter value at last non-PPS message.
unsigned long	total_tisb_msgs_received	Total amount of transmission request

long		messages received.
unsigned long long	total_tisb_send_requests_received	Total amount of transmission requests received.
unsigned long long	total_tisb_send_requests_sent	Total amount of transmissions sent.
bool	cbit_tisb_immediate_buffer_overflow	Indicates whether a TIS-B immediate transmission buffer overflow has occurred.
bool	cbit_tisb_scheduled_buffer_overflow	Indicates whether a TIS-B scheduled transmission buffer overflow has occurred.
bool	cbit_tisb_communication_overflow	Indicates whether TIS-B scheduled transmissions has been discarded due to timeout.

Table 2: QuadrantState Extension

### 2.1.5 System Controller

- (1) TIS-B registers as a managed process via `add_managed_process`.
- (2) For process identification `ProcessType` is extended with `PTTISB` and its corresponding `process_type_str` "TIS-B".
- (3) For System Controller communication `TIS_B_IPC_PORT` is used.

## 2.2 Dynamic Model

- (1) The dynamic model of TIS-B describes the dynamically held data and how the structures and functions, described in the static model, interact. Also the complete process flow is documented.

## 2.2.1 Initialisation

- (1) At initialisation, the TIS-B process will register at the System Controller as a managed process. This will insure the vitality of the process and will enable the DSP Watchdog heartbeat.
- (2) The next step is attaching to the shared memory segment for interactions with the global Quadrant state configuration.
- (3) Initialisation of the TIS-B device enables writing to the FPGA TIS-B register via `write`.
- (4) Next we set up the UDP socket `trans_fd` which is bound to `TISB_TRANS_PORT`, as given in the compile time constant. This socket will be used for receiving of TIS-B transmission request messages from the TIS-B Server.
- (5) As the last action the process initialises its local state variables. Remark: this will also set the receiver protection bit to 0 in the register set, disabling the receiver protection uptime.

## 2.2.2 Termination

- (1) On termination, the UDP socket and TIS-B device files are closed.

## 2.2.3 Event Processing

- (1) When TIS-B initialization has finished, it begins processing its event driven main loop.

### 2.2.3.1 TIS-B Server Message Received

- (1) Process transmission request message header, discard whole message if header is not formed correctly. Proceed to (2) if it is correct.
- (2) Buffer each transmission request in the appropriate queue.
- (3) Discard scheduled requests, which are scheduled before current system time.
- (4) Discard requests if corresponding buffer is full.

### 2.2.3.2 Transmission Sent

- (1) If transmitted message was set for immediate transmission, delete sent message from queue.
- (2) Delete transmission from register. Remark: this is only being done virtually by setting `register_used = false`.

### 2.2.3.3 General Event

- (1) Whenever an event has been triggered, or 100ms have elapsed since last event, following procedures are executed.
- (2) Failed immediate transmissions are reinitiated.
- (3) Failed scheduled transmissions are dismissed. Failed means the transmission is past its scheduled time without an interrupt occurrence. *Remark:* the implementation achieves this by setting `register_used = false` and in case of a scheduled transmission flushing the scheduled buffer by the time of the transmission.
- (4) Timed out scheduled transmissions are discarded from the queue. This is done by `flush_scheduled_buffer()`.
- (5) Evaluate whenever the receiver protection has to be disabled after next transmission. Evaluation takes place under consideration of the current up/down time of the receiver protection (discarding temporary uptimes for sending) and the time of transmission of the following transmission.
- (6) Write next transmission in queue to register, if interval time (`tisb_min_transmission_send_interval`) has passed since last write to register and any of the following applies:
  - There is no active transmission in register
  - Next transmission is scheduled before current register transmission and current register transmission is not scheduled within `MAX_SEND_DURATION`.

### 3 Requirement Allocation

(1) The following cross reference index provides links to the allocated system requirements.

S **SDD-V0.1D-2.1.1.1**

S **SDD-V0.1D-2.2.3.1(4)**

S **SDD-V0.1D-2.1.1.2(1), SDD-V0.1D-2.1.1.3.1(2), SDD-V0.1D-2.1.1.3.2(1)**

S **SDD-V0.1D-2.1.1.2(1), SDD-V0.1D-2.1.1.3.1(2), SDD-V0.1D-2.1.1.3.2(1)**

S **SDD-V0.1D-2.1.3(1)**

S **SDD-V0.1D-2.2.3.1(2)**

S **SDD-V0.1D-2.1.1.4.2.2(2), SDD-V0.1D-2.2.3.4(6)**

S **SDD-V0.1D-2.2.3.3(5)**

S **SDD-V0.1D-2.1.3(1)**

S **SDD-V0.1D-2.1.1.3.2(2), SDD-V0.1D-2.1.1.4.2.2(3)**

S **SDD-V0.1D-2.1.1.3.2(2), SDD-V0.1D-2.1.1.4.2.2(3)**





Final Page !