

Digitaler Sender/Empfänger

Bruno Busslinger, HB9HVF
Thomas Sailer, HB9JNX
Rolf Sommerhalder, HB9CWP

13. März 1996

1 Einleitung

Dieser Artikel beschreibt übersichtsmässig die Implementation eines digitalen Sender/Empfängersystems am Institut für Elektronik der ETH Zürich. Dieses Sender/Empfängersystem besteht aus zwei Boards, dem TRX-Board [2, 3] und dem SHARC-Board [1]. Je nach Frequenzband wird noch ein analoges Frontend benötigt.

Das TRX-Board übernimmt die Umsetzung des analogen Eingangssignales aus der ZF-Lage bei 70 MHz in ein digitales Tiefpaßsignal bzw. die Erzeugung des Sendersignales um 70 MHz.

Das SHARC-Board implementiert den Modulator/Demodulator. Der SHARC [6] ist ein moderner Fließkommasignalprozessor von Analog Devices, dessen Highlights neben der hohen Geschwindigkeit das grosse Onchip-Memory (4 MBit) und die hohe I/O-Bandbreite sind. Das SHARC-Board ist multiprozessorfähig, bis zu 8 (??) SHARC-Boards können miteinander verbunden werden.

2 Konventionelle Reivertechnologie

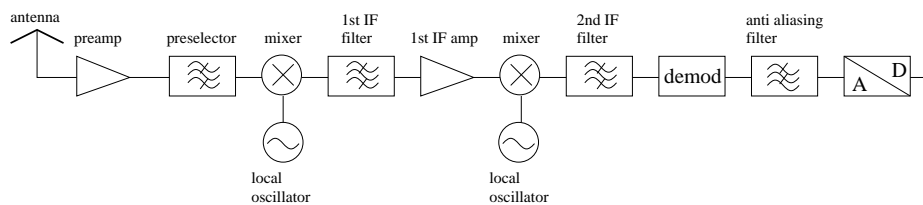


Abbildung 1: Analoger Receiver

Abbildung 1 stellt das Blockschaltbild eines konventionellen Empfängers dar, wie er zum Beispiel in Pagers, DSR (digitales Satellitenradio)-Empfängern, Datenfunkgeräten etc. eingesetzt wird. Hier wird das Empfangssignal erst sehr spät di-

gitalisiert. Es sind hier steilflankige Analogfilter (2nd IF Filter) nötig, deren Qualität, Reproduzierbarkeit, Integrierbarkeit und Preiswertigkeit begrenzt sind. Meist benötigen viele Komponenten einen Abgleich. Ausserdem ist diese Lösung nicht sehr flexibel. Jede Modulationsart, die der Empfänger unterstützen soll, braucht einen eigenen Demodulator.

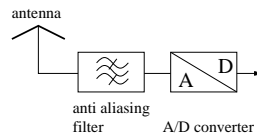


Abbildung 2: Digitaler Receiver

Das Ziel ist es nun, den A/D-Wandler so nahe wie möglich an die Antenne hinzukriegen. Damit können steilflankige Analogfilter eingespart werden. Die digitalen Filter, die an deren Stelle treten, können ohne Probleme als Filter mit konstanter Gruppenlaufzeit realisiert werden, was bei Kommunikationssystemen ein gewaltiger Vorteil ist. Es ist kein Abgleich mehr nötig, Änderungen an der Modulationsart sind hier in Software möglich.

Die Extremform, den A/D-Wandler direkt an die Antenne anzuschliessen (Abbildung 2), ist heute allerdings nicht realisierbar. Zum einen sind die nötigen Samplingraten sehr hoch, zum andern müßte die Auflösung sehr hoch sein. Ein guter analoger Empfänger erreicht ein SFDR (Spurious Free Dynamic Range) von deutlich über 100dB, dies ergäbe Wandlerbreiten von über 18 Bit. Wandler mit dieser Wortbreite sind heute dem Audio-Bereich vorbehalten, während schnelle A/D-Wandler (2 GSamples/s) derzeit nur in einer Auflösung von etwa 6 Bit realisierbar sind.

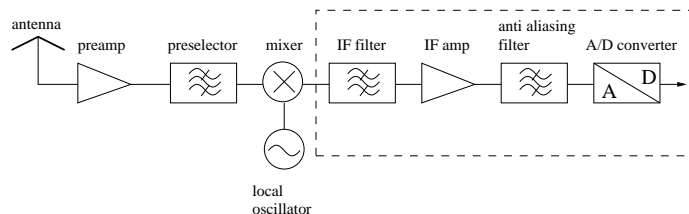


Abbildung 3: Receiver mit digitaler erster ZF

Es wurde ein Kompromiß gewählt, der zwischen den beiden Extremen liegt. Das Frontend (die Signalverarbeitung unmittelbar nach der Antenne bis zur Zwischenfrequenz [IF]) bleibt weiterhin konventionell, der A/D-Wandler digitalisiert nun aber die erste Zwischenfrequenz, und die Demodulation erfolgt digital (Abbildung 3). Mit diesem Konzept bleiben die meisten Vorteile der digitalen Signalverarbeitung erhalten. Die Anforderungen an die analogen Filter sind vergleichsweise bescheiden (kleine Flankensteilheit, großer Durchlaßbereich), damit werden die Toleranzen unkritisch. Die für die Empfängerqualität wichtigen Baugruppen, das zweite IF-Filter und der Demodulator, werden digital realisiert.

Da die Samplingrate des A/D-Wandlers sehr hoch ist (im Megasample/s-Bereich), muß das digitale Signal dezimiert werden, damit es mit einem general purpose Signalprozessor wie dem SHARC verarbeitet werden kann.

Der mit dem gestrichelten Kasten eingerahmte Schaltungsteil wurde in dieser Arbeit realisiert.

Der Sender kann analog zum Empfänger realisiert werden.

3 Der digitale Transceiver

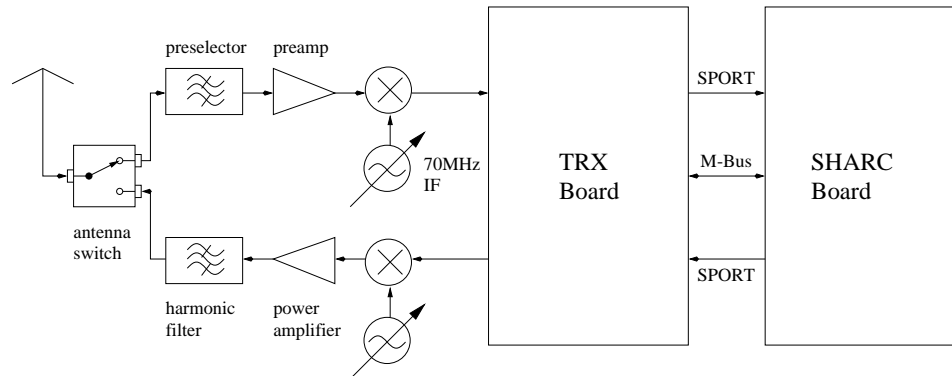


Abbildung 4: Blockschaltbild digitaler Transceiver

Abbildung 4 zeigt das Blockschaltbild des digitalen Sender/Empfängers. Die Zwischenfrequenz von 70 MHz wurde lediglich deshalb gewählt, weil das eine Standard-ZF ist und daher SAW¹-Filter ab Stange erhältlich sind. Entsprechende Filterung vorausgesetzt kann aber jede ZF zwischen 0 und 200 MHz verwendet werden. Der zusätzliche Hardwareaufwand neben dem SHARC-Board [6, 1] und dem TRX-Board ist recht bescheiden. Der als variabel eingezeichnete Lokaloszillator muß dies auch nur in Stufen von etwa 100kHz² sein, die Feinabstimmung kann über das TRX-Board vorgenommen werden.

4 Das TRX-Board

Sofern die Sample&Hold-Stufe am Eingang des A/D-Wandlers genügend schnell ist, braucht das Signal nicht mit mindestens der doppelten maximalen *Signalfrequenz* abgetastet werden, sondern mit mindestens der doppelten *Bandbreite*, damit kein Informationsverlust entsteht. Diese Technik nennt sich Bandpaßsubsampling. Die entsprechende Technik wird auch beim Sender angewendet. Die Abtastrate sollte aber dennoch deutlich grösser gewählt werden, um die Anforderungen an das analoge Anti-Aliasing-Filter in Grenzen zu halten.

¹Surface Acoustic Wave, dt. Oberflächenwellenfilter

²je nach im TRX-Board eingesetzten SAW-Filtern

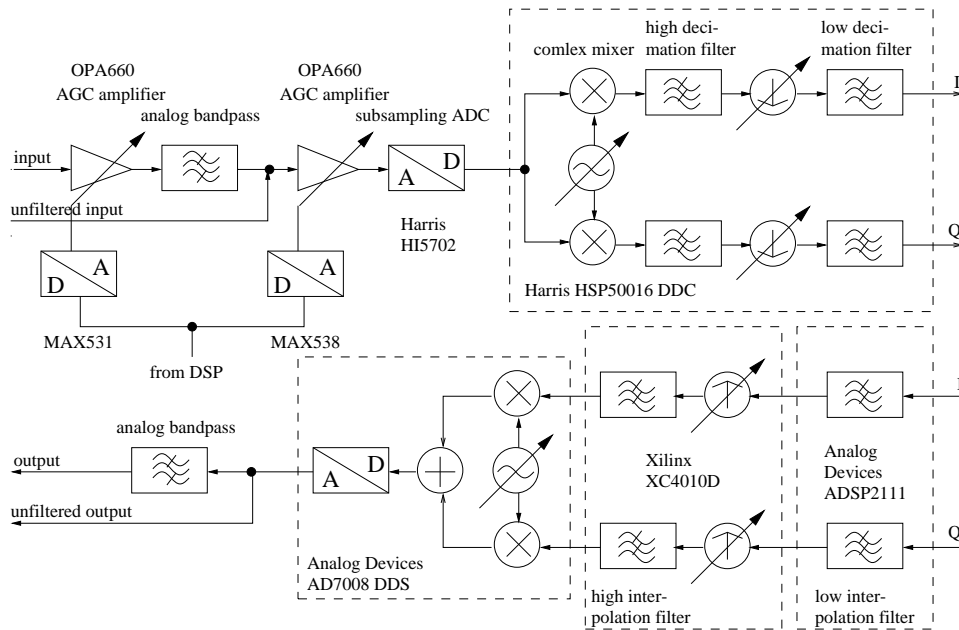


Abbildung 5: Blockdiagramm des TRX-Boardes

Der A/D- und der D/A-Wandler laufen beide im Bereich 25–50 MSamples/s. Dies liegt natürlich weit ausserhalb dessen, was mit einem general purpose Signalprozessor verarbeitet werden kann. Das Signal muß daher dezimiert³ werden. Zuvor muß das interessierende Signal aber ins Basisband heruntergemischt werden und gefiltert werden, damit kein Aliasing entsteht. Diese Filter müssen in Hardware realisiert werden, dies erzwingt die Samplingrate.

Die Wandler arbeiten mit einer Breite von 10 Bit. Diese Wandler bieten einen Dynamikbereich von etwas über 50 dB. Durch die Dezimation um Faktoren > 100 nimmt aber der Dynamikbereich noch um über 20 dB vergrössert.

Die Samplingrate des Datenstromes zum SHARC-Board und damit die Bandbreite des Signales lässt sich im Bereich von ungefähr 1 kHz–250 kHz einstellen.

5 Das SHARC-Board

Der Modulator/Demodulator implementiert das SHARC-Board. Dank des erstaunlich gut optimierenden C-Compilers von Analog Devices wird es möglich, Radioempfänger und -sender in C zu schreiben! Daß dies auch noch bei Bandbreiten im 100kHz-Bereich möglich ist, hat die Implementation eines FM-Demodulators gezeigt.

³Die Samplingrate muß heruntersgesetzt werden

6 Ausblick

Die meisten derzeit im Amateurfunk eingesetzten DSP-Lösungen digitalisieren entweder die demodulierte NF, oder dann eine sehr tief gelegene dritte ZF. Diese Lösungen bieten die meisten der oben erwähnten Vorteile der digitalen Signalverarbeitung *nicht*. Es ist nach wie vor eine ganze Batterie an analogen Filtern nötig. Insbesondere bei digitalen Betriebsarten kann eine solche DSP-Lösung die Verzerrungen, die die analogen (steilflankigen) Filter dem Signal zugefügt haben, nicht mehr rückgängig machen. Gruppenlaufzeitkorrigierte Analogfilter liegen wohl weit ausserhalb der finanziellen Möglichkeiten der meisten Amateure.

Die perverseste Situation ist wohl die des zwischen Kurzwellenempfänger und Modem geschalteten “DSP-Filters”, wie es derzeit in Amateurfunkzeitschriften oft beworben wird. Ein solches “DSP-Filters” kann höchstens die Unzulänglichkeiten des Modems etwas mildern. Es verfügt nicht mal über die Information, welche Modulationsart gerade verwendet wird⁴, und kann so seine Filter nicht anpassen.

Derzeit liegen die Kosten für die digitale Signalverarbeitung in der ersten ZF noch zu hoch für Massenanwendungen und damit für den Amateurfunk. Dies wird sich aber sehr bald ändern. Die benötigte Technologie ist keineswegs teuer. Der hohe Preis ist allein durch die kleinen Stückzahlen begründet.

Der derzeit erreichbare Dynamikbereich ist noch etwas knapp, vor allem für Kurzwellenempfänger. Auf dem Gebiet der A/D-Wandler herrscht jedoch eine rege Forschungs- und Entwicklungstätigkeit. Vor etwa 10 Monaten wurde mit dem Design des TRX-Boardes begonnen. Es wurde ein A/D-Wandler gewählt, der gerade so erhältlich war zu einem bezahlbaren Preis⁵. Heute sind bereits A/D-Wandler zum selben Preis erhältlich, deren relevanten Daten um etwa 10dB besser sind. Daher kann angenommen werden, daß Empfänger mit digitaler erster ZF bald in die Domäne guter analoger Kurzwellenempfänger eindringen werden.

Am IfE wird derzeit ein Kurzwellenmodem implementiert. Sobald die Basisbandversion läuft, wird es auf das TRX-Board portiert, denn bei digitalen Betriebsarten treten die Vorteile der digitalen Signalverarbeitung ab der ersten ZF besonders deutlich hervor:

- Keine steilflankigen analogen Filter mehr, die nicht mehr korrigierbare Verzerrungen verursachen
- Die Filter des Demodulators können exakt der Modulationsart und damit der Sendersignalform angepasst werden
- Die AGC ist komplett unter Kontrolle des Modems. Es kann oft beobachtet werden, wie die AGC eines analogen Empfängers die Arbeit des Modems mehr erschwert als erleichtert.
- Die Modulationsart kann sehr flexibel gewählt werden, womit es möglich wird, die Modulationsart dem Kanal anzupassen

⁴z.B. bei Pactor, ob 100 oder 200 Baud verwendet wird

⁵etwa 100\$

Um die Digitale Signalverarbeitung bei Kommunikationsempfängern sinnvoll nutzen zu können sollte die Industrie ein standardisiertes Interface zur Ausgabe/Eingabe der Samples vorsehen, denn nur so kann die Digitale Signalverarbeitung auch sinnvoll eingesetzt werden. Wird sie lediglich dazu benutzt, herkömmliche analoge Modulationsarten zu implementieren, ist deren Nutzen, insbesondere auch für die digitalen Betriebsarten, sehr bescheiden. Es macht wenig Sinn, das Signal im Empfänger zu digitalisieren, verarbeiten und nachher wieder analog auszugeben, nur damit es im Modem nachher wieder digitalisiert wird.

Literatur

- [1] Etienne Hirt, Jean-Pierre Wyss, *Modulares Multiprozessorsystem*, Diplomarbeit am IfE, ETH Zürich, WS1994
- [2] Bruno Busslinger, Thomas Sailer, *M-Modul für digitale Breitband-signalverarbeitung auf dem SHARC-Multisignalprozessor*, Semesterarbeit am IfE, ETH Zürich, SS1995
- [3] Bruno Busslinger, Thomas Sailer, *M-Modul für digitale Breitband-signalverarbeitung mit dem SHARC-Multisignalprozessor*, Diplomarbeit am IfE, ETH Zürich, WS1995
- [4] Felix Betschon, Christof Sidler, *Echtzeitsimulation einer Mobilfunkverbindung auf dem SHARC-Mehrprozessorsystem*, Semesterarbeit am IfE und IKT, ETH Zürich, SS1995
- [5] Marvin E. Frerking, *Digital Signal Processing in Communication Systems*, Van Nostrand Reinhold, New York, Wa, ISBN 0-442-01616-6
- [6] Analog Devices, *ADSP-2106x SHARC User's Manual*, Norwood, Ma