

Sonderdruck aus
Kleinhebeler Berichte
Band 11:21 (1970)
Herausgegeben von
Fernmeldetechnikales Zentralamt
Darmstadt

Die Prozeßsteuerung und Datenerfassung der SOUSY-VHF-Radaranlage

von

R.P. Kugel

Institut für Datenverarbeitung der Technischen Universität Braunschweig

G. Schmidt

Max-Planck-Institut für Aeronomie, Katlenburg-Lindau 3

R.F. Woodman

Arecibo Observatory, Arecibo, Puerto Rico

Zusammenfassung

Kernstück der Steuerung und Datenerfassung ist ein 21M08 Hewlett-Packard-Minicomputer mit einem Real-Time-Execute II- und File-Manager-Betriebssystem. Neben der Standardperipherie sind der AD-Wandler, der Radarcontroller, der Preprozessor und die Antennensteuerung angeschlossen. Der Radarcontroller dient der synchronen Steuerung des gesamten Radarablaufs und kann phasenkodierte Signale erzeugen. Der Preprozessor reduziert durch Mittelwertbildung den vom AD-Wandler gelieferten Datenfluß von maximal 4 MW/s um etwa drei Größenordnungen, er kann außerdem phasenkodierte Signale dekodieren. Die Mittelwertbildung hat die Wirkung eines Kammfilters.

Abstract

Central unit of the radar control and data acquisition is a 21M08 Hewlett Packard minicomputer with a real-time-II and file-manager execute system. Together with standard periphery and analog-digital converter, a radar controller, a preprocessor, and the antenna control are connected to the computer. The radar controller controls the synchronous radar cycle and can generate phase-coded signals. The preprocessor reduces the data rate of 4 MW/s from the AD-converter by a factor of thousand by averaging the signals. In addition the preprocessor can decode phase-coded signals. The averaging has the effect of a combfilter.

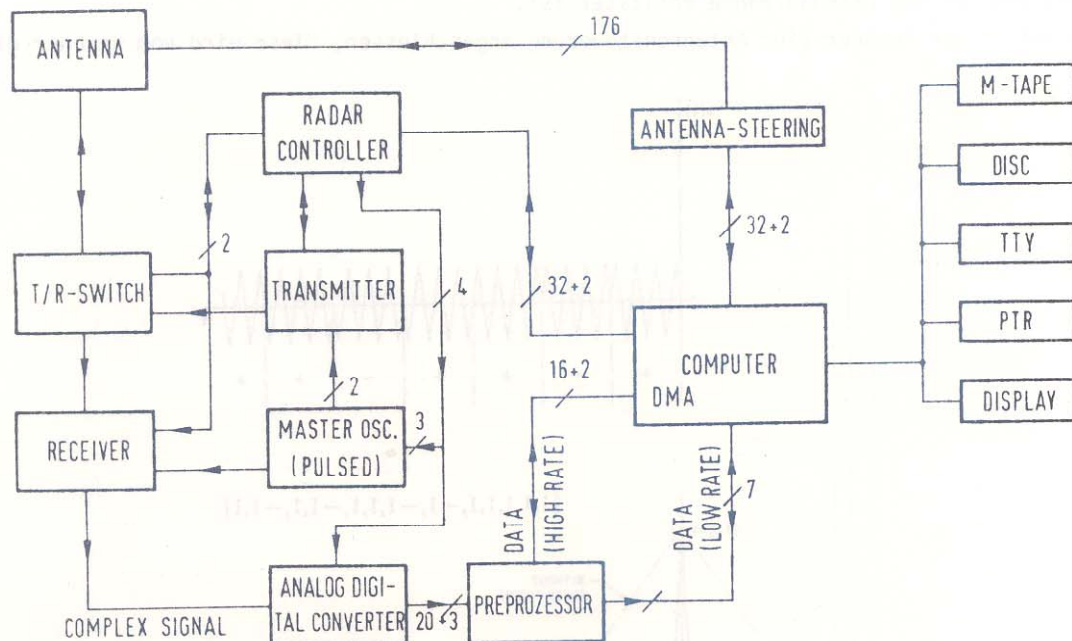


Abb. 1

SOUSY-VHF-Radar

1. Einleitung

Wesentlich für die Prozeßsteuerung und Datenerfassung einer wissenschaftlichen Meßapparatur, wie sie die SOUSY-VHF-Radaranlage darstellt, ist die Flexibilität der einzelnen Geräte und Programme, um den raschen Anforderungen der wechselnden wissenschaftlichen Aufgaben gerecht zu werden. Das bedeutet, daß alle Geräte in ihren Funktionen dynamisch programmierbar erstellt werden müssen, außerdem ist wesentlich, daß von einem zentralen Rechner aus diese Programme in einer höheren Programmiersprache, z.B. Fortran IV, entwickelt werden können, damit ein großer Benutzerkreis diese Anlage leicht und schnell bedienen kann.

Aus diesem Grunde wurde für die Steuerung und Datenerfassung ein HP21M08-Minicomputer mit einem "Real-Time Execute II"- und "File-Manager"-Betriebssystem gewählt (Abb. 1). Mit dem Betriebssystem ist es möglich, die peripheren Geräte zu bedienen, große Datenmengen aufzunehmen und diese nebst vielen Programmen bequem zu verwalten. Zur Standard-Peripherie gehören Doppelplatten, Magnetband, Lochstreifenleser, Teletype und Speicheroszillograph.

Die SOUSY-VHF-Radaranlage produziert bei maximaler Sendeleistung und Auflösung (100 m) kodierte digitale Daten mit einer mittleren Rate von 500.000 bis 1 Million komplexen Zahlen pro Sekunde. Bevor diese Signale statistisch analysiert werden können, müssen sie gefiltert und dekodiert werden. Das Dekodieren der Signale umfaßt die Kreuzkorrelation mit einer 32- bis 64-Baud langen Zeichenfolge. Die Filterung erfolgt durch Aufsummieren einiger hundert Punkte pro Höhenkanal. Daraus ergeben sich normalerweise etwa 32 Millionen Additionen pro Sekunde. Die Bewältigung einer solchen Aufgabe liegt jenseits der Fähigkeiten eines Kleinrechners. Deshalb werden zwei Funktionen, die Radarsteuerung durch den Radarcontroller und die schnelle Datenverarbeitung und Dekodierung durch den Preprozessor, aus dem Rechner ausgelagert und durch getrennte Hardware ausgeführt. Sowohl der Radarcontroller als auch der Preprozessor sind bzw. werden programmierbar ausgeführt, so daß der Rechner nur das Programmieren durchführt und für die Datenaufnahme entlastet ist. Außerdem ist an den Rechner eine Antennensteuerung angeschlossen, diese wird vom Rechner direkt durchgeführt.

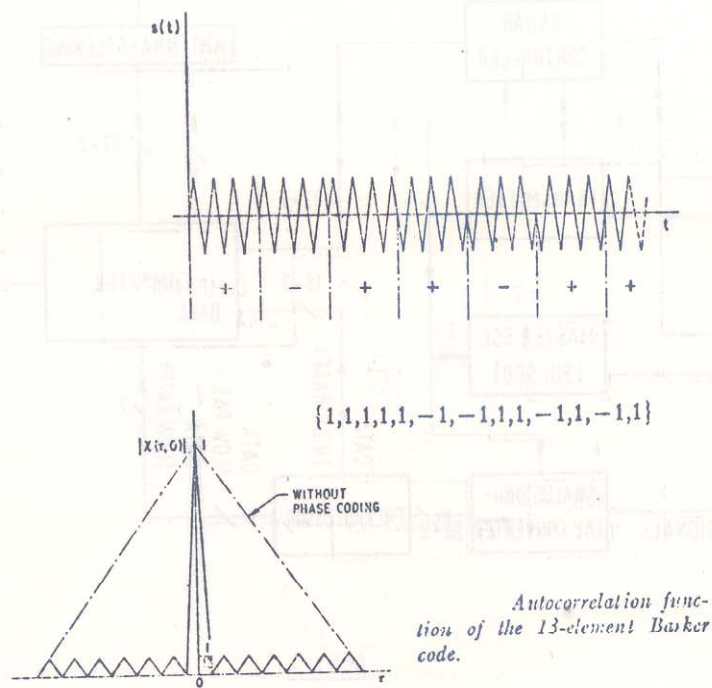


Abb. 2

13-Element Barker-Code und Autokorrelationsfunktion
[Rihaczek, 1969]

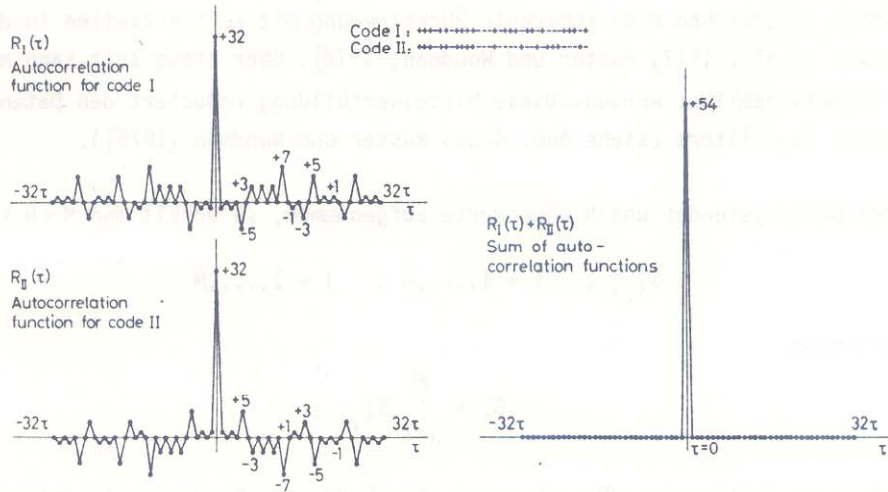


Abb. 3

32-Element Komplementär-Code und Autokorrelationsfunktionen
 [Leppänen, 1976]

2. Theorie

Die Rückstreuung des Radarsignals findet an Fluktuationen des Brechungsindex der Luft statt, diese Fluktuationen werden durch Turbulenzen hervorgerufen. Da in größeren Höhen diese Brechungsindexschwankungen sehr klein werden, kann nur mit hoher Sendeleistung der Radaranlage ein Signal erwartet werden. Die SOUSY-Radaranlage hat eine Spitzenausgangsleistung von 600 kW, eine weitere, effektive Leistungssteigerung läßt sich erreichen, wenn lange, phasenkodierte Signale gesendet und ausgewertet werden, z.B. Barker-Code oder Komplementär-Code (Abb. 2 und 3).

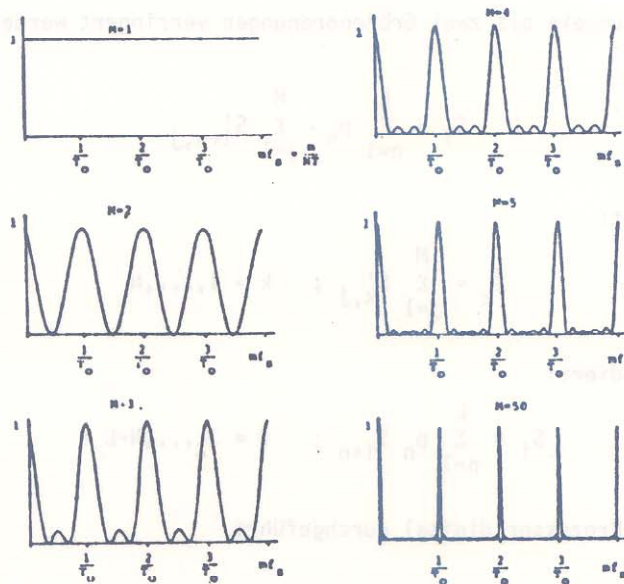


Fig. 2. Comb filtering action of a signal averaging computer. Plot of

$$\left| \frac{1}{M} \frac{\sin\left(\frac{mMT_0}{NT}\right)}{\sin\left(\frac{mT_0}{NT}\right)} \right|$$

versus $mf_0 = m/NT$ for various values of M .

Abb. 4

Kammfilterwirkung der Mittelwertbildung
 [Childers, 1977]

Die Fluktuationen verursachen eine kohärente Rückstreuung mit Kohärenzzeiten in der Größenordnung Sekunden [Czechowsky et al., 1977; Rüter und Woodman, 1978]. Ober diese Zeit kann nun ein Mittelwert des empfangenen Signals gebildet werden. Diese Mittelwertbildung reduziert den Datenfluß erheblich und hat den Effekt eines Kammfilters (siehe Abb. 4 und Rüter und Woodman [1978]).

Werden M Sendeimpulse gesendet und N Höhenwerte aufgenommen, so erhält man $M \times N$ komplexe Meßwerte:

$$S'_{i,j} ; \quad i = 1, \dots, N ; \quad j = 1, \dots, M$$

Durch Mittelwertbildung:

$$S_i = \sum_{j=1}^M S'_{i,j}$$

wird das Signal-Rauschverhältnis um \sqrt{M} verbessert. Ein kodiertes Sendesignal $p(t)$ kann durch Kreuzkorrelation mit dem Empfangssignal $S'(t)$:

$$S'(t) = \int p(\tau) \cdot S'(t + \tau) d\tau$$

(oder als Summenformel:

$$S'_{i,j} = \sum_{n=1}^L p_n \cdot S'_{i+n,j} ; \quad p_n = \pm 1 ; \quad n = 1, \dots, L)$$

wiedergewonnen werden. Wird gleichzeitig korreliert und gemittelt, so werden an Rechenoperationen benötigt:

$$S_i = \sum_{j=1}^M \sum_{n=1}^L p_n \cdot S'_{i+n,j} ; \quad i = 1, \dots, N-L$$

Der Rechenaufwand kann etwa um ein bis zwei Größenordnungen verringert werden, wenn die Summenoperationen vertauscht werden:

$$S_i = \sum_{n=1}^L p_n \cdot \sum_{j=1}^M S'_{i+n,j}$$

Es wird also zuerst gemittelt:

$$\hat{S}_k = \sum_{j=1}^M S'_{k,j} ; \quad k = 1, \dots, N$$

und dann der Mittelwert dekodiert:

$$S_i = \sum_{n=1}^L p_n \hat{S}_{i+n} ; \quad i = 1, \dots, N-L$$

Diese Operationen werden im Prozessor digital durchgeführt.

3. Hardware im Blockschaltbild

3.1 Der Radarcontroller

Der Radarcontroller (Abb. 5) besteht aus fünf Speichern, die vom Computer geladen werden können, und drei Zählern mit Rücksetzkomparatoren. Zwei größere Speicher, je 1024×8 Bit, enthalten die Zeitabschnitte und Befehle für die Radarablaufsteuerung. Mit diesen kleineren Speichern kann die Zykluszeit, die Anzahl der Radarzyklen und die maximale Belegung der großen Speicher vorgegeben werden.

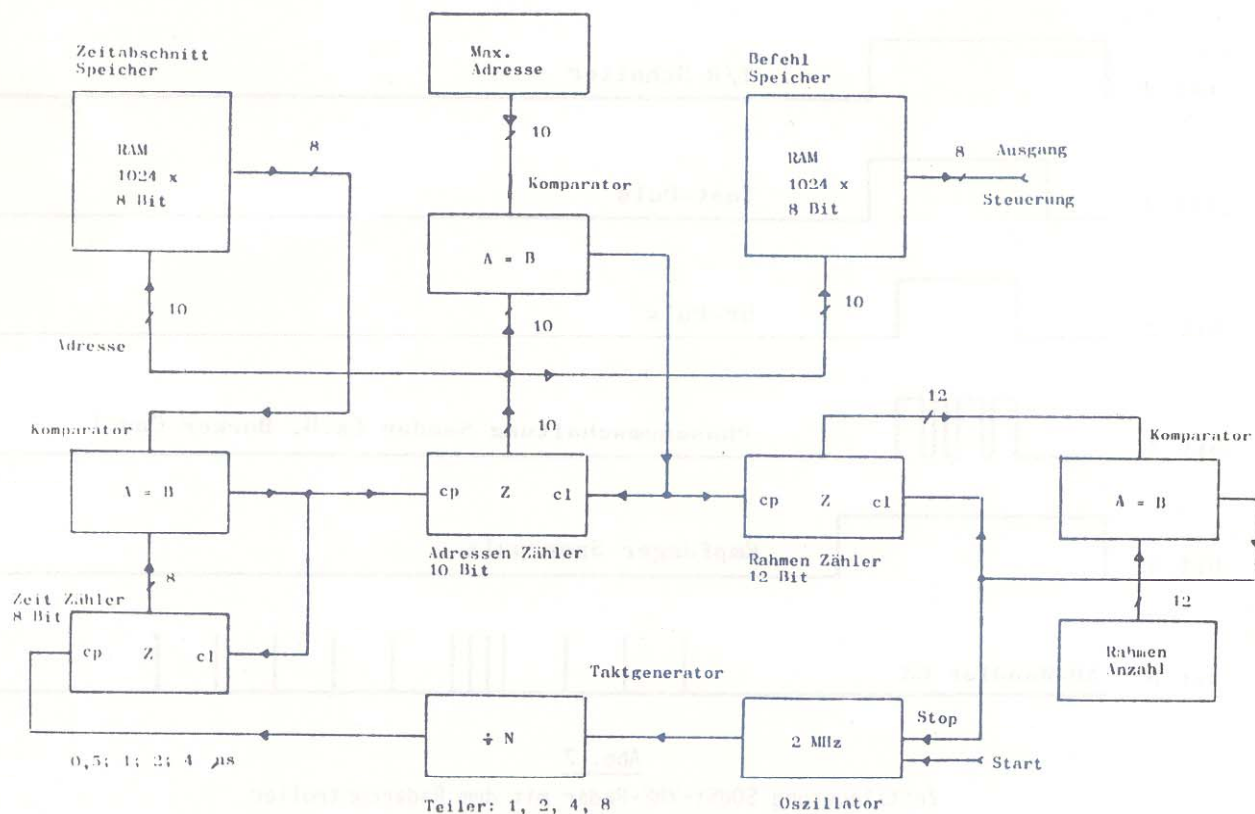


Abb. 5

Prinzip Radarcontroller

Die drei kaskadierten Zähler mit der Komparator-Rücksetzung wirken als Zeitabschnitt-Zähler, Adressen-Zähler und Rahmen-Zähler. Am Ausgang des Befehlspeichers erscheinen dann die Steuersignale für die Radaranlage. Abbildung 6 zeigt die Belegung der acht Ausgänge des Radarcontrollers. Abbildung 7 bringt ein Beispiel einer zeitlichen Steuerung. Der Radarcontroller kann vom Rechner aus gestartet oder gestoppt werden, nach Ablauf der vorgegebenen Rahmenzahl hält der Controller selbst an.

Ausgang Steuerung Radar Controller

bit 1	Tast - Puls Sender
2	HF - Puls Sender
3	Phasenumschaltung Sender 0°/180° Barker Code
4	Antennenumschaltung Sender/Empfänger
5	frei
6	Empfänger Sperrpuls
7	frei
8	AD-Wandler Conversion Start Puls

Abb. 6

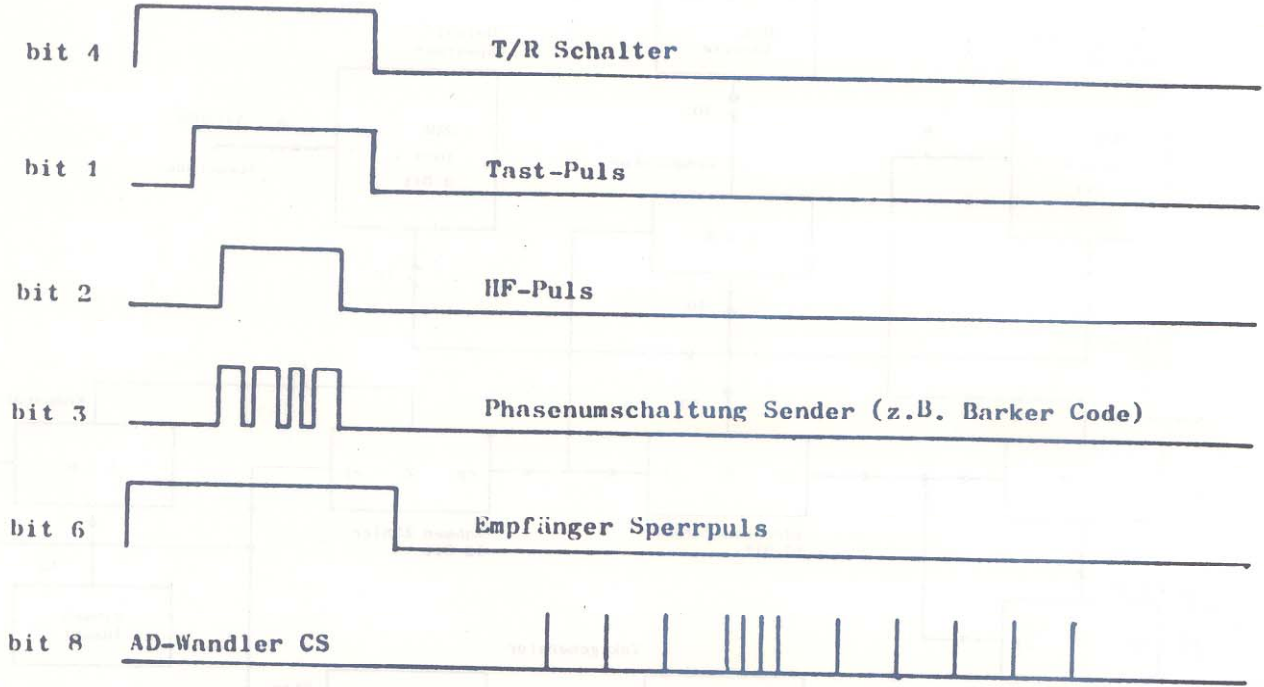


Abb. 7

Zeitsteuerung SOUSY-VHF-Radar mit dem Radarcontroller

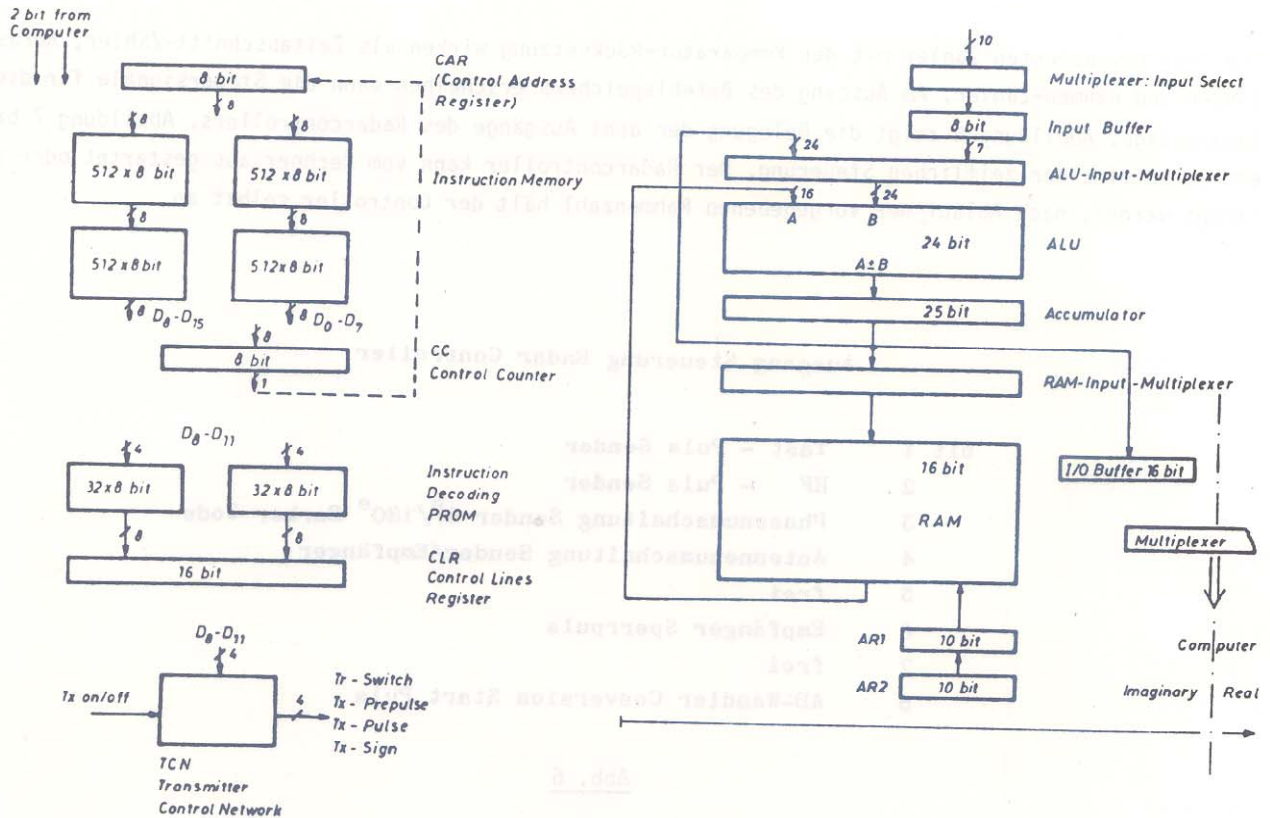


Abb. 8

Prinzip Preprozessor

3.2 Der Preprozessor

Der Preprozessor dient der digitalen Vorverarbeitung der anfallenden Meßdaten und hat die Aufgabe, durch Mittelwertbildung und durch Dekodieren (z.B. Barker-Code oder Komplementär-Code) den Datenfluß zum und den Rechenaufwand im Rechner zu verringern. Der Analog-Digital-Wandler liefert eine Datenrate von $4 \cdot 10^6$ 10-Bit-Worte, das sind $2 \cdot 10^6$ komplexe Meßwerte pro Sekunde, entsprechend einer Videobandbreite von 1 MHz des Empfängers. Die Bewältigung dieser Datenrate sowie die Ausführung der erforderlichen Rechenoperationen zur Dekodierung des kodierten Signals - etwa $4 \cdot 10^6$ Additionen pro Sekunde - sind durch einen Rechner des gewählten Typs nicht möglich.

Der Preprozessor (Blockschaltbild Abb. 8) beinhaltet im wesentlichen zwei schnelle Addierwerke, zwei Datenspeicher (RAM, je 1024×16 Bit) für max. 1024 Höhenkanäle, einen Programmspeicher (Instruction Memory, 1024×16 Bit) und ein Steuerwerk. Bei Benutzung des Preprozessors werden - aus Synchronisationsgründen - einige Funktionen des Radarcontrollers direkt übernommen, so zum Beispiel die Steuerung der Sende-Empfangsanlage (Transmitter Control Network). Das Programm steht in der vorhandenen Ausbaustufe in einem PROM, das später durch ein RAM mit Computer-Interface ersetzt werden soll. Der Preprozessor kann so beliebige Signale initiieren und dekodieren. Den Instruktionssatz dazu zeigt Abb. 9.

Radar Controller Instructions

	Instruction Code	Description
NOP	0 0 0 0	No operation
SAM	0 0 0 1	Sample ADC and accumulate values according to sign of Tx-signFF (last TXP or TXN) into memories - Advance AR1 by one
RST	0 0 1 0	Reset all registers of Integrator-Decoder - Including Accumulators
RPT	0 0 1 1	Send Interrupt to Computer and reset Instruction Memory Address to zero
ABC	0 1 0 0	16 MSB bits of Accumulators into I/O Buffer register - Send data ready to computer
STA	0 1 0 1	16 MSB bits of Accumulators into memories - Increment AR1 - Increment AR2
ZAC	0 1 1 0	Reset Accumulators to zero
C21	0 1 1 1	Copy AR2 to AR1
AMA	1 0 0 0	Add memory contents to Accumulator Registers - conserve memory contents - Increment AR1
SMA	1 0 0 1	Subtract memory contents from Accumulators - conserve contents - Increment AR1
AMA2	1 0 1 0	Add memory contents to Accumulator Registers - reset memory contents to zero - Increment AR1 - Increment AR2
SMA2	1 0 1 1	Subtract memory contents from Accumulator Registers - reset memory contents to zero - Increment AR1 - Increment AR2
TRP	1 1 0 0	Transmit-Receive Switch on
TPP	1 1 0 1	Transmit prepulse on (also TRP on)
TXP	1 1 1 0	Tx pulse (and prepulse) on - positive phase
TXN	1 1 1 1	Tx pulse (and prepulse) on - negative phase

Betrieb senden
256 Additionen und
Radarzyklen
Radarzyklus : $664 \mu\text{s}$

Dekodieren
und
Daten zum
Computer

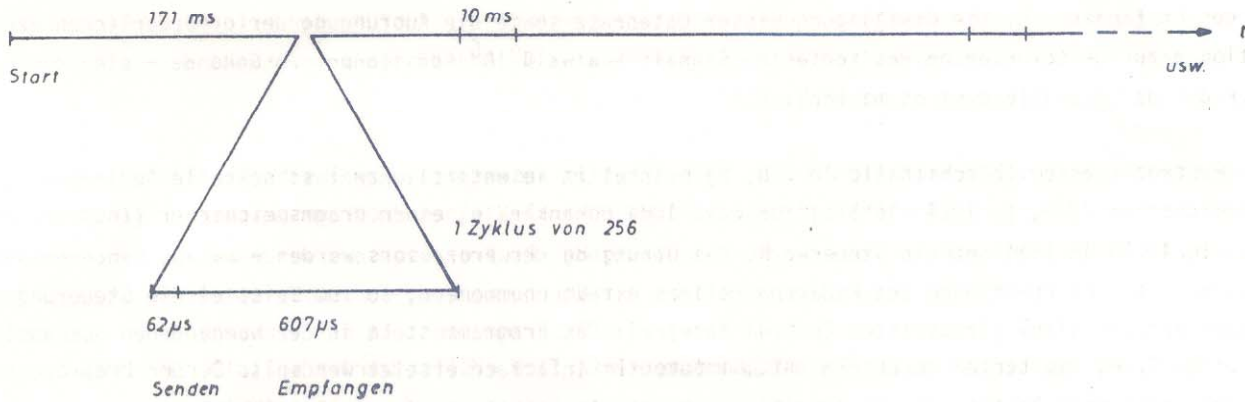


Abb. 10

Zeitsteuerung Preprozessor (Beispiel)

Abbildung 10 zeigt den Ablauf eines Programmbeispiels. Zunächst wird innerhalb von $62 \mu\text{s}$ der kodierte Puls gesendet (56-Bit-Code), danach werden $607 \mu\text{s}$ lang Echos abgetastet (704 Höhenstufen). Das wiederholt sich 256mal (entsprechend 171 ms), dann folgt eine Sendepause (10 ms), in der der Preprozessor den Dekodierprozeß vornimmt (19712 Additionen). Der Datentransfer zum Rechner (704 16-Bit-Worte) ist durch einen Output-Buffer so organisiert, daß keine Zeit durch die Overhead-Zeiten des Betriebssystems verloren-

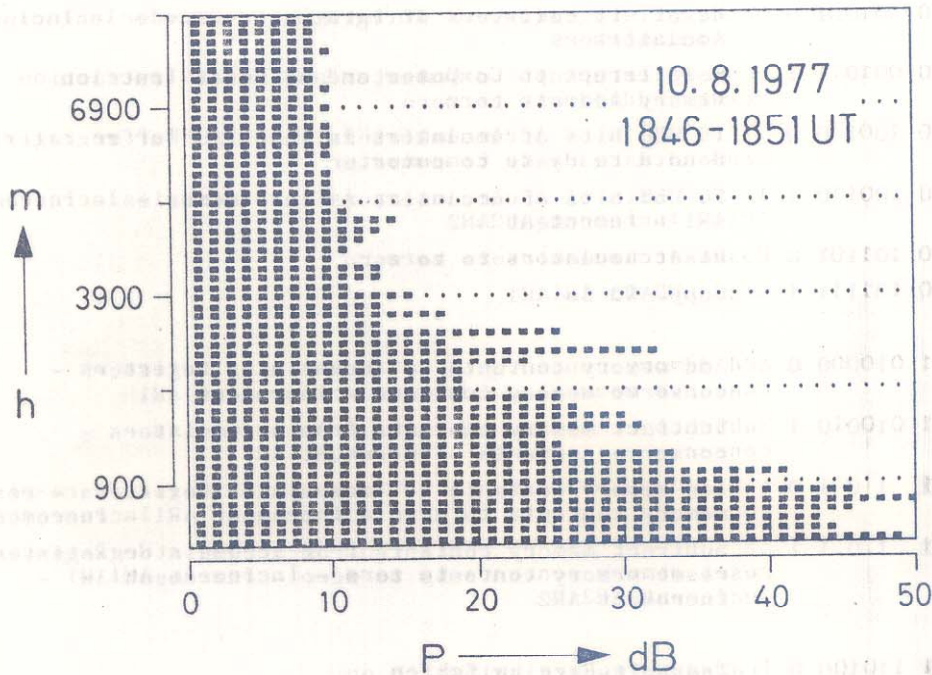


Abb. 11

Rückstreuprofil, gemessen am 10. Aug. 1977
im Sperrluttertal/Bad Lauterberg. Die Rück-
streuleistung ist in willkürlichen Einheiten
aufgetragen

geht und der Preprozessor sofort nach Errechnen des letzten Wortes in die Sendephase gehen kann. Der Datenstrom wird so reduziert von 40×10^6 Bit/s auf $62,2 \times 10^3$ Bit/s.

4. Ergebnisse

Die Abbildungen 11 und 12 zeigen als Ergebnis den Unterschied zweier Registrierungen, aufgenommen ohne und mit Preprozessor. Aufgetragen ist in willkürlichen Einheiten die Empfängereingangsleistung als Funktion der Höhe. In Abb. 11 bleibt oberhalb von 5400 m der Pegel, im wesentlichen Empfängerrauschen, konstant, dagegen zeigt Abb. 12, aufgenommen mit dem Preprozessor, wegen der höheren effektiven Sendeleistung durch die Barker-Kodierung und durch die Kammfilterwirkung der Mittelwertbildung noch in größeren Höhen Strukturen. Auch der Rauschpegel ist in größeren Höhen geringer.

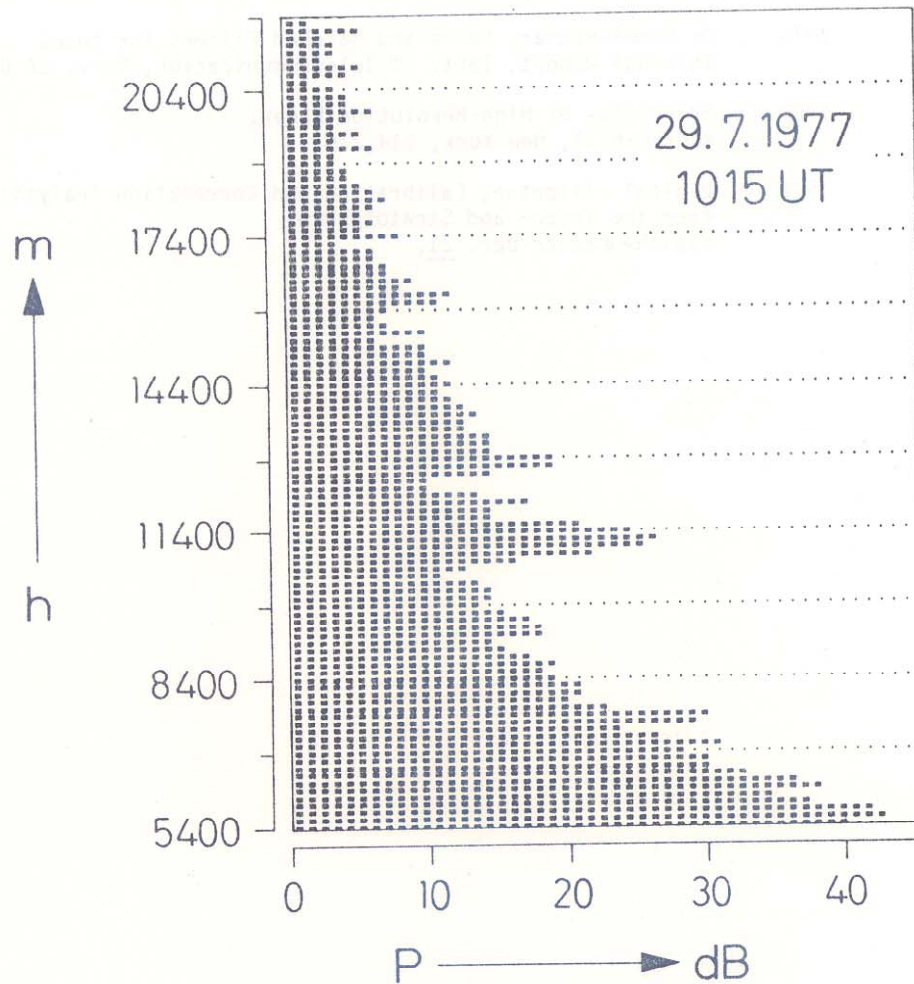


Abb. 12

Rückstreuprofil (gemessen 29. Juli 1977)
aufgenommen mit phasenkodiertem Radar-
signal und dekodiert und gefiltert mit
dem Preprozessor

Schrifttum

- Childers, D.G. 1977 Evoked Responses: Electrogenesis, Models, Meteorology, and Wavefront Reconstruction and Tracking Analysis. Proc. IEEE 65, 611-626.
- Czechowsky, P. 1977 Erforschung der Atmosphäre mit Radarmethoden. Vortrag Kleinheubacher Tagung.
- Klostermeyer, J.
Röttger, J.
Rüster, R.
Schmidt, G.
- Golay, M.J.E. 1961 Complementary Series. IRE Trans.-II, 82-87.
- Kugel, R.P. 1977 Der IDA-Preprozessor zum SOUSY-VHF-Radar. Interner Bericht, Inst. für Datenverarbeitung, Techn. Univ. Braunschweig.
- Leppänen, P. 1976 On Complementary Pairs and Matched Filters for them. Internal Report, Inst. of Telecommunication, Univ. of Oulu, Finland.
- Rihaczek, A.W. 1969 Principles of High-Resolution Radar. McGraw-Hill, New York, 214,216.
- Rüster, R.
Woodman, R.F. 1978 Digital Filtering, Calibration and Correlation Analysis of Radar Echoes from the Tropo- and Stratosphere. Kleinheubacher Ber. 21.