

Vorteile und Möglichkeiten von Signalprozessoren in der Funktechnik

Autor(en): **Fischer, K.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **77 (1986)**

Heft 11

PDF erstellt am: **11.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-904216>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Vorteile und Möglichkeiten von Signalprozessoren in der Funktechnik

K. Fischer

Die Verwendung von digitalen Signalprozessoren eröffnet in der Funktechnik neue Möglichkeiten, insbesondere bei der Sprach- und Bilddigitalisierung sowie bei der effektiveren Nutzung von Verbindungen mit Mehrfachwegsignalen. In der Radartechnik erlauben sie, durch die Auswertung weiterer Kriterien, wie z.B. die Polarisierung des reflektierten Signals, die Ermittlung der Radarsignatur des Zieles. Diese Vorteile werden in Zukunft die Hochfrequenztechnik immer enger mit der hochintegrierten, schnellen Digitaltechnik zusammenwachsen lassen.

L'emploi de processeurs numériques de signaux offre de nouvelles possibilités en radiotechnique, notamment pour le numérisation de la parole et de l'image, ainsi que pour une utilisation plus efficace de liaisons avec signaux multivoies. En technique de radar, ils permettent de déterminer le signe radar caractéristique de l'obstacle, par interprétation d'autres critères, tels que la polarisation du signal réfléchi. Ces avantages conduiront à un développement encore plus étroit de la technique en haute fréquence et de la technique numérique rapide hautement intégrée.

Der Aufsatz entspricht dem Fachreferat des Autors anlässlich des 20. Technischen Pressekolloquiums der AEG am 23./24. Oktober 1985 in Berlin.

Adresse des Autors

Dipl.-Ing. K. Fischer, Mitglied der Leitung des Geschäftsbereichs Hochfrequenztechnik, Ressort Entwicklung, D-7900 Ulm.

Signalprozessor

Seit einigen Jahren zeichnet sich in der Prozessdatentechnik eine Entwicklung ab, die den Signalprozessoren eine rasch wachsende Bedeutung auch in der Funktechnik voraussagen lässt [1].

Unter einem Signalprozessor versteht man einen in Echtzeit arbeitenden hochintegrierten Spezialrechner mit einer Leistungsfähigkeit von 10^6 bis 10^7 Multiplikationen pro Sekunde. Dafür sind etwa 50 000 Transistorfunktionen als schnelle Gatter auf dem Halbleiterchip erforderlich. Der Prozessor wird in CMOS-Silizium-Technologie mit Strukturen von weniger als $2\ \mu$ bis $3\ \mu$ ausgeführt, um Geräteabmessungen, Leistungsaufnahmen und Kosten in Grenzen zu halten. Signalprozessoren mit 2- bis $3\text{-}\mu$ -Strukturen und 16-Bit-Verarbeitung werden heute serienmässig angeboten und sind für einen grossen Teil der aktuellen Aufgabenstellungen verwendbar. Es gibt aber auch heute schon - in zwar geringerer Anzahl, aber mit systementscheidender Wirkung - Aufgaben, die eine 32-Bit-Verarbeitung und Strukturen von $1\ \mu$ und darunter erfordern. Nicht zuletzt deshalb läuft in den USA das Technologieprogramm für die Very High Speed Integrated Circuits (VHSIC).

Wie bei jeder Datenverarbeitung steht auch bei den Signalprozessoren die Software gleichgewichtig neben der Hardware. Deren Umfang ist selbstverständlich bei den unterschiedlichen Aufgaben sehr verschieden; er dürfte sich üblicherweise im Bereich von 500 bis 8000 Befehlen, d. h. im Bereich von 1,5 kbyte bis 16 kbyte bewegen.

Bei allen Anwendungen von Signalprozessoren in der Funktechnik oder bei ähnlichen Aufgaben ist der Analog/Digital-Wandler ein entscheidender Baustein. Der Dynamikbereich auf der analogen Seite erfordert auf der di-

gitalen Seite für jeden Abtastwert eine 12- bis 14-Bit-Ausgabe. Die Abtastfrequenz wird durch die Aufgabenstellung vorgeschrieben, ist aber durch die technischen Möglichkeiten begrenzt. Sie liegt bei den heute erkennbaren Anwendungen im Bereich von 50 kHz bis 20 MHz. Für Anwendungen wie Breitbandübertragung und Radartechnik werden jedoch in Zukunft erheblich höhere Abtastfrequenzen gefordert werden, wobei eine wesentliche technologische Problematik in der Abtastfunktion, der Sample- und Hold-Schaltung, liegt. Da diese Funktion grösstenteils analog ist, ist der A/D-Wandler eine Kombination aus analoger und digitaler Technik. Für schnelle A/D-Wandler ist die BICMOS-Silizium-Technologie besonders aussichtsreich. Bei diesem von Telefunken angewandten Verfahren handelt es sich um eine Verbindung der Bipolar- mit der CMOS-Technologie. Auf weitere Sicht könnte dafür auch eine Gallium-Arsenid-(GaAs-)Technologie in Frage kommen.

Digitalisierung hochfrequenztechnischer Funktionen

Funkempfänger aller Bauarten bestehen, vereinfacht dargestellt, aus einem Hochfrequenz-Empfangsteil mit einem Ausgang auf einer Zwischenfrequenz, einer daran anschließenden Selektion mit Demodulation und aus einem Niederfrequenzteil, der die empfangenen Signale an Lautsprecher oder Datenendgeräte ausgibt. Bei Kurzwellenempfängern und Peilern liegt die Zwischenfrequenz beispielsweise bei 200 kHz. Die bei diesen Geräten erforderlichen Selektionsmittel mit Bandbreiten von 0,2 bis 12 kHz in acht Stufen werden mit der entsprechenden Anzahl von mechanischen Filtern realisiert. Da Peiler zwei oder

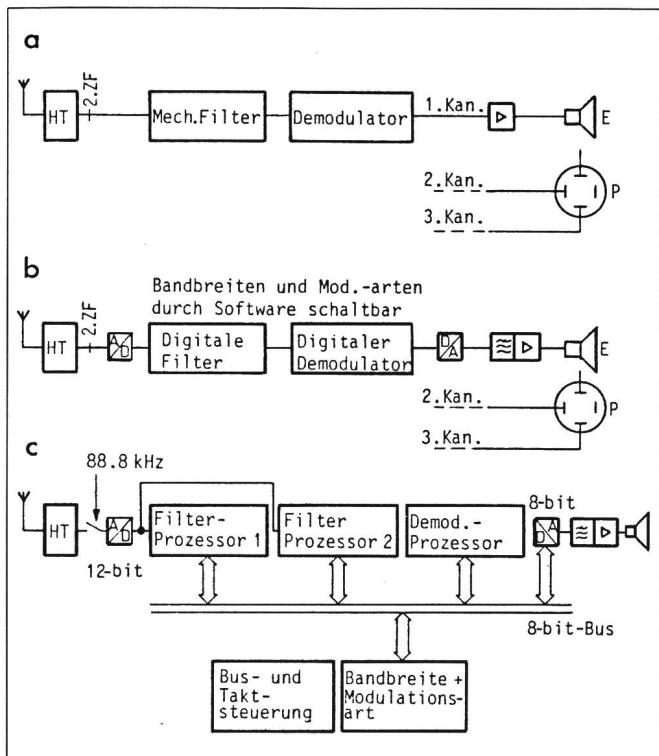


Fig. 1
Entwicklung bei den Kurzwellenempfängern und Peilern

- a analoger Empfänger/Peiler
- b Prinzip eines teilweise digitalisierten Empfängers/Peilers
- c Funktionsmuster für einen Empfänger mit drei Signalprozessoren

und bis zu 100 000 Frequenzeinstellungsmöglichkeiten gefordert, wobei die letzteren über eine Schnittstelle ansteuerbar sein sollen. Ein Beispiel einer digitalen Lösung für eine Ausgangsfrequenz von 40 bis 60 kHz in Schritten von 1 Hz zeigt die Figur 3. Als Modulationstechnik bietet sich die Frequenzumtastung an, welche sich durch sehr kurze Einschwingzeiten auszeichnet. Bei dem vorliegenden Funktionsmuster kann die Ausgangsfrequenz als Trapez- oder Dreiecksfunktion gewählt werden; die darin enthaltenen Harmonischen sind hier nicht von Belang. Das Rechenwerk mit etwa 2500 Gattern wurde als CMOS-Gate-Array in Form eines einzigen Bauteils realisiert. Die Taktfrequenz beträgt 10 MHz bei der Trapez- und 4 MHz bei der Dreiecksfunktion. Höhere Ausgangsfrequenzen werden bei gleicher Funktion mit höheren Taktfrequenzen und entsprechend schnellerer Halbleitertechnologie erreicht.

drei solcher Empfangszüge benötigen, enthalten sie bis zu 24 mechanische Filter. Die Figur 1 zeigt die Entwicklung bei den Kurzwellenempfängern und Peilern vom analogen System bis zum vollintegrierten mit Signalprozess-

soren. Der Hardwareaufwand und damit auch der Platzbedarf ist bei letzterem wesentlich niedriger (Fig. 2) als bei den bisherigen Lösungen. Bei Peilern wird die Messgenauigkeit stark von der Amplituden- und Phasengleichheit der zwei bis drei Empfangszüge beeinflusst. Diese ist bei Verwendung von Signalprozessoren wirtschaftlicher zu erreichen als mit analogen Filtern.

Ein weiterer wichtiger Systemteil eines Funkgerätes ist die Frequenzerzeugungsschaltung (Synthesizer). Von dieser werden hohe spektrale Reinheit

Digitaler Empfänger

Verlagert man noch mehr Empfängerfunktionen auf die digitale Seite, indem man den A/D-Wandler im Extremfall bis zur Antenne vorschiebt, gelangt man schliesslich zum voll digitalen Empfänger [2]. Da am Ausgang des A/D-Wandlers sämtliche Empfangsfrequenzkanäle zur Verfügung stehen, kann man diese nach der Methode der schnellen Fouriertransformation (FFT) selektieren, so dass alle gleichzeitig zur Verfügung stehen. Damit ist der Aufbau von Vielkanal-Parallel-Empfangs- und -Peilanlagen

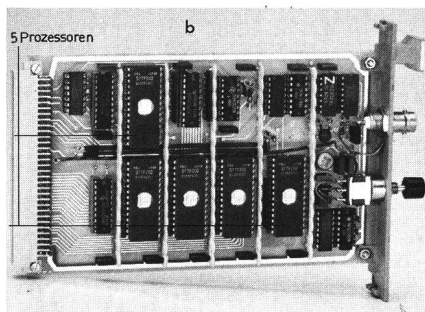
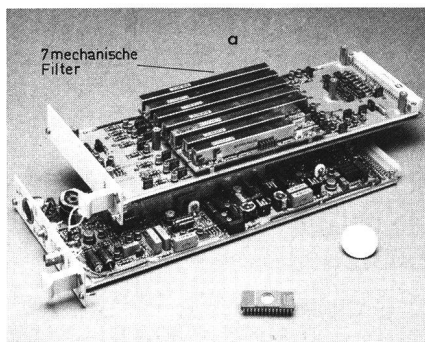
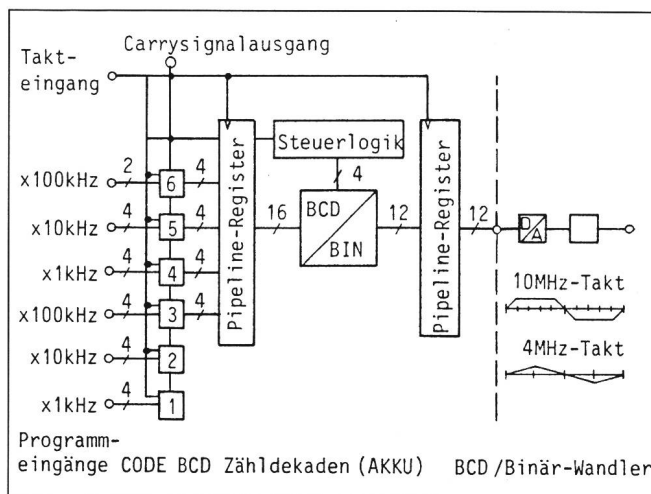


Fig. 2 Zweiter ZF- und NF-Teil des Peilers TELEGON 8

- a Analoge Lösung: 1 Kanal ohne Demodulation
- b Digitale Lösung: 1 Kanal mit Demodulation

Fig. 3
Digitaler Synthesizer
40...60 kHz



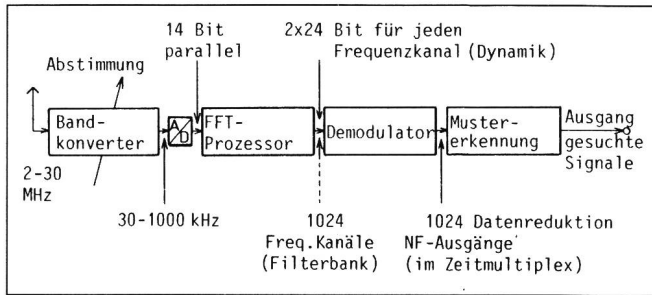


Fig. 4
Vielkanalparallelempfang mittels schneller Fouriertransformation

ebenfalls hoher Sprachqualität und niedrigerer Übertragungsgeschwindigkeit eine noch umfangreichere Signalverarbeitung und dementsprechend leistungsfähigere Signalprozessoren.

Schmalband-Bildübertragung

Die Übertragung von Fernsehbildern für alle Zwecke ausserhalb des öffentlichen Fernsehens erfolgt heute fast ausschliesslich über Kabel, in Einzelfällen über Funkverbindungen. Dabei ist die notwendige grosse Bandbreite von 2 bis 10 MHz für viele Anwendungen ein Hindernis. Schon seit langer Zeit sind daher, insbesondere für das öffentliche Fernsehen, Bemühungen im Gang, nur die Änderungen des Bildinhalts zu übertragen und dadurch die erforderliche Bandbreite beachtlich zu vermindern. Dies bietet sich an, weil bei einigen Szenen beispielsweise Teile des Hintergrundes über lange Bildfolgen dieselben bleiben.

Erst der Einsatz einer leistungsfähigen Prozessdatenverarbeitung einschliesslich einer entsprechenden Speicherkapazität (ein 625-Zeilenbild mit 16 Grau- und Farbstufen enthält etwa 1,5 MBit) ermöglicht eine Realisierung eines derartigen Systems. Stark vereinfacht dargestellt, wird durch die Verarbeitung die Datenrate auf die Änderungen des Bildinhalts eingestellt und nach einer Pufferung mit konstanter Übertragungsgeschwindigkeit abgegeben. Die Signalverarbeitung und damit die Signalprozessoren sind ähnlich denen des RELP-Verfahrens.

Die bisherigen Arbeiten zeigen, dass solche Anordnungen mit einer Übertragungsgeschwindigkeit von 10 bis 20 kbit/s voraussichtlich Szenenübertragungen mit Wechselbildabständen von etwa einer Sekunde ermöglichen werden. Das dürfte bei der Beobachtung unbemannter Objekte ausreichend sein, um beispielsweise nach einer automatisch abgegebenen Alarmmeldung das Geschehen zu analysieren. Mit einer Übertragungsgeschwindigkeit von 200 bis 300 kbit/s kann man ein Fernsehbild übertragen, das sich nur wenig von der Qualität des öffentlichen Fernsehens unterscheidet.

Auflösung von Mehrfachwegsignalen

Bei fast allen Funkübertragungen auf der Erde gibt es nicht nur einen,

möglich [3]. Das in Figur 4 gezeigte Beispiel für 1024 Frequenzkanäle von je 1 kHz Bandbreite wurde vor einigen Jahren von AEG realisiert. Solche Anlagen werden für die unterbrechungslose Überwachung einer sehr grossen Anzahl von Frequenzkanälen eingesetzt. Da diese wie bei einer analogen Filterbank (1024 Filter) ständig durchgeschaltet sind, ist die Erfassungswahrscheinlichkeit auch für kurze Signale 100%, im Gegensatz zu den sonst üblichen, allerdings weniger aufwendigen Suchverfahren, bei denen die Frequenzkanäle nacheinander auf einen einzigen oder einige Empfangszüge geschaltet werden.

Für die bei dieser Anwendung verlangte, sehr leistungsfähige, schnelle Fouriertransformation stehen heute noch keine integrierten Signalprozessoren zur Verfügung. Die Anlagen wurden daher in ECL- und neuerdings auch in TTL-Logik aufgebaut, was in Anbetracht des ortsfesten Einsatzes nicht hinderlich war. Sobald aber einmal eine genügend schnelle, leistungs- und raumsparende CMOS-Technologie zur Verfügung stehen wird, werden digitale Empfänger ein breites Anwendungsfeld finden. Es wird von Überwachungsaufgaben bis zu Frequenzmultiplexsystemen mit - zumindest am Anfang noch - niedrigen Frequenzkanalzahlen reichen.

Frequenzökonomie

Die Übertragung von Sprache in digitaler statt analoger Form bietet zahlreiche Vorteile. In der Leitungsübertragungstechnik werden diese durch Einführung der ISDN¹-Netze genutzt, welche mit Pulsmodulation bei einer Datenrate von 64 kbit/s arbeiten. Diese verhältnismässig hohe Datenrate liefert bei relativ wenig Aufwand

eine hohe Sprachgüte. Wegen der verlangten Frequenzökonomie und der vorgegebenen Rauschabstände ist dieses Verfahren aber bei der Funkübertragung im allgemeinen nicht anwendbar. In der Vergangenheit wurde in der Funktechnik die mit ebenfalls geringem Aufwand realisierbare Deltamodulation bei 10 bis 20 kbit/s (im VHF/UHF-Bereich) und das mit hohem Aufwand verbundene Verfahren des Kanalvocoders bei 2,4 kbit/s verwendet. Beide Anordnungen führen zu einer Sprachgüte, die nicht immer ausreichend ist oder zumindest geübte Sprecher erfordert.

Ohne diese Nachteile und mit guter Frequenzökonomie arbeitet das SBC²-[4] und das RELP³-Verfahren [5; ...; 9]. Das erstere arbeitet mit einer Übertragungsgeschwindigkeit von etwa 10 kbit/s (vorteilhaft für VHF/UHF), das letztere im Bereich 2,4 kbit/s bis 4,8 kbit/s. Beim SBC-Verfahren wird das Sprachsignal über die A/D-Wandlung in mehrere Teilbänder zerlegt, wobei die Codierung für jedes Teilband mit adaptiver Bitzuteilung erfolgt. Dabei wird bei gleichbleibender, serieller Datenübertragungsgeschwindigkeit den augenblicklich für die Sprachqualität wichtigsten Teilbändern eine höhere Kapazität auf Kosten weniger wichtiger (z. B. solcher mit weniger Energieinhalt) zugeteilt. Der Multiplexer fügt dann die einzelnen Kanäle zu einem Summenkanal mit der endgültigen Übertragungsgeschwindigkeit zusammen. Die hochintegrierte Realisierung erfolgt in wirtschaftlicher Weise dadurch, dass für Sendefilterbank, Empfangsfilter, Codierung/Decodierung und für den Duplexbetrieb insgesamt vier Signalprozessoren verwendet werden.

Das hier nicht näher zu besprechende RELP-Verfahren erfordert bei

² SBC Sub Band Coding

³ RELP Residual Excited Linear Predictive Coding

¹ ISDN Integrated Services Digital Network

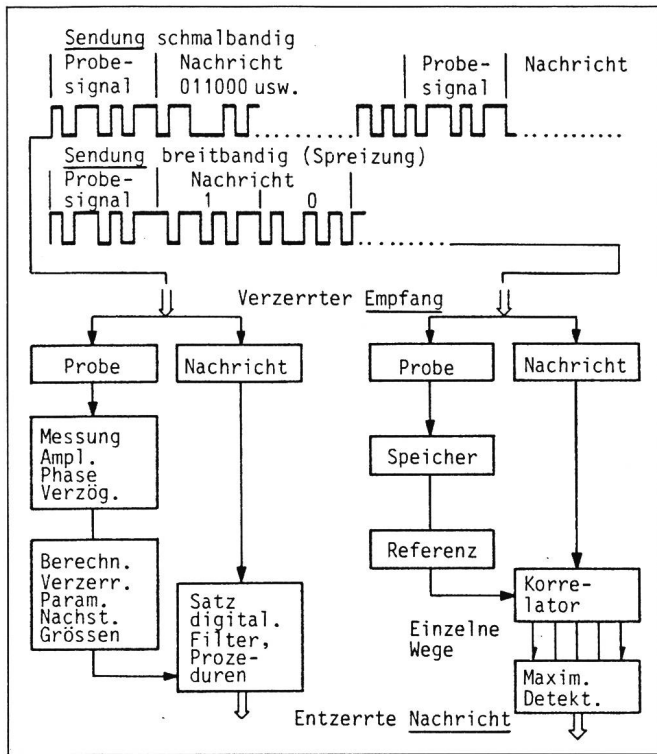


Fig. 5
Mehrfachwegauflösung

wege einen Diversity-Effekt einschliesst, kommt man mit einer etwa 10 dB geringeren Sendeleistung aus. Dies entspricht etwa dem Zweifach-Diversity-Empfang bei den konventionellen Übertragungsverfahren.

Identifikation von Radarzielen

Das Problem der Mehrfachwegausbreitung existiert auch in der Radartechnik, und zwar sobald die Abmessungen der geometrischen Struktur des erfassten Zieles in den Bereich der Wellenlänge kommen [10]. Vereinfacht dargestellt entstehen zwei Ausbreitungswege unterschiedlicher Länge dadurch, dass das Radarsignal an der Vorder- und an der Rückseite des Zieles reflektiert wird und dadurch eine Interferenz mit im Prinzip ähnlichen Erscheinungen wie bei der Zweifachübertragung verursacht. Deren Auswirkung auf die notwendige Empfangsfeldstärke berücksichtigt man durch den sogenannten Swerling-Faktor⁴, der etwa den Auswirkungen des Raleigh-Schwundes⁵ bei der Funkübertragung entspricht. Durch Auflösung der zwei (oder mehr) Ausbreitungswege des Radarsignals kann auf die geometrische Struktur des erfassten Zieles geschlossen werden. Da die Polarisation des gesendeten Signals bekannt ist, können aus dem Vergleich der abgestrahlten Polarisation mit der Polarisation der einzelnen, aufgelösten Wege des reflektierten Signals weitere Informationen gewonnen werden. Durch Messung dieser und unter Umständen weiterer Parameter des Zieles erhält man damit die Radarsignatur des Zieles, eine Art Radarbild, die dessen Identifikation gestattet. Die Radarsignatur muss mit dem optischen Bild nicht identisch sein.

Es ist leicht einzusehen, dass die Verarbeitung des Radarsignals zur Ermittlung der Radarsignatur eine leistungsfähige Prozessdatenverarbeitung voraussetzt. Weiterhin ist zu bedenken, dass ein Laufwegunterschied von 3 m einen sehr kleinen Laufzeitunterschied von nur 10 ns ergibt; dies zeigt, welche Anforderungen an die

⁴ Swerling-Faktor: Berücksichtigung der Änderung des Radar-Rückstrahlquerschnitts bei sich bewegenden Zielen

⁵ Raleigh-Schwund: Beim Auftreten von Interferenzschwund infolge von Mehrfachwegsignalen folgt die Summenhäufigkeit der Empfängereingangsspannung der Raleighverteilung.

sondern zwei oder meist noch mehr Ausbreitungswege. Sie bilden am Empfangsort ein Interferenzfeld [10]. Unter 30 MHz erfolgt die Reflexion an der Ionosphäre, wobei die von dort zurückkommende Raumwelle mit der Bodenwelle interferiert. Noch häufiger bilden sich mehrere Raumwellen mit unterschiedlichen Weglängen aus. Oberhalb 30 MHz treten dieselben Erscheinungen infolge von Reflexionen an Bergen oder Gebäuden auf. Diese führen zum Interferenzschwund, bei dem in den Feldstärkenminima der notwendige Signal- zu Rauschabstand unterschritten wird. Hierdurch entstehen bei Digitalübertragung Bitfehler infolge Bitüberlappungen, was die maximale Übertragungsgeschwindigkeit auf 200 bit/s bei der Ionosphärenausbreitung unter 30 MHz und auf 16 kbit/s bei Ausbreitung in reflektierender Umgebung über 30 MHz begrenzt. Diese Grenzen werden durch die Mehrfachwegauflösung aufgehoben (Fig. 5). Dazu gibt es zwei Möglichkeiten:

- Bei schmalbandiger Sendung (unter 30 MHz) wird vor jeder Nachricht ein bekanntes Probesignal gesendet, aus dem bei verzerrtem Empfang die Verzerrungsparameter (Amplituden-, Phasen- und Verzögerungsverhalten) und daraus die Nachstimmgrößen für die Nachricht ermittelt werden. Diese werden einem

Satz digitaler Filter zugeführt, die damit aus den Eingangssignalen die entzerrte Nachricht defektieren.

- Bei der breitbandigen Sendung (Spreizung) wird das verzerrt empfangene Signal nach dem Probesignal einer Anzahl Korrelatoren zugeführt. Durch die Zusammenfassung von deren Ausgangssignalen wird die Nachricht wieder hergestellt. Die Anzahl der Korrelatoren entspricht der Anzahl Wege, die auszuwerten sind.

Das beschriebene Schmalbandverfahren erlaubt eine Übertragungsgeschwindigkeit von 4,8 kbit/s und damit eine Kurzwellen-Digitalübertragung von Sprache, die mit dem RELP-Verfahren digitalisiert und erforderlichenfalls verschlüsselt worden ist (Echotel). Das Breitbandverfahren wird beim mobilen Autotelefonnetz CD 900 [11] genutzt, um die hohe Zahl von Kanälen im Zeitmultiplexbetrieb mit 4 MBit/s ausstrahlen zu können. Diese Betriebsart bietet bei hoher Teilnehmerzahl entscheidende Vorteile gegenüber dem bei Netzen mit weniger Teilnehmern üblichen Frequenzmultiplexbetrieb.

Da die Mehrfachwegauflösung die Auswirkung der in Interferenzfeldern entstehenden Feldstärkeminima korrigiert und durch stets phasenrichtige Addition der einzelnen Ausbreitungs-

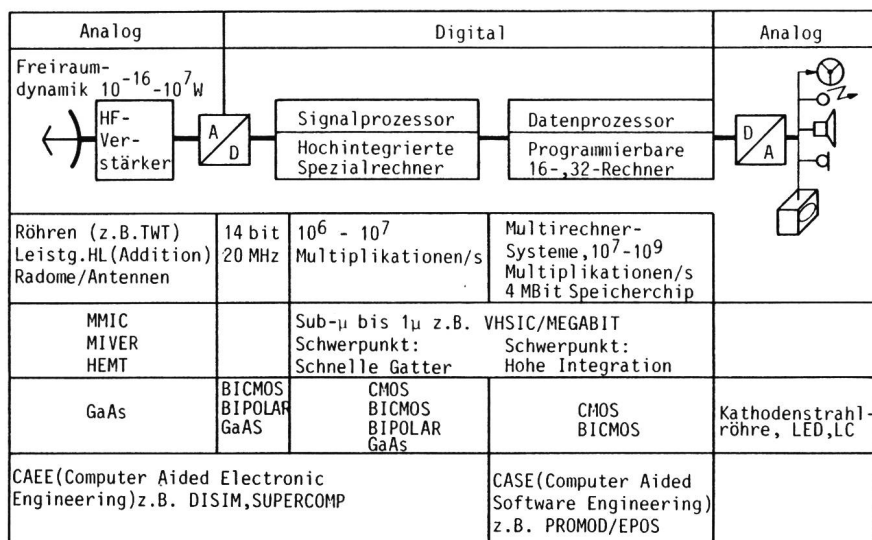


Fig. 6 Technologie zukünftiger Funk- und Radaranlagen

technischen Probleme, weil seine Leistungsfähigkeit sich am verhältnismäßig engen Dynamikbereich und an der Aufnahmefähigkeit des Menschen – beispielsweise nicht mehr als 100 Bd beim Lesen von Text – orientiert. Auch bei den anderen aufgeführten Mensch-Maschinen-Schnittstellen ergeben sich nicht wesentlich höhere Datenraten.

Literatur

- [1] K. Fischer: Hochfrequenztechnik und Prozessdaten-technik: zwei immer enger zusammenwachsende Disziplinen. *Elektroniker* - (1981)15, S.EL 16...EL 21.
- [2] K.R. Fink und F. Hölzel: Empfangskonzept für einen digitalen Empfänger. *NTZ Archiv* 5(1983)12, S.353...358.
- [3] W. Schaller: Verwendung der schnellen Fouriertransformation in digitalen Filtern. *NTZ* 27(1974)11, S.425...431.
- [4] A. Kaltenmeier und M. Proegler: A subband coder for digital speech transmission in the digital cellular radio telephone system CD 900. *Nordic Seminar for Digital and Mobile Radiocommunication, Espoo/Finland, February 1985.*
- [5] H. Katterfeldt: A DFT-based residual-excited linear predictive coder (REL P) for 4.8 and 9.6 kb/s. *IEEE Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Atlanta, 1981. Conference Report 1981, vol. 2, p. 824...827.*
- [6] H. Katterfeldt and E. Behl: Implementation of a robust REL P speech coder. *IEEE Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Boston, 1983. Conference Report 1983, vol. 3, p. 1316...1319.*
- [7] A. Kaltenmeier: Implementation of various LPC algorithms using commercial digital signal processors. *IEEE Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Boston, 1983. Conference Report 1983, vol. 2, p. 487...490.*
- [8] A. Kaltenmeier: Ein modifizierter Signalprozessor für die Berechnung der Autokorrelationsfunktion. *Internationaler Kongress Mikroelektronik, München, November 1982.*
- [9] A. Kaltenmeier: Anwendung programmierbarer Signalprozessoren bei der Verarbeitung von Sprachsignalen. *Vortrag vor NTG-Fachausschuss 17, Berlin, März 1982.*
- [10] K. Fischer: Ausbreitung und Reflexion elektromagnetischer Wellen aus der Sicht militärischer Funksysteme. *Jahrbuch der Wehrtechnik* 15(1985).
- [11] W. Schaller: Mobilfunk-System CD 900. Teil 2: Preiswerte Mobilgeräte in hochintelligenter Technik. *Mikrowellen-Magazin* 11(1985)1, S. 71...73.

Verarbeitungsgeschwindigkeit gestellt werden. Erst der Einsatz leistungsfähiger Signalprozessoren ermöglicht die Ermittlung der in vielen Fällen eminent wichtigen Radarsignatur auch durch Radaranlagen von Flugzeugen oder Flugkörpern. Mit den bisherigen, relativ noch wenig integrierten und nicht so leistungsarmen Halbleitertechnologien ist dies heute normalerweise nur bei Bodenanlagen möglich.

Schlussbemerkung

Die Anwendung der Signalprozessoren in einem verallgemeinerten Umfeld zeigt die Figur 6. Die Eingänge von Funkanlagen, Radaranlagen, In-

frarotsystemen sowie von Torpedo- und Minensensorsystemen sind analog; und der Dynamikbereich kann bis zu 25 Zehnerpotenzen betragen. Die beschriebene digitale Signalverarbeitung verlangt einen A/D-Wandler von entsprechend hoher Auflösung (14 bit) und Geschwindigkeit (20 MHz). Zum Signalprozessor gehört ein Datenprozessor, bei dem es sich meist um einen programmierbaren 16- oder 32-Bit-Rechner handelt. Da der Mensch Signale nur analog aufnehmen kann, ist für die Ausgabe über Lautsprecher oder Sichtgerät bzw. für die Eingabe über Mikrofon oder Fernbedienung ein A/D- bzw. D/A-Wandler erforderlich. Dieser bietet keine besonderen