Kommunikation in Verteilten Systemen

Anwendungen, Betrieb, Grundlagen
GI/NTG–Fachtagung
Aachen, 16.–20. Februar 1987
Proceedings

Herausgegeben von
N. Gerner und O. Spaniol

Die Veranstaltung wurde unterstützt von:

RWTH Aachen
KFA Jülich

Aachener Bank
GEI gesytec, Aachen
GEI Rechnersysteme, Aachen
Informatik-Forum, Aachen
Nixdorf AG, Paderborn
Siemens AG, München
Volkswagenwerk Wolfsburg

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo

ÜBER ORGANISATION UND LEISTUNGSKENNGRÖSSEN EINES DEZENTRAL ORGANISIERTEN FUNKSYSTEMS

Bernhard Walke, Datenverarbeitungstechnik, FB Elektrotechnik, Fernuniversität Hagen

Kurzfassung

Der Beitrag beschreibt Funktion und Übermittlungstechniken eines digital übertragenden Multihop-Kommunikationssystems mit intelligenten, dezentral gesteuerten, mobilen Stationen. Anhand bisher bekannter Leistungsaussagen über Teilaspekte des Systems wird deutlich, daß derartige Systeme weitgehend unerforscht sind; einige ungelöste Probleme werden im Ansatz vorgestellt.

1. EINLEITUNG

Der zunehmende Bedarf nach freizügiger Kommunikation von Personen untereinander und mit ortsfesten Datenspeicher- bzw. Verarbeitungsanlagen motiviert dazu, über neuartige technische Realisierungsmöglichkeiten für mobile Anwendungen nachzudenken. Bekannt ist, daß die gegenwärtig im Mobilfunk angewandten Übertragungstechniken und die bei den eingesetzten Übertragungsfrequenzen verfügbaren Übertragungskapazitäten - gemessen in gleichzeitig möglichen Kanälen - eng limitiert sind. Bekannt ist auch, daß zukünftige Funkübertragungssysteme durch entsprechende Fortschritte der Digitaltechnik Information digital anstelle wie bisher analog übertragen werden. Dabei wird pro Kanal eine Datenübertragungsrate verfügbar werden wie sie erforderlich ist, um die Sprachqualität des diensteintegrierenden digitalen Netzes (ISDN) zu gewährleisten.

Anstelle der heutigen, analog übertragenden Fernsprech-Funkkanäle, die eine Datenübertragungsrate von bestenfalls 2,4 kbit/s zulassen, werden digitale Funkkanäle mit Raten von 16 oder 32 kbit/s für Sprache bzw. Daten verfügbar sein. Abgesehen von einer Herabsetzung der Übertragungsrate durch redundanzarme Kodierung bei Sprache bzw. einer Einschränkung der Übertragungsrate für Daten bei Benutzung des Funknetzes, werden zum ISDN kompatible Zeitmultiplexverfahren zur Funkübertragung eingesetzt werden. Derartige Systeme für einen flächendeckenden Einsatz befinden sich zur Zeit in der Entwicklung. Man kann sie, verglichen mit dem heutigen Zustand, als breitbandig digital übertragende Funknetze bezeichnen. Ähnlich wie ISDN-Nebenstellenanlagen oder lokale Netze sind digital übertragende lokale Funknetze Vorläufer von flächendeckenden Fernnetzen. Als Inselnetze sind sie evtl. über Gateway an ein leitungsgebundenes öffentliches Netz angeschlossen. In solchen lokalen Funknetzen treten z.T. gleiche bzw. ähnliche Probleme wie in größeren Netzen auf und auch deshalb lohnt sich deren Untersuchung.

Im Unterschied zu den bisher vorhandenen Funkbündelnetzen ist am betrachteten System bemerkenswert, daß es völlig dezentral organisiert ist. Die Stationen verfügen über entsprechend leistungsfähige Prozessoren, um eigene Sprach- und Datenendgerate über Funk mit anderen zu verbinden und die als Voraussetzung dafür erforderlichen netz- und und teilnehmerbezogenen Informationen dezentral zu ermitteln und zu verwalten. Übertragungstechnische Details sind in /1/ dargestellt.

Nach Vorstellung von topologischen und übermittlungstechnischen Aspekten in Kapitel wird in Kapitel 3 die Funktionsweise des Systems beschrieben. Kapitel 4 behandel Leistungskenngrößen und Optimierungsziele und nennt einerseits bereits bekannte Er gebnisse, andererseits stellt es eine Vielzahl ungelöster Probleme dar. De abschließende Ausblick zeigt den Zusammenhang zwischen den diskutierten Systemen ur zukünftigen öffentlichen Mobilfunknetzen.

2. TOPOLOGIE- UND ÜBERMITTLUNGSTECHNIKEN

2.1 TOPOLOGIE DES FUNKSYSTEMS

Das System kann als lokales Netz angesehen werden, bei dem in gegenseitiger Fun reichweite r befindliche Stationen wie über einen Bus untereinander verbunden sin Im allgemeinen, für das System typischen Fall erreichen sich nicht alle Statior direkt untereinander, so daß ein lokales Netz mit mehreren Bussen vorliegt, Bild Stationen, die zwei oder mehrere Busse gleichzeitig erreichen, fungieren als Brücl Beispiele solcher als Relais bezeichneten Brücken sind die Stationen S2, S4 und In der vorliegenden Anwendung verkehren die Stationen überwiegend verbindungsori tiert miteinander, wobei Verbindungen häufig über mehrere Teilstrecken (Hops) dazwischenliegenden Relais laufen.

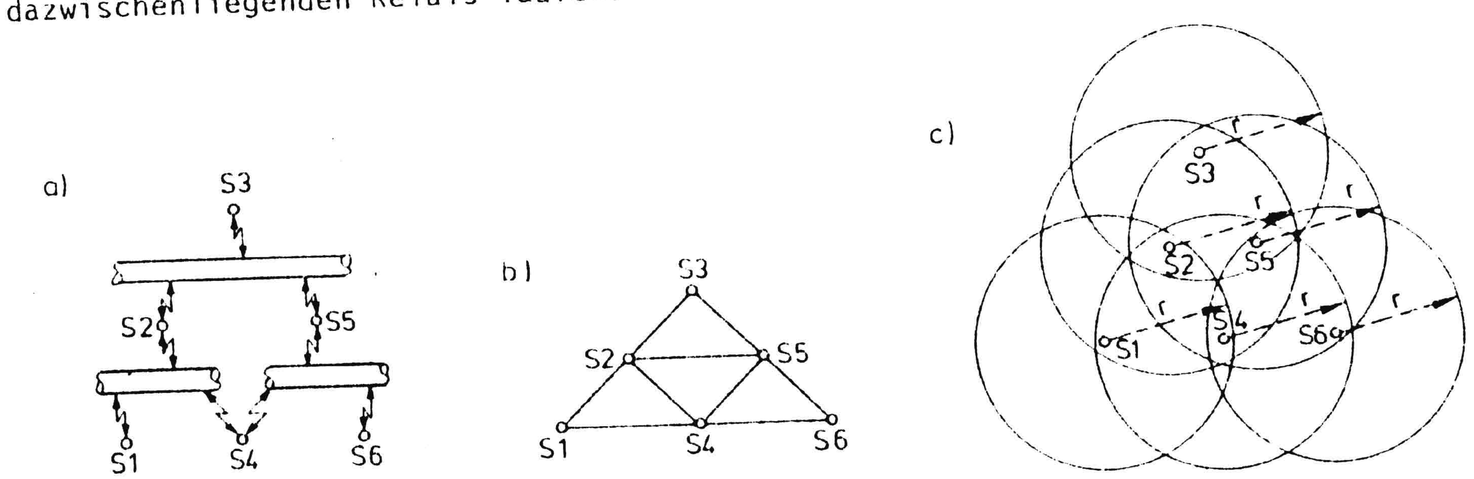


Bild 1: Ein teilvermaschtes Funknetz
a) Mehrfach unterbrochener Bus mit abschnittsweiser Nutzung.
b) Konnektivitätsgraph
c) Darstellung mittels Sende-/Empfangsradius r der Stationen

Das System überträgt also überwiegend mittels multihop-Verbindungen, wobei R Vermittlungsfunktionen ausführen (insbesondere Verbindungen routen und die zuge gen Daten vermitteln). Zur Organisation des Funk-Kanalbündels sind ein oder me Organisationskanäle vorgesehen, die nach üblichen Vielfachzugriffsverfahre Zeitmultiplex genutzt werden.

Die möglichen direkten und multihop-Verbindungen kann man in einem Konnektivitätsgraphen darstellen, Bild 1b. Eine vergleichbare, aber weniger anschauliche Darstellung zeigt Bild 1c, aus der über die gegebene flächenmäßige Anordnung der Stationen und den Sende-/Empfangs(S/E-)Radius r der Konnektivitätsgraph ermittelt werden kann. Im betrachteten System sind die Stationen genügend dicht beieinander, aber zufällig verstreut angenommen, andernfalls liegen getrennte Netze vor.

2.2 ÜBERMITTLUNGSTECHNIKEN

Ein Übertragungskanal wird im betrachteten System durch Kombination unterschiedlicher Multiplextechniken realisiert, Bild 2. Durch Frequenzmultiplex werden ein oder mehrere sog. Frequenzbänder gebildet. In einem Frequenzband können statisch ein oder mehrere Kanäle durch das SYNCHRONE Zeitmultiplex (STDM)-Verfahren erzeugt werden. Man kann jedoch auch die Übertragungskapazität eines Bandes oder Zeitmultiplexkanals dynamisch nach Bedarf verfügbar machen, dann spricht man vom ASYNCHRONEN (oder auch statistischen) Zeitmultiplex(ATDM)-Verfahren. Beide Verfahren, sowie die beim STDM-Verfahren in Relais eines vermaschten Netzes erforderlichen Vermittlungsfunktionen, bzw. die beim ATDM-Verfahren üblichen Übermittlungsprotokolle sind in /2/ beschrieben.

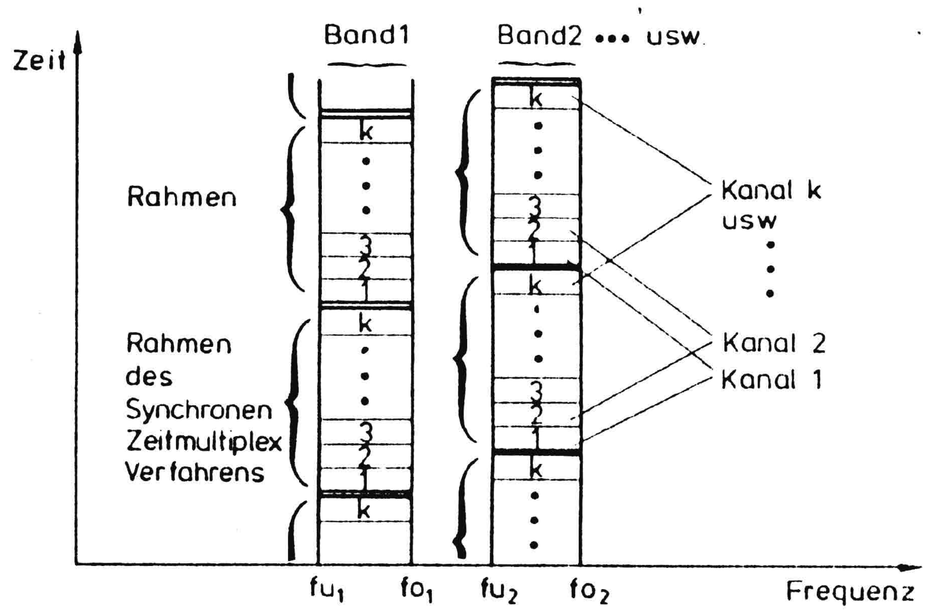


Bild 2: Kombination von Frequenz- und Zeitmultiplextechniken zur Kanalbildung

Das System verwendet also eine Kombination verschiedener Multiplexverfahren zur Übertragung BILD 3. Für den Zugriff auf verbindungsorientiert betriebene Kanäle bzw. auf den verbindungslos betriebenen Organisationskanal sind Vielfachzugriffsprotokolle vom CSMA- bzw. Slotted-ALOHA-Typ vorgesehen. Evtl. kommen auch Polling-Protokolle in Betracht. Wie BILD 4 zeigt, verfügt das lokale Funkbündelnetz über Kanäle mit drei unterschiedlichen Übermittlungstechniken, nämlich mit Vielfachzugriff (radio packet switching) und mit Kanal- bzw. Paketvermittlung. Gemeinsam bilden diese Kanäle, wie BILD 5 zeigt, ein digital übertragendes Funkkanalbündel, in dem jeder Kanal u.U. echt gleichzeitig MEHRFACH zur Übertragung genutzt werden kann. Die Möglichkeit der Mehrfachnutzung rührt daher, daß Stationen untereinander nicht voll - sondern nur teil-

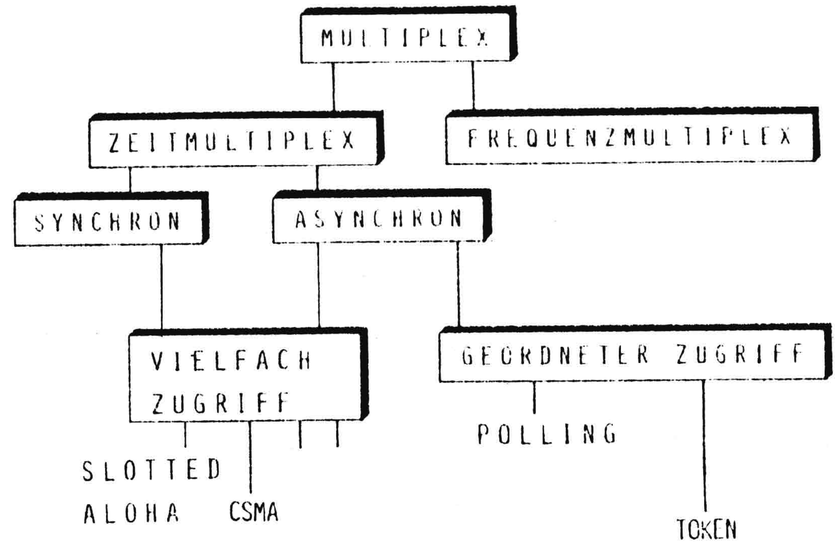
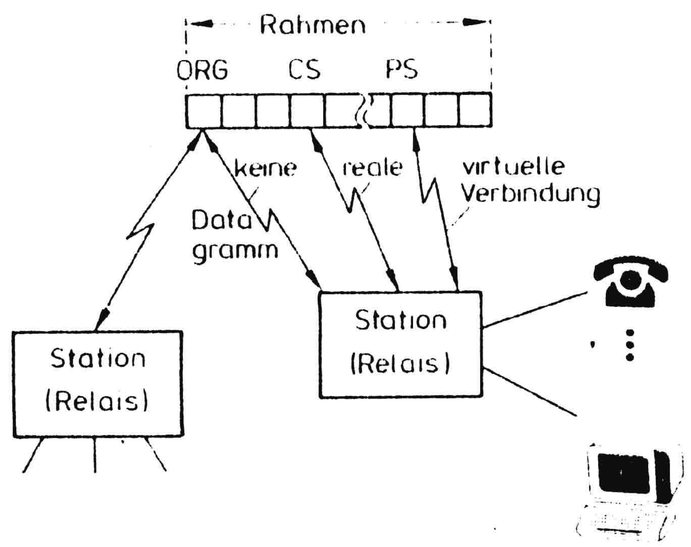


Bild 3: Zugriffsprotokolle bei den betrachteten Multiplextechniken.



ORG = Organsisationskanal mit Vielfachzugriff

CS = Realer Kanal (circuit switched

PS = Virtuelle Kanäle (packet switc

Bild 4: Kommunikations-Bedarf im Netz und Realisierung durch ein Bündel von Zeit tiplexkanälen

3. FUNKTIONSWEISE DES SYSTEMS

Es ist bereits deutlich geworden, daß Stationen jeweils ein oder mehrere dig Telefone und Datenendgeräte besitzen können, und daß die Systemorganisation un Kommunikationsabwicklung völlig dezentral durchgeführt werden. Dazu besitzt jede tion einen Mikrorechner, der neben den in Datennetzen und digitalen Fernsprechn üblichen Funktionen eines Netzknotens auch Systemmanagement-Aufgaben erfüllen mu sie sonst ein zentralisiertes Netzkontrollzentrum durchführt. Die Zahl der Stat im Netz ist nicht konstant sondern ändert sich ständig, wobei insbesondere Vermaschung des Netzes betroffen ist. Alle Stationen sind gleichartig ausgest und müssen u.a. folgende Funktionen dezentral durchführen:

- Informationsgewinnung über System- und Kanalzustände durch Abhören des je empfangbaren Abschnittes des Organisationskanals und der Kanäle des Bün Dadurch können beispielsweise die Zahl lokal freier Kanäle bestimmt, ein im signalisierter Verbindungswunsch und neue, Zugang zum Netz fordernde Stat erkannt, sowie eine vollständige Übersicht über die Zustände aller Nachbarstat gewonnen werden

- Verwaltung und Auswertung von: Teilnehmerverzeichnis, Konnektivitätsmatrix zur Wegeleitung (Routen), lokalen Peilergebnissen und Kanalbelegungstabelle. Unterstellt man, daß sich Stationen an- und abmelden müssen, dann verfügt jede Station über ausreichende Informationen, um Nachrichten lokal gezielt (mit Adresse der ausgewählten Nachbarstation) weiterzuleiten.
- Routen: Durch SIGNIERUNG vermittelter Nachrichten ist erreichbar, daß trotz dezentralen Routens keine Schleifen auftreten und Nachrichten zielorientiert weitergeleitet werden.
- Flußsteuerung: Jede Verbindung ist unter Auslastungsgesichtspunkten der Nachbarn und ggfs. ganzer Netzteile dezentral zu routen.
- Redundanzplanung: Wegen der erwarteten Unzuverlässigkeit der Funkkanäle (bei -zig GHz) ist u.U. ständig ein redundantes Netz zu reservieren.
- Lastabwurfstrategie: Bei Überlastung des Netzes sollen Prioritäten der Verbindungen berücksichtigt werden können.
- Vermaschungssteuerung: Die Sendeleistung wird adaptiv der lokalen Vermaschungssituation angepaßt, um einerseits Wegealternativen zu haben, andererseits aber andere, denselben Kanal benutzende Stationen möglichst wenig zu stören.

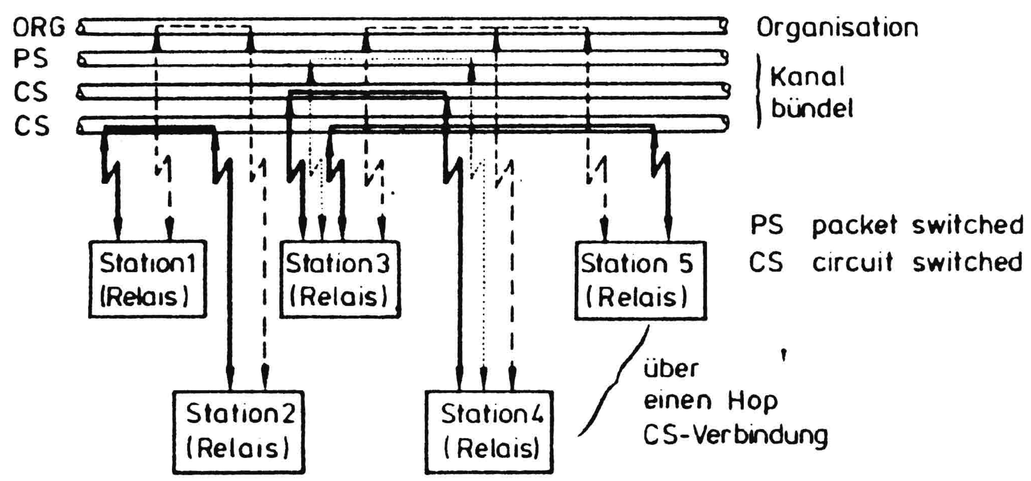


Bild 5: Beispiele möglicher Kommunikationsbeziehungen
-direkt (Station 3 mit Station 5)
-über Relais (1- oder mehr hops) z.B. S4 mit S5
-mit Wiederverwendung desselben Kanals, z.B. S1-S2 und S3-S5

4. LEISTUNGSKENNGRÖSSEN UND OPTIMIERUNGSZIELE

Das so in seiner Funktion skizzierte System soll bzgl. der erforderlichen Transport- und Netzverwaltungsprotokolle nach bestimmten Optimierungsgesichtspunkten entworfen und dimensioniert werden, denn Funkkanäle sind in ihrer Realisierung sehr teuer. Beispiele solcher Optimierungsziele sind

- die Kanalzahl des Bündels, um bei gegebener Stationsdichte und bekanntem Verkehrsaufkommen bzw. Kommunikationsverhalten der Stationen den resultierenden Netzverkehr übertragen zu können. Die Kanalzahl bestimmt die technische Auslegung der Station, also ihren Preis.
- Speicherausbau und Prozessorleistung der Station, um die Verwaltungs- und Vermittlungsaufgaben zeitgerecht zu erfüllen.
- Übertragungskapazität des/der Organisationskanäle, um Verwaltungsfunktionen rechtzeitig erfüllen zu können,
- Übertragungskapazität im redundanten Netz (Zuverlässigkeitsförderung)
- Zahl der Relais pro Verbindung
- der Zeitbedarf für Funktionen wie Verbindungsaufbau, Umschaltung auf eine andere Route, Ein-/Ausbuchen einer Station
- die Häufigkeit der Weitergabe der lokalen Konnektivitätsmatrix und von Auslastungsdaten an 1, 2, oder mehrere hops entfernte Stationen
- die Auslastung der Betriebsmittel mit den Zielen, Übertragungsstörungen zu vermeiden, lokale Kapazitäten zugunsten anderer Teilbereiche zu nutzen und ein akzeptables Reaktionszeitverhalten zu garantieren.

4.1 CHARAKTERISTISCHE LEISTUNGSKENNGRÖSSEN

4.1.1 Der Multihop Organisationskanal

Um es vorwegzunehmen: Über multihop Funkbündelsysteme ist in der Literatur fast gar nichts bekannt. Es handelt sich also um ein weitgehend unerforschtes Gebiet verteilter Systeme. Unsere Arbeitsgruppe geht bei Entwurf und Optimierung des Systems so vor, daß einerseits die Funktionsweise eines Minisystems auf einem Rechner simuliert und schrittweise verfeinert und andererseits Verkehrsmodelle interessanter Systemteile analytisch und durch Verkehrssimulation untersucht werden. Diese ZWEIGLEISIGKEIT ist erforderlich, damit wir neben den Teilzielen, nämlich der sorgfältigen Untersuchung von Teilproblemen das Gesamtziel eines funktionsfähigen Systems nicht aus den Augen verlieren.

Im Bereich der Verkehrsleistungsanalyse untersuchen wir die Eigenschaften eines multihop S-ALOHA Kanals (als Organisationskanal) mit lokal nur endlich vielen Stationen. Möchte man nicht nur den Durchsatz, sondern auch die mittlere Verweilzeit (Warten plus Übertragen) eines Paketes zwischen Sendung und Empfang bestimmen, dann stößt man auf erhebliche, bisher nur durch starke Vereinfachungen überwindbare Schwierigkeiten bei der Berechung.
Bevor ich die wesentlichen, bereits aus der Literatur bekannten Ergebnisse vorstelle, möchte ich das Slotted-ALOHA Zugriffsprotokoll kurz erklären, BILD 6a. Es werden ein Vielfachzugriffskanal und mehrere, nicht untereinander koordinierte Stationen unterstellt, die zeitweise Blöcke fester Länge übertragen. Der Kanal ist durch einen Takt in äquidistante Zeitschlitze (sog. Slots) unterteilt, die genau einen Block fassen. Die Stationen kennen den Slottakt. Jede übertragungswillige Station darf beim 1. Versuch zu Beginn eines beliebigen Slots senden. Übertragen zwei oder mehr Stationen gleichzeitig, dann liegt eine Kollision vor - keine Station war erfolgreich. Damit die kollidierten Stationen beim 2. Versuch (Wiederholung der Übertragung) nicht wieder kollidieren, ermittelt jede Station lokal nach einem Zufallsgesetz (Parameter p) eine zukünftige Slot, in der beim 2. Versuch übertragen wird. Dies wiederholt sich ggfs. bis zur erfolgreichen Übertragung, vorausgesetzt, das System ist stabil

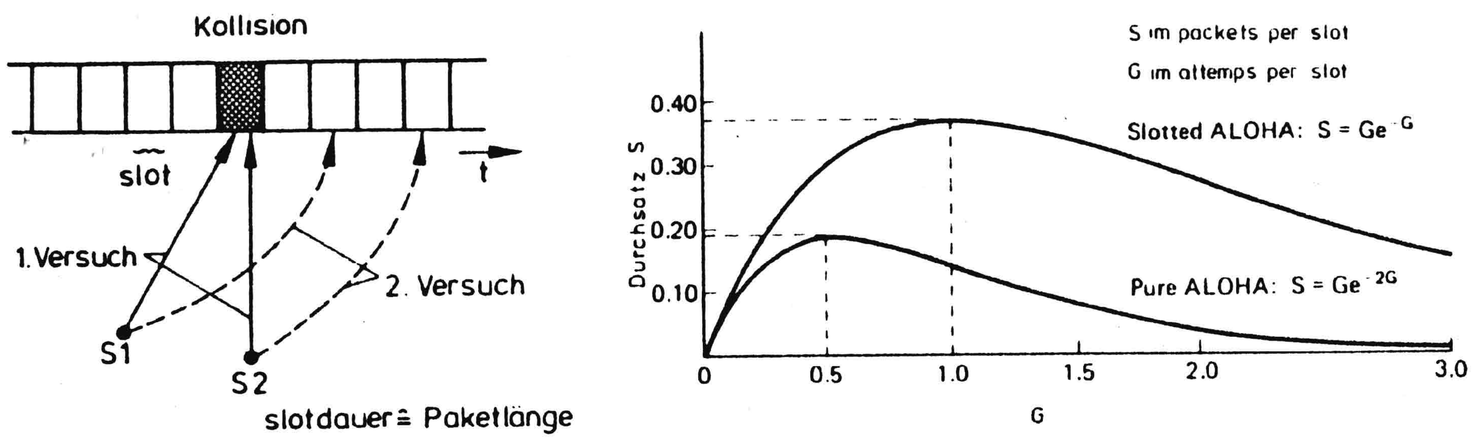


Bild 6: S-ALOHA Kanal (a) und Durchsatz (b) für EINE Zelle mit unendlich vielen voll untereinander vermaschten Stationen

Unterstellt man eine unendliche Zahl von gleichartigen Stationen, die sich alle gegenseitig stören können dann kann man den Durchsatz (Pakete/Slot) als Funktion der Übertragungsversuche pro Slot G berechnen /3/. BILD 6b zeigt den Durchsatz bei UNENDLICHER Zahl und Bild 7 bei ENDLICHER Zahl von voll vermaschten Stationen. In Bild 7 ist auch die über ein Markov Modell berechnete mittlere Verzögerungsdauer (delay) eines Paketes gezeigt. Sie besteht aus erfolglosen Übertragungen und freiwilligen Pausen bis zum jeweils nächsten Versuch.

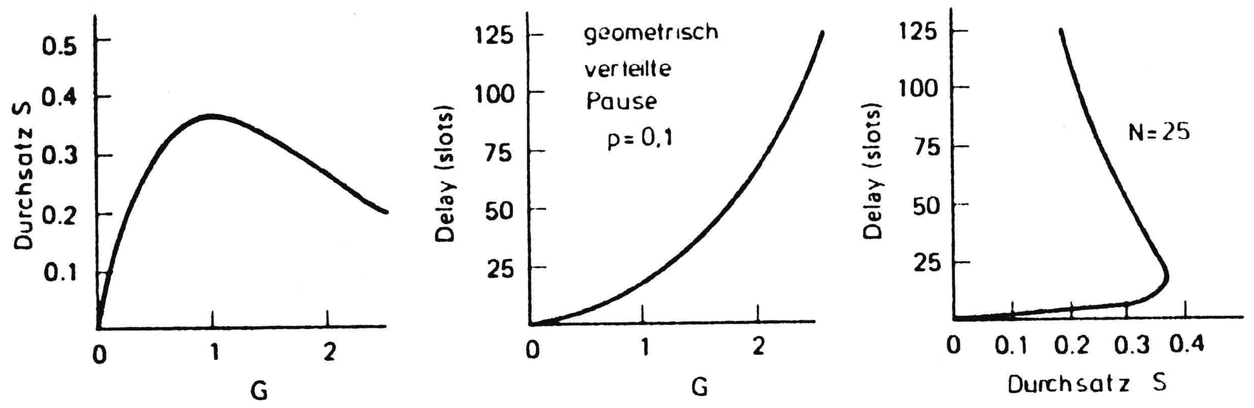
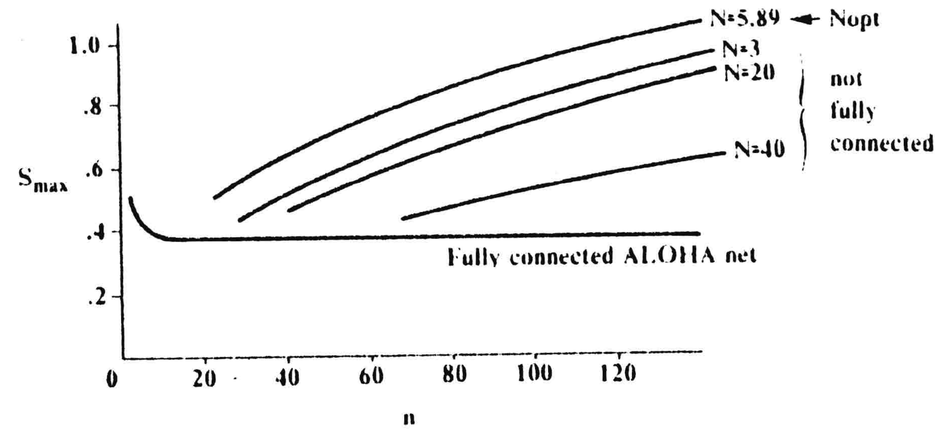


Bild 7: Durchsatz und mittlere Verzögerungsdauer (delay) für EINE Zelle mit N = 25 Stationen und voller Erreichbarkeit (S-ALOHA) /3/.

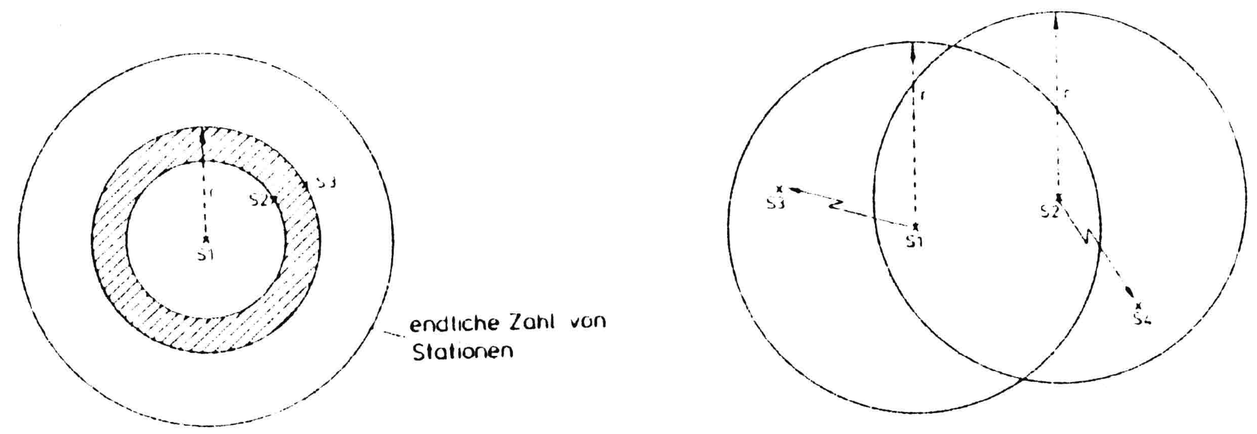
Können sich jedoch nicht alle Stationen gegenseitig hören, dann werden die Verhältnisse sehr viel komplizierter. Bisher sind nur Aussagen bzgl. des Durchsatzes bekannt geworden /4/. Die zugehörigen Annahmen sind in BILD 8 angegeben und entsprechen den Gegebenheiten des Organisationskanals unseres lokalen Funkbündelnetzes.
Für die in Bild 8 genannten modelltechnischen Annahmen zeigt sich, daß unabhängig von der Zahl n der Stationen im Gesamtsystem (bei vernachlässigten Randeffekten) der gesamte Durchsatz pro Slot Smax im System am größten wird, wenn eine sendende Station im Mittel 6 Nachbarstationen hat /4/. Diese Aussage wurde später auf im Mittel 8 Nachbarstationen korrigiert /5/. Unterstellt man innerhalb der Reichweite r des Senders einen möglichst großen Fortschritt in Zielrichtung (most forward), dann ist auch die mittlere Zahl von Hops pro Quelle/Senke-Beziehung berechenbar /4/.



- zufällige Anordnung der Stationen; die Zahl von Nachbarn jeder Station ist Poisson-verteilt mit Mittelwert N.
- insgesamt n (n→∞) Stationen im System; keine Randeffekte
- gleiches Verkehrsaufkommen aller Stationen
- homogene Verkehrsbeziehungen der Stationen untereinander
- alle Stationen haben denselben Sende-/Empfangsradius.

} Annahmen

Bild 8: Maximaler Durchsatz Smax (Pakete/slot) beim multihop S-ALOHA Kanal nach /4/



a) Empfangen in einer Empfangszelle bzgl. S1 (Radius r)

b) Senden aus einer S1 und S2 gemeinsamen Empfangszelle

Bild 9: Teilvermaschte Stationen: Zur Wahrscheinlichkeit für eine erfolgreiche Übe tragung beim S-ALOHA Zugriffsprotokoll.

Wir untersuchen z.Zt. praktische Realisierungen von Routingverfahren, welche c Eigenschaft "most forward" annähern sollen. Weiter ist die Berechnung der mittlei Verzögerungsdauer solcher Multihop Kanäle in Arbeit. Zur Veranschaulichung der dat auftretenden Probleme soll BILD 9 dienen. Im Fall a) sei S1 eine empfangende Stat bzgl. einer Sendung von S2 und S2 sei die einzige gerade im inneren Kreis sende Station. Die schraffierte ringförmige Schutzzone um S1 muß ebenfalls frei sein gleichzeitig mit S2 sendenden Stationen, damit S1 eine Sendung von S2 empfangen ka während im äußeren Ring gleichzeitige Sendungen den Empfang bei S1 nicht stören. bedeutet, innerhalb des Empfangsradius r der Station S1 darf nur EINE andere Stat senden, wenn S1 kollisionsfrei empfangen soll. Wir sprechen von der "Empfangsze von S1". Im Fall b) liegen S2 und S3 in der Empfangszelle von S1. S1 sendet zu S3

gleichzeitig sendet S2 zu S4. S3 und S4 können gleichzeitig ungestört empfangen, obwohl die Sender S1 und S2 innerhalb der Empfangszellen von S1 und S2 liegen. Aus der Sicht der Empfänger S3 bzw. S4 liegt jedoch keine Kollision vor, da jeweils nur einer der Sender in ihrer Empfangszelle liegt. Das bedeutet, daß Stationen mit zeitgleichen Sendungen für unterschiedliche Empfangszellen auch innerhalb der gegenseitigen Empfangszelle liegen dürfen. Jedoch ist es nicht möglich, daß S2 eine Sendung von S4 zeitgleich mit einer Sendung von S1 zu S3 empfängt, weil S1 und S4 in der Empfangszelle von S2 liegen. Fall b) und weitere andere konstruierbare Fälle zeigen, daß die Beachtung der jeweiligen Empfangszelle bereits eindeutige Verhältnisse schafft, also als alleiniges Kriterium ausreicht. In jedem Fall sollte eine Sendung, die mehr als einen Hop erfordert, in jedem Hop möglichst die Sendereichweite r ausschöpfen.

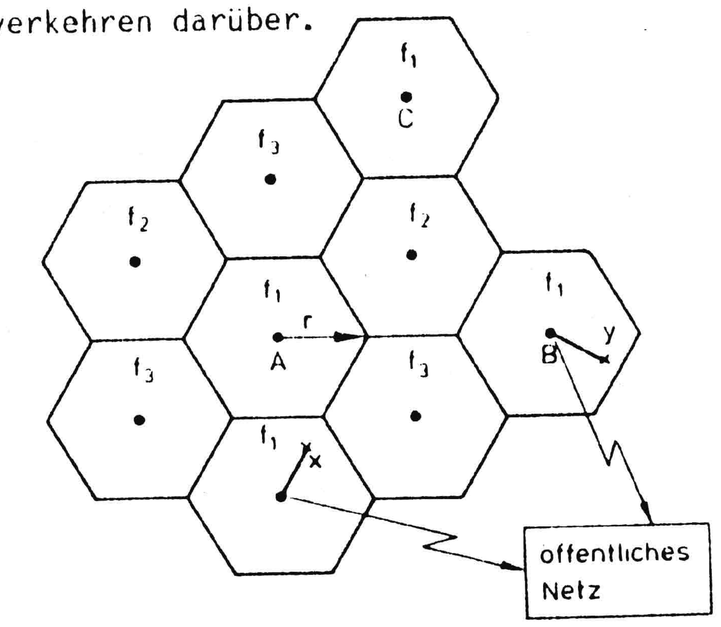
Bemerkenswert ist, daß mehrere Stationen gleichzeitig erfolgreich übertragen können, wenn sie sich gegenseitig nicht empfangen können. Dieser Effekt ist den Entwicklern von zellularen Funknetzen unter dem Begriff Frequenzökonomie zellularer Strukturen bekannt und nicht neu. Im Unterschied zu den strengen Geometrien zellularer Netze (z.B. öbl-C-Netz: "Autotelefon" der DBP) liegen im diskutierten System zufällige Geometrien vor und Zellen existieren nur dynamisch, bezogen auf die jeweils sendende bzw. empfangende Station, vergl. Bild 10. Die Verbindung mit Teilnehmern eines leitungsgebundenen Netzes erfolgt für das zellulare Netz gemäß Bild 10a) und das multihop Netz gemäß Bild 10b).

CSMA-Zugriffsprotokolle kommen ebenfalls zur Paketübertragung über den Organisationskanal in Betracht. Hier entfällt die Slotstruktur des S-ALOHA-Kanals. Stattdessen überprüft eine übertragungswillige Station den Organisationskanal auf seinen Übertragungszustand. Ist er unbenutzt, dann wird sofort ein Paket übertragen, andernfalls wird die laufende Übertragung abgewartet und erst danach (möglicherweise nicht gleich) der Kanalzustand wieder durch Abhören überprüft.

In /5/ wird gezeigt, wie man den Durchsatz einer Station und den mittleren Fortschritt in Zielrichtung bestimmen kann. Zur Erläuterung der Verhältnisse dient Bild 11, wo Station S1 zu Station S2 sendet. S1 überträgt nur, wenn keine andere Station innerhalb ihrer Empfangszelle überträgt. Offenbar gibt es dabei im linken Bereich des Kreises um S1 hörbare, aber die Übertragung nicht störende (nicht relevante) Stationen. Bzgl. des Durchsatzes erweisen sich, wie in /5/ gezeigt wird, diese Stationen nicht als störend. Bzgl. der Wartezeit auf den Übertragungsbeginn von S1 spielen sie jedoch eine, bisher nicht quantifizierte Rolle. Für den Durchsatz ist nur die Empfangszelle von S2 zu berücksichtigen, und sie enthält im rechten schraffierten Teil für S1 verborgene (hidden) Stationen, die von einer laufenden Sendung von S1 keine Kenntnis haben können.

a) ZELLULAR-STRUKTUR DES ÖBL

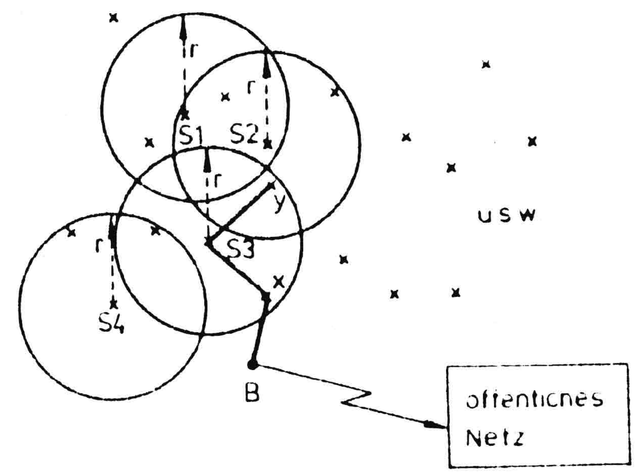
- Feststation im Zentrum jedes 6-ecks mit Radius r
- Mobilstationen frei beweglich; innerhalb eines 6-ecks verkehren sie nur mit der zugehörigen Feststation (im Zentrum des 6-ecks)
- alle Feststationen sind an das leitungsgebundene Netz angeschlossen und verkehren darüber.



- Frequenzökonomie: Wiederverwendbarkeit nach dem Frequenzmultiplex-Verfahren gebildeter Kanäle (mit Frequenz fi) durch jede Station (B,C) mit Abstand 2r von entsprechender Station (A).

b) MULTIHOP STRUKTUR

- jede Station Si bildet, wenn sie sendet, eine Zelle entsprechend der Sendereichweite r und ist, wenn sie empfängt, Zentrum einer Empfangszelle.



- die Stationen sind frei beweglich und verkehren jeweils mit den bzw über die Nachbarstationen untereinander, sofern sie Teil des Netzes sind
- Wiederverwendbarkeit eines Kanals durch Stationen Si, Sj ist dann möglich, wenn die einen Kanal paarweise nutzenden Stationen Sk, Sl beide mindestens 2r von Si und Sj entfernt sind.

Bild 10: Statische und dynamische Zellen bei (a) dem öffentlichen beweglichen Landfunk (öbL) und (b) im dezentralen Funknetz. Eine Verbindung zwischen zwei beweglichen Stationen X und Y, erfolgt bei (a) durch die zuständige Feststation über das leitungsvermittelte öffentliche Netz. Im dezentralen Netz (b) werden X und Y direkt über S3 untereinander verbunden. Liegt X oder Y im Bereich einer Feststation B des öbl-Netzes, so ist auch Kommunikation mit dessen Teilnehmern möglich.

Die Stationen im weißen Teil der Empfangszelle von S2 verhalten sich als diszipliniert, gemäß dem CSMA Protokoll, während sich die im senkrecht schraffierten Teil undiszipliniert, gemäß dem unslotted ALOHA Protokoll verhalten, also bzgl. S senden, wann es ihnen gefällt. Im Grenzfall, wenn S2 die Strecke r von S1 entfern ist, sind 61% aller Stationen in der Empfangszelle von S2 für S1 verborgen, als undiszipliniert. In einem Multihop-System ist nicht nur der Durchsatz pr Übertragungsversuch, sondern auch der in Zielrichtung damit erreichte Fortschrit

(Meter) von wesentlicher Bedeutung. In /5/ wird gezeigt, daß dieser auf den mittleren Stationsabstand bezogene Fortschritt unter optimalen Bedingungen bei CSMA 16% größer ist, als bei S-ALOHA. Der aus vollvermaschten Systemen bekannte Unterschied im maximalen Durchsatz um einen Faktor von ca. 2 zugunsten des CSMA-Protokolls ist in Multihop-Systemen also nicht annähernd realisierbar.

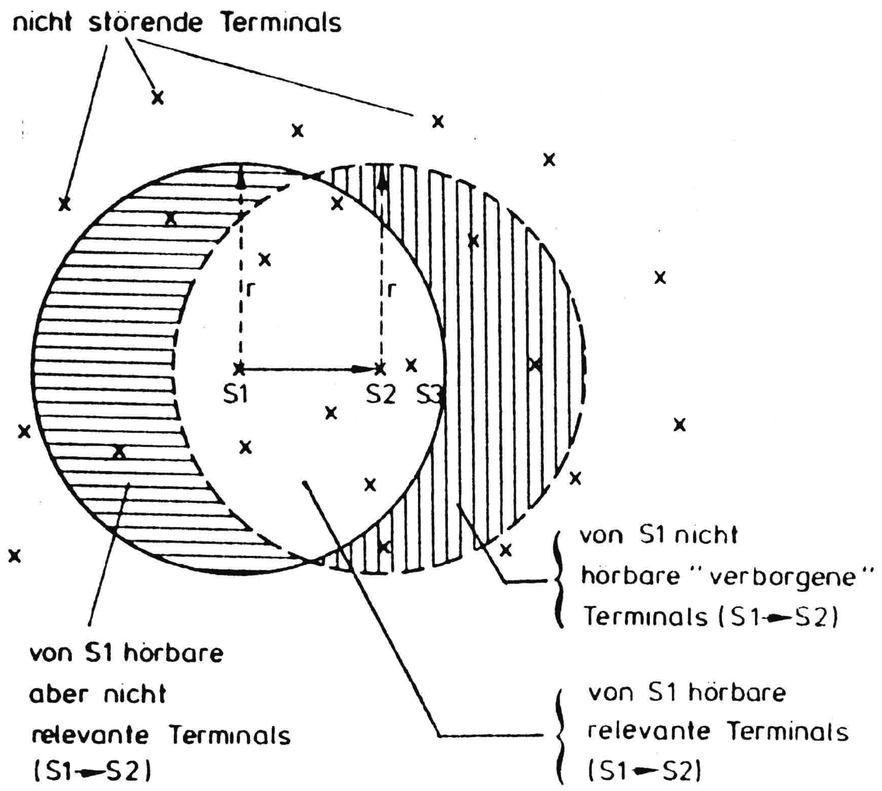


Bild 11: Zur optimalen Schrittweite pro hop beim CSMA-Verfahren

4.1.2 Das verbindungsorientiert betriebene Kanalbündel

Der Organisationskanal ist nur ein kleiner Teil des verteilten Kommunikationssystems. Beim Kanalbündel - insbesondere den verbindungsortientierten Kanälen - liegen die Verhältnisse völlig anders. Jeder Kanal ist dort ständig und nicht nur für die Dauer eines Blockes belegt. Im Gegensatz zu Zellularnetzen, bei denen die Kanäle statisch verplant werden, um denselben Kanal an anderer geografischer Stelle bald wieder verwenden zu können, ist beim betrachteten Funknetz eine DYNAMISCHE Verplanung der Kanäle zu Verbindungen erforderlich. Analog zum Zellularnetz dürfen von einer Station S1 mit S/E-Radius r benutzte Kanäle erst frühestens von solchen Stationen benutzt werden, die außerhalb des Kreises um S1 mit Radius 2r liegen. Entsprechend Bild 12 trägt ein Zeitschlitz zwei Zustandsbit und 160 Informationsbit, wobei sich aus der Rahmendauer von 10ms eine Bitübertragungsrate von 16 kbit/s je Kanal ergibt. Ein Zustandsbit Z1 zeigt an, ob der Kanal belegt oder frei ist. Entsprechend der Zahl von 40 Zeitschlitzen pro Rahmen hat das Kanalbündel 40 halbduplex Kanäle. Jede Station kann also innerhalb ihrer Empfangszelle selbst ermitteln, welche Kanäle belegt bzw. frei sind und führt eine Kanalbelegungstabelle aller aus ihrer subjektiven Sicht verfügbaren Kanäle des Bündels (die aus der Sicht anderer Stationen durchaus belegt sein dürfen).

Der Verbindungsaufbau erfolgt über den Organisationskanal durch Adressierung einer durch das stationsinterne Routingverfahren festgelegten Nachbarstation und Übergabe einer Liste aller subjektiv als frei angesehenen Kanäle. Die Nachbarstation wählt einen auch aus ihrer Sicht freien Kanal aus und bestätigt entweder über den Organisationskanal oder direkt im gewählten Kanal die Verbindung als eingerichtet. Das Verfahren setzt sich evtl. über mehrere hops fort, bis alle von der Verbindung betroffenen Stationen beteiligt worden sind. Anschließend kann die Verbindung sofort genutzt werden; der Kanal bleibt reserviert. Der Kanal ist wieder frei, sobald Z1 dies anzeigt.

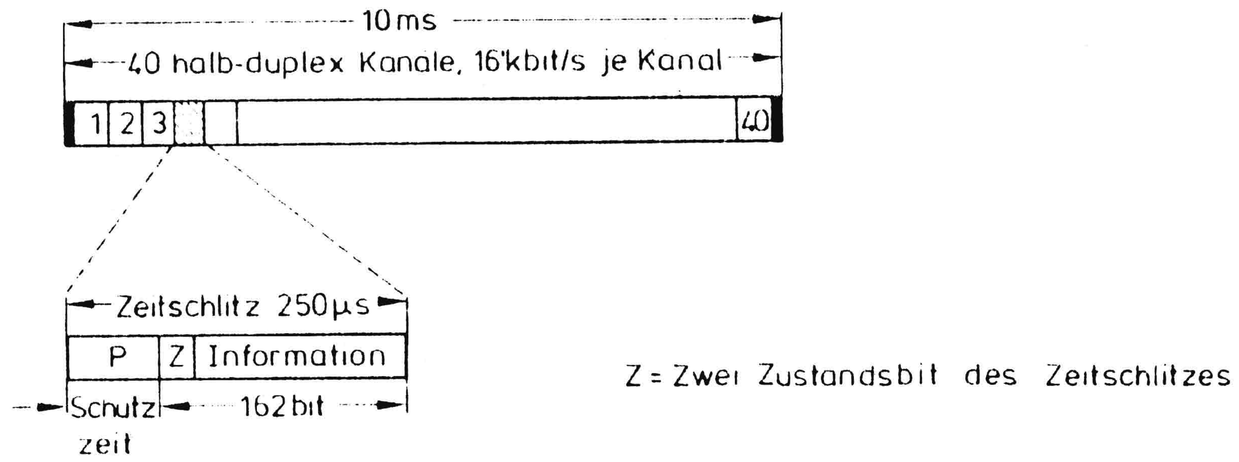


Bild 12: Struktur des Rahmens und Information pro Zeitschlitz

Innerhalb des S/E-Radius r der Station S1 muß mindestens eine Station liegen, sonst ist S1 isoliert. Um unter Berücksichtigung der Unzuverlässigkeit der Kanäle eine ausreichende Vermaschung zu erzielen, sollten im Mittel jedoch zwei oder drei Stationen S11, S12, S13 in Reichweite von S1 liegen, BILD 13a. Die für den S-ALOHA Kanal berechnete optimale Zahl von sechs Stationen hat hier KEINE Bedeutung.

Alle hier gezeichneten vier Stationen werden nicht ständig, sondern nach Bedarf untereinander verbunden sein, wobei auf jedem Teilabschnitt gleichzeitig auch mehrere Kanäle für verschiedene Verbindungen belegt werden können. Aus der Sicht der anderen Stationen, z.B. S12, stellt sich die Situation analog dar: Alle von S12 erreichten Stationen benötigen - bei Bedarf - zusätzliche Kanäle, die mit den bisherigen nicht identisch sein dürfen. Betroffen sind die Stationen S121, S122 und S123. Dies setzt sich so fort bis einschließlich der nahe außerhalb des Kreises um S1 mit Radius 2r liegenden Stationen. Dabei werden stets weitere bisher nicht benutzte Kanäle erforderlich, um die Stationen untereinander gleichzeitig zu verbinden Bild 14b). Erst Stationen außerhalb dieses Kreises, die mit anderen außerhalb des Kreises liegenden Stationen verkehren, dürfen schon benutzte Kanäle wieder verwenden. Man sieht, daß im gezeigten Viertelkreissektor in diesem Beispiel maximal 17 Stationen untereinander verbindbar sind, wobei jede dieser Verbindungsmöglichkeiten u.U. mehrere Kanäle gleichzeitig erfordern kann. Die Zahl erforderlicher Kanäle kann also sehr groß werden, wenn die Stationen so eng wie gezeigt beieinander sind. Würde man den vollen Kreis anstelle des Kreisviertels betrachten, so entstünde der vierfache Kanalbedarf. Solche Kanalzahlen sind sehr groß und deshalb wird überlegt, das verbindungsorientierte Netz mit halbduplex Kanälen über gerichtete Sendeeinrichtungen mit z.B. 60 Grad Öffnungswinkel zu betreiben.

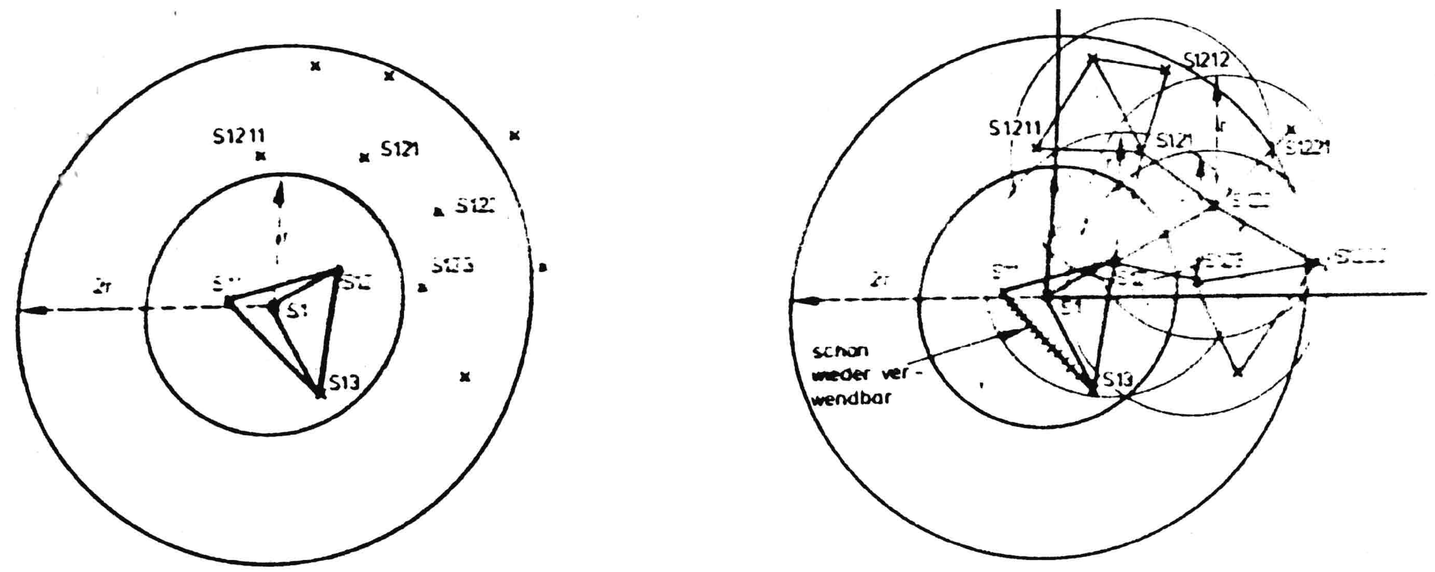


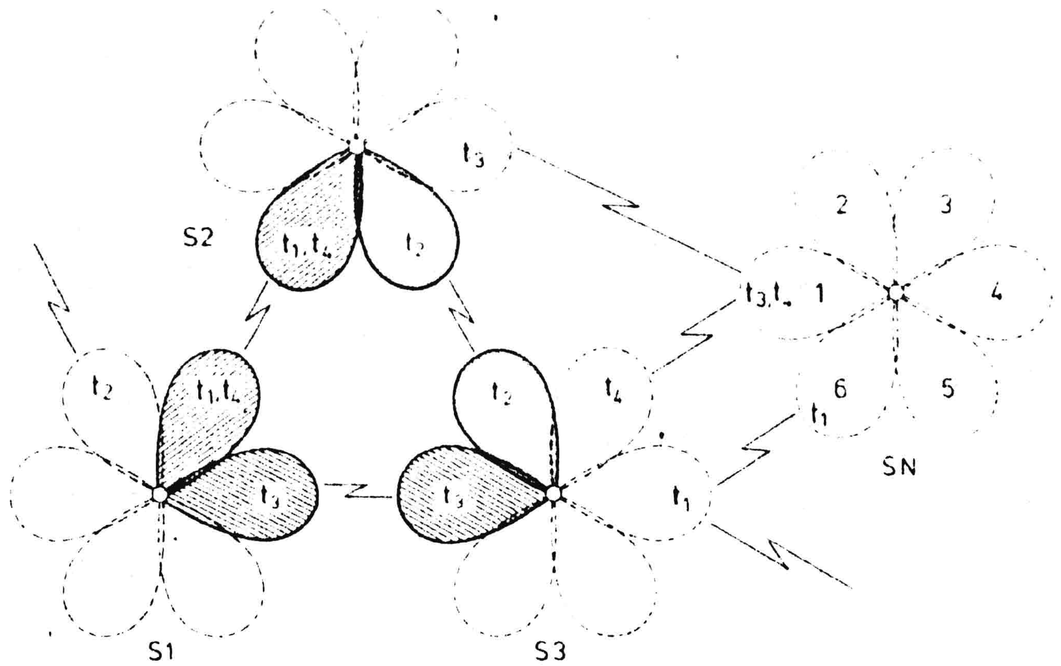
Bild 13: Kanalvermitteltes Bündelnetz und beispielhafte Vermaschung in (a) der Empfangszelle von S1 und (b) im Viertelkreissektor mit Radius 2r um S1. Alle gezeigten Verbindungen zwischen Stationen erfordern unterschiedliche Kanäle. Erst außerhalb des Sektors liegende Stationen dürfen untereinander über schon im Kreissektor benutzte Kanäle gleichzeitig verkehren.

Es besteht die Möglichkeit, die Sendeleistung der zu überbrückenden Entfernung (ih Grenzen) dynamisch anzupassen, um möglichst wenig Störungen anderer Verbindungen zu verursachen und most forward zu kommen. Dabei wird der Radius r einer Station zeitweise reduziert. Empfangen müßte dann jede Station funktionsabhängig omnidirektional oder selektiv, abwechselnd, so daß weiterhin eine dezentrale Informationsgewinnung bezüglich des Belegungszustandes aller Kanäle möglich wäre.

BILD 14 zeigt beispielhaft die Kommunikation einiger Stationen, über die Kanäle (Zeitschlitze) t1, t2, t3 und t4, wobei jede Station jeden Kanal nur einmal, also nicht etwa in verschiedenen Richtungen mehrfach für Senden oder Empfangen benutzen kann. Man sieht, daß dann schon in einem sehr kleinen Bereich alle Kanäle mehrfach genutzt werden können. Um einen ersten Einblick in die Wirksamkeit verschiedener Kanalverwaltungsprotokolle zu erhalten, werden z.Zt. Kanalzuweisungsstrategien in einem Simulationsmodell untersucht.

5. AUSBLICK

Das vorgestellte System eignet sich sowohl zur Realisierung lokaler Funknetze, z.B. auf Flughäfen, bzw. zwischen Schiffen, als auch zur ERGÄNZUNG flächendeckender zellularer Netze. Beispielsweise ist auch denkbar, daß Fahrzeuge auf Fernstraßen quasi lineare multihop Verbindungen bis zur nächsten Basisstation des öbL-C-Netzes der DBP bilden. Einzelne Stationen können dabei eine ausgezeichnete Rolle spielen, weil sie gleichzeitig Feststation im öbl und ortsfeste Station des multihop Funksystems sind. Die beschriebene Organisationsform ist besonders bei Anwendung sehr hoher Übertragungsfrequenzen (-zig GHZ) und ihren speziellen Ausbreitungsbedingungen vorteilhaft. Gegenwärtig sind die erforderlichen Übertragungseinrichtungen noch nicht wirtschaftlich realisierbar, dies wird sich jedoch bald ändern.



ti = Kanal

Bild 14: Richungsselektive Übertragung: Jede Station kann halbduplex nur auf einem von 6 Sektoren senden/empfangen.

Die vorgestellten Arbeiten dienen dem Ziel zu klären, ob die erforderliche Vermittlungstechnik und der Organisationsaufwand realisierbar sind, um das lokal auftretende Verkehrsaufkommen zu vertretbaren Kosten abzuwickeln.

Herrn Dipl.-Ing. C. Gotthardt danke ich für die nützlichen Hinweise zum Kapitel über den Multihop-ALOHA Kanal.

Literatur

/1/ B. Walke, R. Briechle: A local cellular radio network for voice and data transmission at 60 GHz. Proc. Cellular Communications International, 5-7 Nov. 1985, Online Conf. London, pp. 215-225.

/2/ B. Walke: Lokale Netze - Eine neue Technologie für die digitale Nachrichtenübermittlung. Informationstechnik it, 28. Jg. Heft 2/1986, S. 74-88.

/3/ A. S. Tanenbaum: Computer networks. Prentice Mall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 1981.

/4/ L. Kleinrock, J. Silvester: Optimum transmission radii for packet radio networks. Proc. National Telecomm. conf. 1978, pp. 4.3.1-4.3.5.

/5/ H. Takagi, L. Kleinrock: Optimal transmission ranges for randomly distributed packet radio terminals. IEEE Trans. Comm., Vol. COM 32, No. 3, March 1984, pp. 246-257.