

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 70 (1992)

Heft: 3

Artikel: Spreizbandtechnik für Zellenfunksysteme = Etalement de bande dans les systèmes cellulaires de radio mobile

Autor: Klingler, Rolf J.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-873976>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 01.05.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Spreizbandtechnik für Zellenfunksysteme

Étalement de bande dans les systèmes cellulaires de radio mobile

Rolf J. KLINGLER, Bern

1 Was versteht man unter Spreizbandtechnik?

Unter Spreizbandtechnik versteht man jede Modulationstechnik, bei der mehr Bandbreite belegt wird als zur Übertragung des Nutzsignals erforderlich ist. Eine Bandspreizung findet sich schon bei der klassischen FM-Übertragung: je höher der Modulationsindex, desto grösser die belegte Bandbreite, desto höher aber auch der Geräuschabstand des demodulierten Signals (Fig. 1).

Heute versteht man unter dem Begriff Bandspreizung in erster Linie zwei Übertragungsverfahren, nämlich *Frequenz- und Phasenhüpfen* (FH = Frequency Hopping, PH = Phase Hopping oder DS = Direct Sequence, Fig. 2).

Beim *Frequenzhüpfen* wird die Trägerfrequenz im Sender und synchron dazu auch im Empfänger periodisch gewechselt. Dadurch können sich schmalbandige Störsignale sowie die durch Mehrwegausbreitung verursachten frequenzselektiven Feldstärke-Einbrüche nur während der Verweildauer auf einer bestimmten Frequenz auswirken. Durch den raschen Frequenzwechsel wird die Übertragung somit robuster gegenüber Störungen und Mehrwegschwund. Die oft verwendeten Begriffe «schnelles» und «langsames» Frequenzhüpfen hängen damit zusammen, wie sich die Verweildauer auf einer bestimmten Frequenz zur Dauer eines übertragenen Symbols verhält.

Beim *Phasenhüpfen* wird das digitalisierte Basisbandsignal mit einer Spreizsequenz, deren Bitrate wesentlich höher ist als jene des Basisbandsignals, multipliziert. Dadurch verbreitert sich das Signalspektrum – in der Regel Zwei- oder Vierphasen-Shift-Keying (BPSK oder QPSK) – wobei gleichzeitig die spektrale Leistungsdichte vermindert wird. Im Empfänger wird das empfangene Signal nochmals mit derselben Spreizsequenz multipliziert, wodurch das ursprüngliche Basisbandsignal wieder zurückgewonnen wird. Mit der Spreizsequenz nicht in Beziehung stehende Störsignale werden bei diesem Vorgang ihrerseits gespreizt und treten als Rauschen mit geringer Leistungsdichte in Erscheinung. Durch die Korrelation im Empfänger lässt sich das Nutzsignal, das am Empfängereingang sogar im Rauschen verschwinden kann, wieder herausholen.

1 Qu'entend-on par technique à étalement de bande?

Par technique à étalement de bande, on entend toute technique de modulation pour laquelle on occupe une largeur de bande supérieure à celle qui est nécessaire à la transmission du signal utile. Un étalement de bande a déjà lieu lors de la transmission en modulation de fréquence classique: plus l'indice de modulation est élevé, plus grande est la largeur de bande occupée et plus élevé est le rapport signal/bruit du signal démodulé (fig. 1).

Aujourd'hui, on comprend par étalement de bande en premier lieu deux procédés de transmission, à savoir ceux par *saut de fréquence* et par *saut de phase* (FH = Frequency Hopping, PH = Phase Hopping ou DS = Direct Sequence, fig. 2).

Avec la méthode du *saut de fréquence*, la fréquence porteuse dans l'émetteur et, en synchronisme, dans le récepteur, sont modifiées périodiquement. Ainsi, les signaux perturbateurs à bande étroite et les évanouissements sélectifs dus à la propagation par trajets multiples n'ont d'influence sur une fréquence déterminée qu'aussi longtemps que la fréquence porteuse en question est activée. Un changement rapide de cette fréquence augmente l'immunité de la transmission aux perturbations et réduit les évanouissements dus à la propagation par trajets multiples. Les termes souvent utilisés de sauts de fréquence «rapides» et «lents» dépendent donc, pour une certaine fréquence, de la durée du symbole transmis.

Pour le *saut de phase*, le signal numérique en bande de base est multiplié avec une séquence d'étalement dont le débit de données est notablement plus élevé que celui du signal en bande de base. C'est ainsi que le spectre du signal s'élargit – en règle générale en modulation bivalente ou quadrivalente – alors que la densité de puissance spectrale est réduite. Le signal reçu dans le récepteur est multiplié une fois encore par la même séquence d'étalement, ce qui permet de récupérer le signal en bande de base original. Les signaux perturbateurs qui ne sont pas en rapport avec la séquence d'étalement sont, dans ce procédé, étalés pour eux-mêmes et apparaissent en tant que souffle à faible densité de puissance. La corrélation dans le récepteur permet de récupérer le signal utile, même s'il disparaît parfois dans le bruit à l'entrée du récepteur.

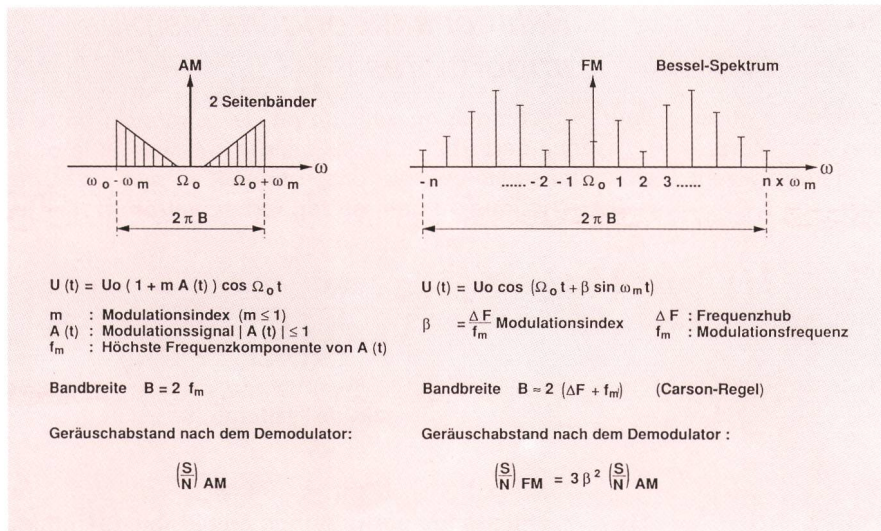


Fig. 1 Bandspreizung beim Übergang von AM zu FM – Etallement de la bande lors du passage de la modulation d'amplitude à la modulation de fréquence

Höchste Frequenzkomponente von A – Composante la plus élevée en fréquence de A
 Bandbreite – Largeur de bande
 Geräuschabstand nach dem Demodulator – Rapport signal/bruit après le démodulateur
 Frequenzhub – Excursion de fréquence
 Modulationsfrequenz – Fréquence de modulation
 Carson-Regel – Règle de Carson

AM Amplitudenmodulation – Modulation d'amplitude
 FM Frequenzmodulation – Modulation de fréquence
 Seitenbänder – Bandes latérales
 Bessel-Spektrum – Spectre de Bessel
 Modulationsindex – Indice de modulation
 Modulationssignal – Signal modulé

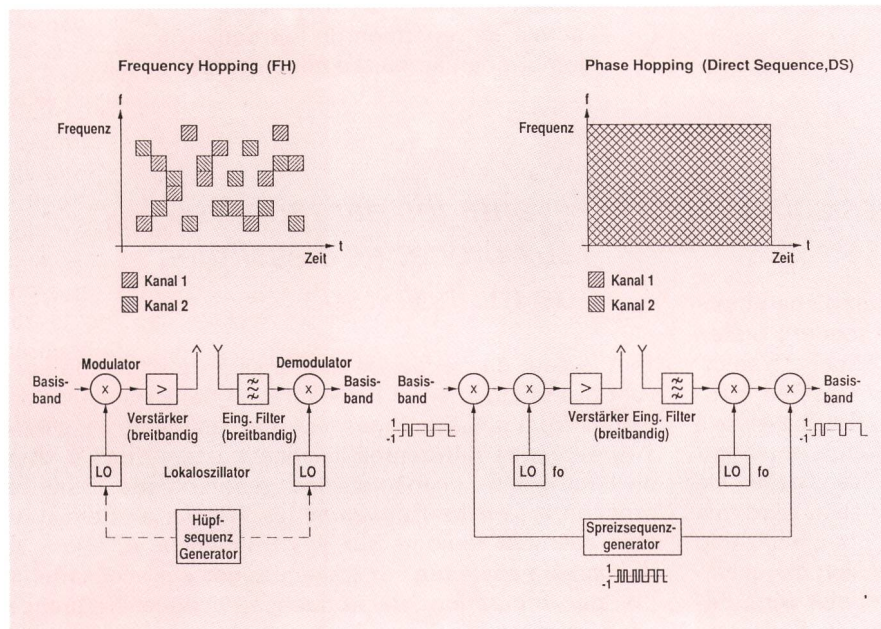


Fig. 2 Frequenzhüpfen und Phasenhüpfen – Saut de fréquence et saut de phase

Demodulator – Démodulateur
 Basisband – Bande de base
 Verstärker – Amplificateur
 Eingangsfiler – Filtre d'entrée
 Breitbandig – A large bande
 Lokaloszillator – Oscillateur local
 Hüpfsequenz-Generator – Générateur de séquence de saut
 Spreizsequenz-Generator – Générateur de séquence d'étalement

Frequency Hopping – Frequenzhüpfen – Saut de fréquence
 Phase Hopping (Direct Sequence) – Phasenhüpfen – Saut de phase
 Frequenz – Fréquence
 Zeit – Temps
 Kanal – Canal
 Modulator – Modulateur

2 Wichtigste theoretische Zusammenhänge

Bei der *Phasenhüpf*-Technik ist das Verhältnis der maximal zulässigen Störleistung zur Leistung des Nutzsignals proportional zum *Prozessgewinn* (identisch zum Gewinn am Signal-zu-Geräusch-Verhältnis).

$$\frac{J_{\max}}{S} = \frac{W}{R} \cdot \frac{1}{\left[\frac{E_b}{N_0}\right]_{\min}}$$

$\frac{W}{R}$: Prozessgewinn

J_{\max}	Zulässige Störleistung (Jamming Power)
S	Signalleistung (Nutzsignal)
W	Bandbreite des gespreizten Signals
R	Bitrate des Basisbandsignals
$[E_b/N_0]_{\min}$	Minimales Verhältnis der Energie je Bit zur spektralen Rauschleistungsdichte

Als zulässige Zahl N_{\max} der Verbindungen je Zelle ergibt sich:

$$N_{\max} = \frac{W}{R} \cdot \frac{1}{\left[\frac{E_b}{N_0}\right]_{\min}} \cdot \frac{1}{D} \cdot F \cdot G$$

N_{\max}	Zahl der zulässigen Verbindungen je Zelle
D	Sprachaktivitätsfaktor (Duty Cycle)
F	Frequenz-Wiederholfaktor
G	Anzahl Antennensektoren je Zelle

3 Vorteile gegenüber klassischen Multiplexierverfahren

Sowohl Frequenz- wie auch Phasenhüpfen dienen nicht nur zur Verbesserung der Übertragung, sondern bieten auch Vorteile beim Mehrfachzugriff, d. h. beim Nebeneinander verschiedener Verbindungen im selben geographischen Raum. Beim *Frequenzhüpfen* bestehen, analog zu FDMA, die einzelnen Verbindungen momentan immer auf unterschiedlichen Frequenzen, wobei sie untereinander ihren Kanal zeitlich abwechseln. Wird nun dafür gesorgt, dass zwei Verbindungen nie gleichzeitig dieselbe Frequenz belegen, so stören sie sich gegenseitig nicht. Je häufiger diese Regel aber verletzt wird, desto stärker tritt die Störung in Erscheinung. Kann nun eine gewisse Störbeeinflussung in Kauf genommen werden, so ist gewissermaßen ein «Überbuchung» der vorhandenen Frequenzplätze tolerierbar. Verwendet man zusätzlich die diskontinuierliche Signalausendung, bei der nur gesendet wird, wenn wirklich Information zu übertragen ist, so können die verfügbaren Frequenzplätze bei gegebener zulässiger Störung stärker überbucht werden. Man kann daher mehr Verbindungen be-

2 Relations théoriques les plus importantes

Pour la technique du *saut de phase*, le rapport entre la puissance perturbatrice maximale admissible et la puissance du signal utile est proportionnel au *gain de traitement* (identique au gain du rapport signal/bruit).

$$\frac{J_{\max}}{S} = \frac{W}{R} \cdot \frac{1}{\left[\frac{E_b}{N_0}\right]_{\min}}$$

$\frac{W}{R}$: gain de traitement

J_{\max}	Puissance perturbatrice admissible (Jamming Power)
S	Puissance du signal (signal utile)
W	Largeur de bande du signal étalé
R	Débit de données du signal en bande de base
$[E_b/N_0]_{\min}$	Rapport minimal de l'énergie par bit par rapport à la densité spectrale de puissance du souffle

La formule ci-après indique le nombre N_{\max} admissible de liaisons par cellule:

$$N_{\max} = \frac{W}{R} \cdot \frac{1}{\left[\frac{E_b}{N_0}\right]_{\min}} \cdot \frac{1}{D} \cdot F \cdot G$$

N_{\max}	Nombre de liaisons admissibles par cellules
D	Facteur d'utilisation (Duty Cycle)
F	Facteur de répétition de la fréquence
G	Nombre de sécteurs d'antennes par cellule

3 Avantages par rapport aux procédés classiques de multiplexage

Tant le saut de fréquence que le saut de phase ne servent pas uniquement à l'amélioration de la transmission mais offrent des avantages lors d'accès multiples, c'est-à-dire lorsque différentes liaisons existent l'une à côté de l'autre dans la même zone géographique. Dans le procédé à *saut de fréquence*, les liaisons existent momentanément toujours sur des fréquences différentes, de manière analogue aux transmissions par accès multiple par répartition en fréquence, chaque fréquence changeant de canal dans le temps. Si l'on prend garde, que deux liaisons n'occupent jamais la même fréquence en même temps, elles ne se perturbent pas mutuellement. Plus l'on enfreint cette règle, plus on aura de perturbations. Si un certain degré de perturbation peut être accepté, l'«utilisation simultanée» de fréquences existantes peut être tolérée dans certaines limites. Si, en plus, on utilise le procédé d'émission discontinue du signal qui revient à émettre seulement si une information

treiben als Frequenzplätze vorhanden sind. Dies ist der Schlüssel zur besseren Frequenzökonomie bei der Spreizbandübertragung. Ähnliches gilt für das *Phasenhüpfen*: Werden mehrere Verbindungen mit zueinander unkorrelierten Spreizcodes betrieben, so tritt die Summe der Nutzsignale aller fremden Verbindungen als unkorreliertes Störsignal einer bestimmten Verbindung in Erscheinung. Auch hier lassen sich so viele Verbindungen simultan betreiben, als der zulässige Störabstand am Empfängeranfang nicht unterschritten wird. Wichtig ist die Erkenntnis, dass ein unkorrelierter Störer nur statistisch in Erscheinung tritt. Bei CDMA (Code Division Multiple Access) arbeiten alle Verbindungen gleichzeitig im selben Frequenzband, wobei sie verschiedene Spreizcodes verwenden, die untereinander eine möglichst geringe Kreuzkorrelation aufweisen. Eine wichtige Bedingung, auf der auch die theoretischen Überlegungen beruhen, ist, dass der Basisstations-Empfänger alle mobilen Sender möglichst gleich stark empfängt, und zwar auch momentan.

Beim Mobilfunkkanal treten in der Regel die durch Mehrwegausbreitung auf verschiedenen Pfaden übertra-

doit être véritablement transmise, l'utilisation simultanée de fréquences peut être encore plus grande pour un facteur de perturbation donné. Il est ainsi possible d'exploiter plus de liaisons qu'il n'y a de fréquences. Cette façon de procéder est la clé de l'économie des fréquences dans la transmission à bande étalée. Il en va de même pour le *saut de phase*: Si plusieurs liaisons sont exploitées avec des codes d'étalement non corrélés, la somme des signaux utiles de toutes les liaisons extrinsèques apparaît sous forme de signal perturbateur non corrélé d'une liaison déterminée. En ce cas également, il est possible d'exploiter des liaisons simultanées, tant que le rapport admissible signal/bruit à la sortie du récepteur n'est pas inférieur à la valeur admissible. Il est important de savoir qu'un signal perturbateur non corrélé n'apparaît que statistiquement. Dans le procédé d'accès multiple par différence de code (Code Division Multiple Access, CDMA), toutes les liaisons travaillent simultanément dans la même bande de fréquences en utilisant des codes d'étalement différents qui n'entraînent qu'une faible corrélation croisée. Une condition importante, sur laquelle reposent également les considérations théoriques, consiste dans le fait que le récepteur de la station de base doit recevoir tous les émetteurs mobiles avec la même puissance, ce qui doit être valable également pour les valeurs momentanées.

Dans le canal radioélectrique typique d'une liaison mobile, les signaux apparaissent en général à l'entrée du récepteur avec des retards différents du fait de la propagation par trajets multiples (fig. 3). Ces signaux retardés se manifestent normalement comme perturbateurs. Un type de récepteur particulier, le *récepteur «Rake»* permet, dans les limites de sa résolution temporelle, de trier les ondes partielles, si bien que les signaux correspondants apparaissent dans leur ensemble comme un signal utile. Le récepteur Rake a donc une fonction semblable à celle de l'égaliseur adaptatif utilisé dans les transmissions à accès multiple par répartition dans le temps (Time Division Multiple Access, TDMA), tel que l'égaliseur de Viterbi dans le système GSM. Le retard maximal admissible des éléments d'écho que peut traiter le récepteur Rake peut être choisi dans de grandes limites et, à l'encontre de l'égaliseur de Viterbi, cela ne conduit pas à une forte augmentation de la complexité.

Le procédé CDMA permet de travailler avec un *cluster size égal à 1*, c'est-à-dire d'utiliser la même bande de fréquence dans chaque cellule d'un réseau cellulaire. Cela permet d'éviter la planification des fréquences. Il suffit simplement de veiller à ce que les codes d'étalement utilisés soient très peu corrélés entre eux. La construction des émetteurs/récepteurs qui ne travaillent que sur une fréquence peut être, du point de vue technique, relativement simple, étant donné qu'un synthétiseur n'est pas nécessaire. Cet avantage peut également être utilisé lors du passage d'une liaison d'une cellule à l'autre (Handover): la nouvelle station de base peut reprendre le code d'étalement de la station précédente sans que le récepteur mobile n'ait à intervenir (par exemple, changement de canal pour les transmissions FDMA ou changement d'intervalle de temps pour les transmissions TDMA). Si, au cours de la période de transfert d'une cellule à l'autre l'ancienne et la nouvelle station de base sont exploitées en parallèle avec le

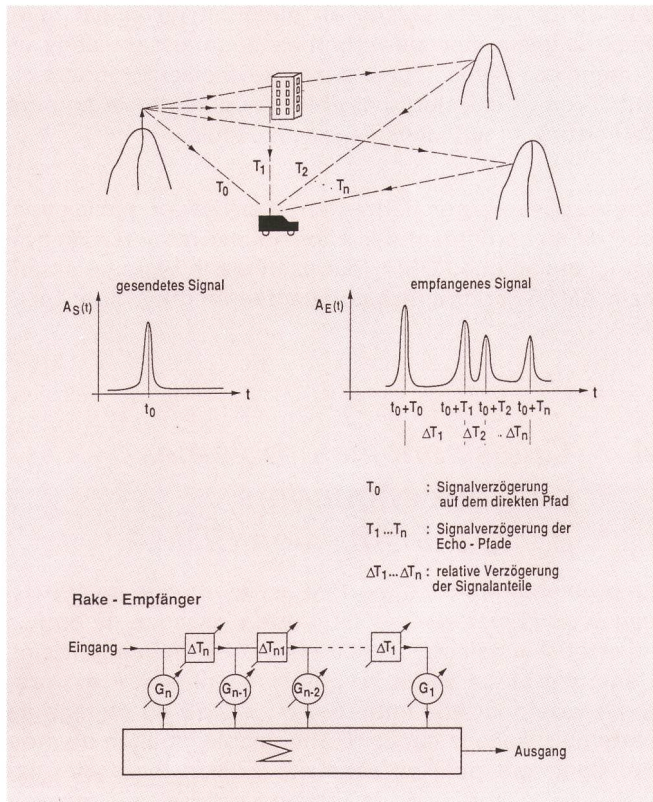


Fig. 3 Pfad-Diversity bei Mehrwegempfang – Différents trajets lors de la réception par trajets multiples
 Gesendetes Signal – Signal émis
 Empfangenes Signal – Signal reçu
 Signalverzögerung auf dem direkten Pfad – Retard de signal sur le trajet direct
 Signalverzögerung der Echo-Pfade – Retard de signal sur le trajet d'écho
 Relative Verzögerung der Signalanteile – Retard relatif des composantes du signal
 Rake-Empfänger – Récepteur Rake
 Eingang – Entrée
 Ausgang – Sortie

genen Signale am Empfängereingang mit unterschiedlichen Verzögerungen in Erscheinung (Fig. 3). Diese verzögerten Signale machen sich normalerweise als Störer bemerkbar. Mit einem besonderen Empfängertyp, dem «*Rake*»-Empfänger, können die einzelnen Signalanteile nun aber gewissermassen «zusammengereicht» werden und erscheinen in ihrer Gesamtheit als Nutzsignal, vorausgesetzt, dass sie sich zeitlich trennen lassen. Der Rake-Empfänger hat somit eine ähnliche Funktion wie der adaptive Entzerrer bei der TDMA-Übertragung (Time Division Multiple Access, z. B. Viterbi-Equalizer beim GSM-System). Die höchstzulässige Verzögerung der vom Rake-Empfänger verarbeitbaren Echo-Anteile ist in weiten Grenzen wählbar und führt, im Gegensatz zum Viterbi-Equalizer, nicht zu einem starken Anstieg der Komplexität.

CDMA erlaubt, mit der *Cluster-size* «1» zu arbeiten, d. h. in jeder Zelle eines zellularen Netzes dasselbe Frequenzband zu verwenden. Dadurch entfällt die Frequenzplanung. Es muss einzig dafür gesorgt werden, dass die verwendeten Spreizcodes untereinander möglichst wenig korreliert sind. Sender-Empfänger, die nur auf einer Frequenz arbeiten, können technisch verhältnismässig einfach gebaut werden, da kein Frequenzsynthesizer erforderlich ist. Dieser Vorteil kann auch beim «Handover», d. h. beim Weiterreichen einer Verbindung von einer Zelle zur nächsten, genutzt werden: Die neue Basisstation kann den Spreizcode der bisherigen übernehmen, ohne dass der mobile Empfänger irgendeine Aktion (z. B. Kanalwechsel bei FDMA, Zeitschlitzwechsel bei TDMA) unternehmen muss. Werden während der Handover-Übergabeperiode die alte und die neue Basisstation mit demselben Spreizcode parallel betrieben, so ist ein «weicher» Übergang (Soft Handover) von einer Zelle zur nächsten möglich.

CDMA ermöglicht auch die Verwendung *verschiedener Basisband-Datenraten*. Je tiefer diese sind, desto höher ist der Prozessgewinn und desto geringer die erforderliche Sendeleistung und somit auch die erzeugte Störleistung für andere Verbindungen, was erlaubt, mehr Teilnehmer in einem Gebiet zuzulassen. Wird das Sprachsignal mit veränderlicher Bitrate übertragen, so erscheint in den Sprechpausen nur ein geringer Datenfluss für die nötige Zusatzinformation (Overhead), was die statistische Störbelastung weiter reduziert und damit eine Erhöhung der zulässigen Zahl der Verbindungen je Zelle ermöglicht. Als Beispiel sei hier der Sprachcoder von *QualComm* erwähnt, dessen maximale Bitrate von 8 kbit/s sich je nach der vorhandenen Sprechaktivität stufenweise auf 4, 2, oder 1 kbit/s (+ 20 % Overhead) reduzieren lässt.

Die Kapazität eines Netzes lässt sich noch weiter erhöhen, wenn statt rundstrahlender Antennen *Sektorstrahler* verwendet werden. Wird die Antenne auf das Nutzsignal ausgerichtet, so wird nur noch die in diesem Sektor anfallende Störleistung empfangen. Durch den so verbesserten Geräuschabstand lässt sich die Zahl der gleichzeitig bestehenden Verbindungen in einer Zelle erhöhen.

même code d'étalement, le passage «doux» (Soft Handover) d'une cellule à l'autre est possible.

Le procédé CDMA permet également d'utiliser *différents débits de données en bande de base*. Plus ces derniers sont bas, plus le gain de traitement est élevé et plus basse la puissance d'émission nécessaire, donc la puissance perturbatrice pour les autres liaisons, ce qui permet d'accepter plus d'abonnés dans une zone. Si le signal de conversation est transmis avec un flux de données variable, seul un faible flux de données pour les informations complémentaires (Overhead) apparaît pendant les pauses d'activité vocale, ce qui réduit d'autant la charge perturbatrice statistique et permet ainsi une augmentation du nombre admissible des liaisons par cellule. Il y a lieu de mentionner comme exemple le codeur/décodeur de parole de *QualComm*, dont le flux de données maximal de 8 kbit/s peut être réduit à 4, 2 ou 1 kbit/s (+ 20 % Overhead), selon l'activité vocale momentanée.

La capacité d'un réseau peut être encore augmentée si, au lieu d'utiliser des antennes omnidirectionnelles, on a recours à des antennes à *rayonnement sectoriel*. Lorsque l'antenne est placée en direction du signal utile, seule la puissance perturbatrice apparaissant dans ce secteur est reçue. Etant donné le meilleur rapport signal/bruit, il est alors possible d'augmenter le nombre de liaisons simultanées dans une cellule.

Toutes ces mesures permettent d'envisager que la capacité de raccordement des abonnés par rapport à un système analogique FDMA (par exemple le système américain AMPS) pourra être augmentée de dix à vingt fois.

4 *Quels sont les problèmes cruciaux engendrés par la transmission CDMA?*

Le problème le plus important est *le réglage de la puissance de l'émetteur mobile*. Cette puissance détermine en effet si le gain de capacité peut être vraiment atteint. Dans une étude suédoise parue récemment il est prétendu que pour une imprécision de 2 dB du réglage de cette puissance la capacité atteignable diminue de moitié. Comment peut-on satisfaire à l'exigence selon laquelle le récepteur de la station de base doit recevoir tous les émetteurs mobiles de sa cellule avec la même puissance, en valeur momentanée également? *QualComm* utilise à cet effet un procédé à deux niveaux: en se fondant sur la puissance reçue par la station mobile en provenance de l'émetteur de la station de base, on règle tout d'abord la puissance du signal émis en retour. Dès que le canal de transmission entre la station de base et la station mobile est créé, on transmet en permanence, toutes les 1,25 ms, un signal de correction à la station mobile dont la puissance d'émission peut être réglée vers le haut ou vers le bas par paliers de 0,5 dB.

Mit all diesen Massnahmen wird erwartet, dass sich die Teilnehmer-Anschlusskapazität gegenüber einem analogen FDMA-System (z. B. dem amerikanischen AMPS) um das Zehn- bis Zwanzigfache erhöhen lässt.

4 *Welches sind die Schlüsselprobleme bei der CDMA-Übertragung?*

Das wichtigste Schlüsselproblem ist die *Leistungsregelung des mobilen Senders*. Von ihr ist es abhängig, ob der erwartete Kapazitätsgewinn tatsächlich erreicht werden kann. In einer kürzlich erschienenen schwedischen Studie wird behauptet, dass bei einer Ungenauigkeit dieser Leistungsregelung von 2 dB die erreichbare Kapazität auf die Hälfte zurückgeht. Wie wird diese wichtige Forderung, dass der Basisstations-Empfänger alle mobilen Sender seiner Zelle auch momentan mit derselben Empfangsleistung sieht, erreicht? Qualcomm verwendet dazu ein zweistufiges Verfahren: Aufgrund der von der Mobilstation empfangenen Leistung des Basisstations-Senders wird vorerst einmal die Stärke des zurückgesendeten Signals voreingestellt. Sobald der Verkehrskanal zwischen der Basis- und der Mobilstation besteht, wird dauernd ein Korrektursignal zur Mobilstation übertragen, das deren Sendeleistung in Abständen von jeweils 1,25 ms um 0,5 dB hinauf- oder hinunterregelt.

Ein weiteres Schlüsselproblem stellt die *Synchronisation* der Spreizsequenz beim Empfänger dar, das aber heute weitgehend als gelöst gilt.

5 *Ersatzlösungen zur Spreizbandtechnik*

Mit der Spreizbandtechnik lässt sich die Kapazität eines Mobilfunksystems erhöhen und die Frequenzplanung vereinfachen. Diese Möglichkeit bietet auch die TDMA-Übertragung, wenn eine *dynamische Kanalzuweisung*, bei der jede Basisstation prinzipiell über alle in einem System vorhandenen Frequenzen verfügen kann, verwendet wird. Bei einem Verbindungswunsch wird jeweils geprüft, welcher Kanal aufgrund der momentanen Störsituation zugeteilt werden kann. Damit lassen sich rasch wechselnde Verkehrsaufkommen beherrschen, indem eine Zelle mit momentan hohem Verkehr (z. B. bei Staus im Strassenverkehr) bei ihren Nachbarzellen Kanäle ausleihen kann. Natürlich müssen die Basisstationen dabei über die nötige Anzahl Übertragungsausrüstungen verfügen, um zusätzliche Kanäle zu betreiben. Erste Untersuchungen deuten darauf hin, dass mit der dynamischen Kanalzuweisung bei TDMA ein ähnlicher Kapazitätsgewinn erreicht werden kann wie mit CDMA. Da die dynamische Kanalzuweisung eine aufwendige Systemsteuerung voraussetzt, bleibt ihre Machbarkeit und Komplexität vorderhand offen.

Un autre problème fondamental concerne la *synchronisation* de la séquence d'étalement au récepteur. Aujourd'hui, cette question est considérée comme largement résolue.

5 *Alternative possible à la technique à étalement de bande*

La technique à étalement de bande permet d'augmenter la capacité d'un système de radiotéléphonie mobile et de simplifier la planification des fréquences. Cette possibilité est offerte également par une transmission TDMA, lorsqu'il est fait usage d'une *attribution dynamique des canaux* applicable en principe par chaque station de base pour toutes les fréquences utilisées dans un système. Lors d'une demande de liaison, on examine quel canal peut être attribué en se fondant sur la situation momentanée des perturbations. Il est ainsi possible de maîtriser des volumes de trafic variant rapidement par le fait qu'une cellule devant acheminer un trafic élevé (par exemple, en cas de bouchons dans le trafic routier) peut «emprunter» des canaux à la cellule voisine. Il va de soi que les stations de base doivent alors disposer du nombre nécessaire d'équipements de transmission pour pouvoir exploiter des canaux supplémentaires. Des premiers essais indiquent que l'attribution dynamique des canaux dans les systèmes TDMA permettent d'atteindre des gains de capacité semblables à ceux obtenus par les transmissions CDMA. Toutefois, étant donné que l'attribution dynamique des canaux présuppose une commande de système relativement compliquée sa possibilité de mise en œuvre et sa complexité ne sont pas encore connues.

6 *Maturité de la technique à étalement de bande pour sa distribution sur le marché*

Une nouvelle norme pour le système de téléphonie mobile cellulaire numérique AMPS sous le nom IS-54 a été développée ces dernières années aux Etats-Unis par l'Association des industries des télécommunications (Telecommunications Industry Association, TIA). Cette norme prévoit d'introduire dans le canal FM à 30 kHz utilisé jusqu'ici trois canaux multiplexés dans le temps (TDMA), ce qui permet d'obtenir trois fois plus de capacité. Un doublement de la capacité est encore possible, si, plus tard, un codeur/décodeur à demi-débit peut être utilisé. La norme pour le système numérique AMPS a été rendue nécessaire, vu que le bureau des fréquences des USA (Federal Communications Commission, FCC) n'était plus en mesure de mettre des bandes de fréquence à disposition pour une augmentation de la capacité du système AMPS analogique. Etant donné que la trame de canaux de 30 kHz a été conservée, il en résulte

6 Marktreife der Spreizbandtechnik

In den Vereinigten Staaten wurde in den letzten Jahren von der Telecommunications Industry Association (TIA) unter dem Namen IS-54 eine neue Norm für das digitale zellulare Mobiltelefonsystem AMPS entwickelt. Diese sieht vor, im bisherigen 30-kHz-FM-Kanal drei Kanäle im Zeitmultiplex (TDMA) unterzubringen, wodurch sich ein dreifacher Kapazitätsgewinn erzielen lässt. Eine weitere Kapazitätsverdoppelung ist möglich, wenn später ein Halbbraten-Coder eingesetzt werden kann. Die digitale AMPS-Norm wurde nötig, weil das US-Frequenzbüro (Federal Communications Commission, FCC) keine neuen Frequenzbänder für eine Kapazitätserweiterung des analogen AMPS zur Verfügung stellen konnte. Da das 30-kHz-Kanalraster beibehalten wurde, ergibt sich eine hohe Kompatibilität zum analogen AMPS-Standard. Die Firma Qualcomm will nun aber zeigen, dass mit ihrem CDMA-System gegenüber dem analogen AMPS ein bis zu 20facher Kapazitätsgewinn möglich sei. Dadurch ist die digitale AMPS-Norm etwas ins Wanken geraten. Zwei Netzbetreiber (*Pacific Telephone* und *Nynex*) erwägen bereits die Einführung von CDMA, und weitere werden möglicherweise folgen.

Grosse Chancen wird der CDMA-Übertragung auch für die «Inhouse»-Kommunikation, bei der eine klassische Frequenzplanung praktisch unmöglich ist, eingeräumt. «Inhouse»-Anwendungen wie drahtlose Hauszentralen oder lokale Netze (LAN) erfordern aber in der Regel eine sehr hohe Übertragungskapazität auf kleinem Raum. Auf diesem Anwendungsgebiet wird heute intensiv geforscht (z. B. Projekt MEP der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich und der PTT oder die 16-kbit/s-Datenübertragung im 2,44-GHz-ISM-Band der Firma *Ascom Zelcom*).

7 Schlussbemerkungen

Die Spreizbandtechnik, besonders jene des Frequenzhüpfens, hat sich in militärischen Netzen etabliert, wobei hier vor allem die Unempfindlichkeit gegenüber absichtlichen Störungen und die Verschlüsselung der Nachrichten im Vordergrund stehen. In der zivilen Übertragungstechnik haben CDMA-Systeme bei der satellitengestützten Übertragung (OmniTracs und EutelTracs) bereits Einzug gehalten. Sözusagen als Nebenprodukt bieten diese Systeme eine präzise *Ortung* der Mobilstationen an. Terrestrische zellulare CDMA-Systeme stehen vor der Türe, was zur Folge hat, dass in den nächsten Jahren die Innovation auf dem Gebiet des Mobilfunks nicht stehenbleiben wird. Für das GSM-System, das gegenwärtig in mehreren europäischen Ländern eingeführt wird, wurde 1987 auf eine bandgespreizte Übertragung verzichtet, obwohl diese vor allem von der Bundesrepublik Deutschland und von Frankreich unterstützt wurde. Der Hauptgrund war, dass die CDMA-Technik damals noch als zu risikohaft beurteilt wurde. Heute würde der Entscheid möglicherweise anders ausfallen. Die nächste Zukunft wird sicher zeigen, ob CDMA-Systeme ihre Ka-

une compatibilité élevée avec la norme pour le système AMPS analogique. Toutefois, la maison Qualcomm veut montrer qu'avec son système CDMA on peut obtenir un gain de capacité d'un facteur vingt par rapport au système analogique AMPS. Il s'ensuit que la norme pour le système numérique AMPS a perdu quelque peu de son importance. Deux opérateurs de réseau (*Pacific Telephone* et *Nynex*) envisagent déjà l'introduction de CDMA et d'autres pourraient éventuellement suivre.

De grandes chances sont attribuées à la transmission CDMA pour les communications à l'intérieur des bâtiments dans lesquelles une planification classique des fréquences est impossible. Les applications internes, telles que les équipements de commutation d'abonnés sans fil ou les réseaux locaux (LAN) nécessitent cependant en règle générale une capacité de transmission élevée sous un faible volume. Des recherches intensives sont en cours dans ce domaine (par exemple, le projet MEP de l'École polytechnique fédérale de Zurich et des PTT ou encore la transmission de données à 16 kbit/s dans la bande ISM à 2,44 GHz de la maison *Ascom Zelcom*).

7 Conclusions

La technique à étalement de bande, en particulier celle des sauts de fréquence, s'est établie dans les réseaux militaires, en premier lieu grâce à son insensibilité aux perturbations malveillantes et à la possibilité de crypter l'information transmise. Pour les transmissions civiles, les systèmes CDMA sont déjà utilisés dans les transmissions par satellites (OmniTracs et EutelTracs). Ces systèmes offrent, presque comme produit accessoire, une *localisation* précise des stations mobiles. Les systèmes terrestres cellulaires CDMA sont en phase d'introduction, si bien qu'il faut s'attendre pour ces années prochaines à des innovations dans le domaine de la radiotéléphonie mobile. En ce qui concerne le système GSM en cours de réalisation dans plusieurs pays européens, on a renoncé à une transmission à bande étalée en 1987, bien que celle-ci ait été prônée par la République fédérale d'Allemagne et par la France. La raison principale en était, qu'à l'époque, cette technique était trop risquée. Il est possible qu'aujourd'hui cette décision serait prise différemment. L'avenir immédiat montrera certainement si les systèmes CDMA pourront tenir leurs promesses quant à la capacité de transmission. Il est également certain que la technique TDMA ne restera pas dans son état actuel et qu'une meilleure utilisation du spectre des

pazitätsversprechungen halten können. Sicher wird auch die TDMA-Technik nicht stehenbleiben, und eine bessere Spektrumsausnützung ist auch hier möglich. Allerdings scheint es, dass kapazitätsfördernde Massnahmen bei CDMA leichter durchzuführen sind als bei TDMA.

fréquences sera également possible. Toutefois, il semble que les mesures visant à augmenter la capacité de transmission sont plus faciles à réaliser en technique CDMA qu'en technique TDMA.

Zusammenfassung

Spreadbandtechnik für Zellen-funksysteme

Angesichts der immer knapper werdenden Frequenz-Ressourcen wird intensiv nach Möglichkeiten zur besseren Frequenzausnützung gesucht. Die Spreadband-technik ist eine der Möglichkeiten, von denen erwartet wird, dass sie gemeinsam mit anderen Massnahmen erlauben, die Kapazität von zellularen Mobilfunknetzen gegenüber bestehenden um das zehn- bis zwanzigfache zu erhöhen. Der Autor erläutert die Grundlagen und zeigt die Vor- und Nachteile sowie die Schlüsselprobleme dieser Technik.

Résumé

Étalement de bande dans les systèmes cellulaires de radio mobile

Le nombre des fréquences disponibles allant en diminuant, on recherche très activement le meilleur moyen de mieux les utiliser. La technique à étalement de bande est l'une des possibilités qui doit permettre, conjointement à d'autres mesures, à décupler, voire à augmenter d'un facteur vingt, la capacité des réseaux de radiocommunication mobiles cellulaires. L'auteur explique les bases de cette technique, en montre les avantages et les inconvénients de même que les problèmes spécifiques.

Riassunto

Tecnica della divisione di spettro per sistemi di radiocomunicazione cellulari

Dato che le frequenze sono una risorsa limitata, si sta cercando di sfruttare meglio lo spettro radio. La tecnica della divisione di spettro dovrebbe permettere, con altre misure, di aumentare di 10-20 volte la capacità delle reti di radiocomunicazione mobile cellulari. L'autore descrive le basi, i vantaggi, gli svantaggi e i problemi più importanti di questa tecnica.

Summary

Spread Band Techniques for Cellular Mobile Radio Systems

In view of frequency resources becoming more and more scarce, the search is intensively being made for possibilities of improving frequency utilization. The spread spectrum technology is one of the possibilities. It is anticipated that this technology together with other measures will allow the capacity of cellular mobile telecommunication networks to increase ten to twentyfold compared to the existing state. The author explains the fundamentals and shows the advantages and disadvantages as well as the key problems of this technology.