R&D ホットコーナー ソリューション

周波数利用効率を高めるスペクトル抑圧型無線伝送技術の研究開発

NTTアクセスサービスシステム研究所

増野　淳（ましの　じゅん）／杉山　隆利（すぎやま　たかとし）

周波数資源の枯渇問題を解決するため，私たちは周波数利用効率を向上させる技術として，スペクトル抑圧型無線伝送技術の研究開発を進めています．提案技術により電波干渉を意識することなく，複数信号による柔軟な周波数共用を実現することを目指しています．

周波数資源の枯渇への挑戦

無線通信システムの広帯域化や多様化により，マイクロ波帯を中心として周波数資源の枯渇問題がますます深刻となっており，新たな無線サービスの導入や，トラフィック増大に対応する設備増設の障壁となっています．**図 1** に示すように，従来は 1 つの無線通信システムに対して専用の周波数帯域を割り当て，異なるシステム間の相互の電波干渉を防ぐ周波数ガードバンドを設けています．しかしNTTアクセスサービスシステム研究所では，深刻な周波数資源の枯渇を受け，遠くない将来に周波数ガードバンドをも通信に利用しなければ通信需要にこたえられなくなり，複数の無線通信システム間で周波数を融通し合う周波数の共用により周波数利用効率を向上させることが必須になると考えています．

複数システムによる周波数共用の試みはすでに身近な通信機器でも実現され始めています．例えば2.4 GHz帯はISM（Industry Science Medical：産業科学医療用）バンドに指定されており，電波免許不要の帯域として無線LANやBluetoothといった通信機器から電子レンジなどの家電機器に至るさまざまな電子機器が同一周波数を共用しています．しかし現状では，CSMA/CA（Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance：衝突回避型搬送波感知多元接続）に代表される衝突回避型の周波数共用にとどまり，別システムが信号を送信しているときには自信号を送信できないため，本質的な周波数共用を果たせていません．今後のさらなる無線通信の需要増大に対応するためには，同時に同一周波数を共用する必要があります．

スペクトル抑圧型無線伝送技術

そこでNTTアクセスサービスシステム研究所では，複数システム間で同時に周波数共用を実現する技術としてスペクトル抑圧型無線伝送技術の研究を進めています．提案技術では**図 2** に示すように，複数の信号スペクトラムの一部が重なり合う（重畳）ように周波数配置することで，複数信号全体の占有周波数帯域幅（f'_{all}）を従来の占有周波数帯域幅（f_{all}）に比べ削減することができます．一方，信号 1，信号 2 の無線インタフェース（変調方式，シンボルレートなど）は維持されるので，信号重畳による伝送速度の低下はありません．伝送速度が同一で占有周波数帯域幅が小さくなるため，周波数利用効率が向上します．

ただし，複数信号間で重畳する周波数帯域には相互の電波干渉が生じるため通信品質に影響を及ぼします．そこで，送信機および受信機にスペクトル抑圧処理を導入し相互の干渉の影響を低減する干渉抑圧技術を提案しています[(1), (2)]．以下では提案技術の具体的な処理について説明し，周波数利用効率の向上効果に関する評価結果を示します．

送信側スペクトル抑圧処理

ここではOFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing：直交周波数分割多重）伝送方式に対する適用可能なスペクトル抑圧処理を紹介します．OFDM伝送とは，伝送データ

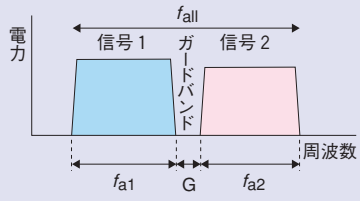

図 1　従来の周波数割当て

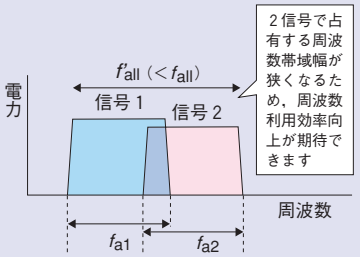

図 2　提案する周波数共用手法における周波数割当て

を複数のサブキャリアに分けて並列に伝送する方式で，周波数利用効率の高さ，遅延波耐力の高さなどから，最近では無線LAN，WiMAX（World Interoperability for Microwave Access），LTE（Long Term Evolution）といった数々の高速移動無線通信システムにおいて採用されています．また，これらのOFDM伝送システムでは，通信の品質を高めるため**図3**に示すようなFEC（Forward Error Correction：前方誤り訂正）符号化が標準的に使用されており，COFDM（Coded OFDM：符号化OFDM）と呼ばれています．

提案技術では，他信号との周波数共用を図るため，送信信号スペクトラムの重畳した周波数帯域を抑圧するスペクトル抑圧処理を行います．これはOFDM信号をフィルタ等に通過させることで実現できますが，マルチキャリアで構成されるOFDM伝送方式の場合，一部のサブキャリアの送信電力をゼロにすることで簡易に実現することができます．**図4**にその様子を示します．図中の抑圧率とは自信号の占有周波数帯域幅に占める，抑圧した周波数帯域幅の比になります．

スペクトル抑圧処理により一部のサブキャリアは欠落しますが，変調方式やFEC符号化率等を変えないため，スペクトル抑圧処理を適用しない場合と同一の伝送速度を維持することができます．

受信側スペクトル抑圧処理

送信側処理によって送信信号間の電波干渉は抑圧できますが，受信機で受信される信号に着目すると，1つ問題があります．誤り訂正を行うことで伝送品質の劣化を抑制しますが，誤り訂正復号には尤度と呼ばれる伝送ビット（0または1）の確からしさの情報が用いられ，これはサブキャリアを復調する過程で算出されます．尤度の算出式は自由に設計できますが，例えばLLR（Log-Likelihood Ratio：対数尤度比）を用いる場合には，受信電力が大きなサブキャリアに対して絶対値の大きな尤度が，逆に受信電力の小さなサブキャリアに対しては絶対値の小さな尤度が対応付けられ，また尤度の正負により伝送ビットが0らしいか，1らしいかを特徴付けます．したがって隣接する信号の受信電力が大きい場合，**図5**に示されるように抑圧サブキャリアに対して絶対値の大きな尤度が算出されてしまいます．抑圧サブキャリア上には所望信号の情報が伝送されず，無関係な隣接信号のみが存在するため，無関係な信号を復調した結果，誤って絶対値の大きな尤度が計算される場合には，適切ではない誤り訂正処理をすることになります．

提案技術ではあらかじめ重畳帯域幅を送信機—受信機間で共有し，受信機において，抑圧サブキャリアに対して算出される尤度をもっとも曖昧な値に置換する「FEC尤度マスク」を適用します．尤度にLLRを用いる場合は正でも負でもない値，すなわちゼロに置換することを意味します．この簡単な処理により，正しく伝送されたサブキャリアを活用した

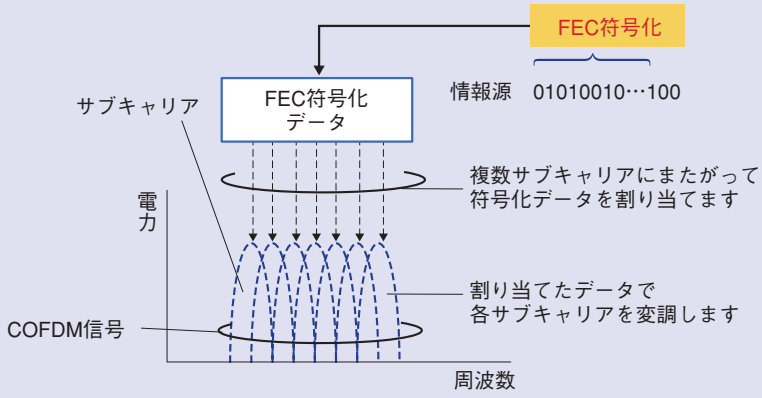

図3　COFDM信号

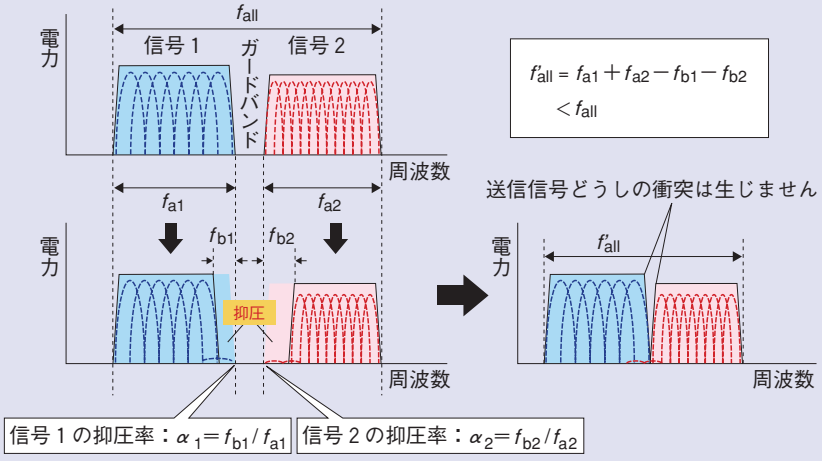

図4　送信側スペクトル抑圧処理による占有周波数帯域幅の削減

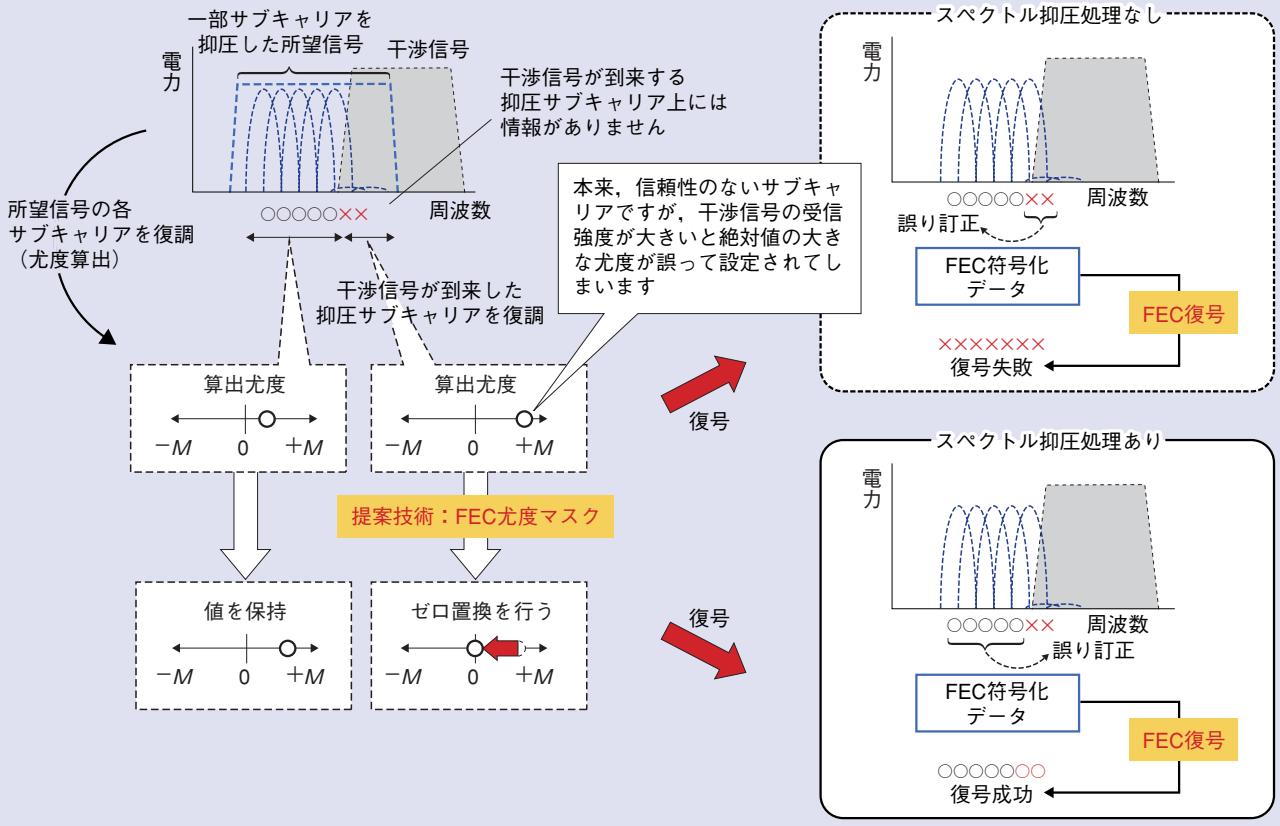

図 5　受信側スペクトル抑圧処理による適正な誤り訂正効果

誤り訂正能力を借りて，任意の干渉波の影響を低減することが可能となります．復調回路や帯域制限フィルタなどFEC尤度マスク以外の機能については既存の回路が利用できるため，実装は容易です．同様の機能は，受信信号を干渉信号を抑圧する特性を持つフィルタに通過させることでも実現できます．

特性評価

次に2信号による周波数共用について提案技術の効果を検証するため，計算機シミュレーションによる周波数利用効率と評価結果を報告します．主要シミュレーション諸元は**表**に示すとおりMobile WiMAX[3]に準拠したものとなっています．

図 6 は誤り率特性を示しており，スペクトル抑圧処理を適用することで，誤り率の劣化が抑えられ，ある抑圧率 α までは誤りのない通信が達成できることが分かります．

図 7 は抑圧率 α に対する周波数利用効率を示しています．周波数利用効率の定義は，2信号全体の占有周波数帯域（f'_{all}）で達成される，誤り率を考慮した伝送速度です．なお，簡単にするため2信号の抑圧率は等しい（$\alpha = \alpha_1 = \alpha_2$）ものとしています．スペクトル抑圧処理を適用しない場合，抑圧率 α が増大するにつれ周波数利用効率が低下し，特に抑圧率が $\alpha > 15\%$ の領域では，実用に耐えない程度にまで大幅に落ち込んでいます．これは前述のとおり，抑圧サブキャリアに対し誤った尤度が設定され，誤り訂正が有効に機能していないためです．

表　シミュレーション諸元

一次変調	QPSK, 16QAM, 64QAM（適応変調）
二次変調	OFDM（851サブキャリア）
サブキャリア間隔	10.94 kHz
誤り訂正符号	畳み込みターボ符号
符号化率	1/2, 3/4（適応符号化率）

一方スペクトル抑圧処理を適用すると，適応変調動作による階段状の伝送速度の変化を除くと，抑圧率 α が増大するにつれ周波数利用効率も向上していることが分かります．特に $\alpha < 15\%$ の領

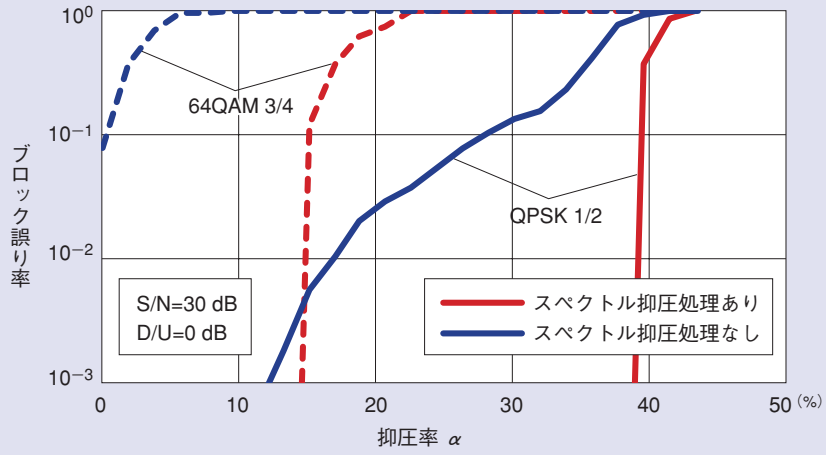

図 6　誤り率特性

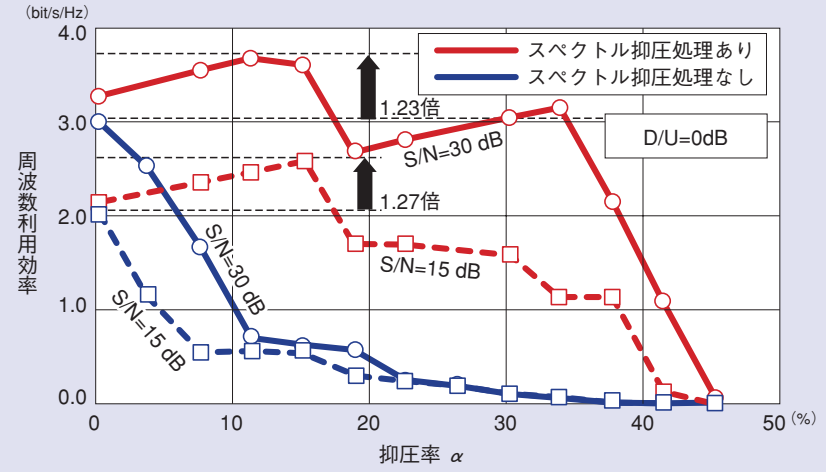

図 7　周波数利用効率

域では，周波数共用を行わない場合（α =0%）を上回る周波数利用効率を示しており，1.2倍強の改善効果があります．この領域では，提案技術を用いることで同時刻に周波数共用を実現できるといえます．

なお抑圧率がα =0%時にもスペクトル抑圧処理の有無で特性差が生じているのは，隣接信号スペクトラムのサイドローブ成分から受ける干渉も提案技術で抑圧できているためです．

今後の展開

スペクトル抑圧型無線伝送技術により同時に周波数を共用できることを確認しました．今後は干渉帯域情報の推定技術など周辺技術の評価や，シングルキャリア変調方式に対するスペクトル抑圧処理の適用の検討も推進していきます．

■参考文献
(1) J. Mashino and T. Sugiyama：“Total frequency utilization efficiency improvement by superposed multicarrier transmission scheme,” PIMRC2009, pp.1677-1681, Tokyo, Japan, Sept. 2009.
(2) J. Mashino, Y. Shirato, and T. Sugiyama：“Subcarrier Suppressed Transmission Scheme for Satellite/Terrestrial Integrated Mobile Communication System,” VTC 2010-Fall, Ottawa, Canada, Sept. 2010.
(3) IEEE Std. 802.16e-2005 and 802.16-2004/Cor1-2005: “Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems,” Feb. 2006.

（左から）杉山　隆利/ 増野　淳

スペクトル抑圧型無線伝送技術によって，電波干渉の影響を意識することなく柔軟な周波数利用が可能となります．今後は干渉帯域情報の推定技術など周辺技術の評価も推進していく予定です．

◆問い合わせ先
NTTアクセスサービスシステム研究所
ワイヤレスアクセスプロジェクト
TEL　046-859-3384
FAX　046-855-1752
E-mail　mashino.jun@lab.ntt.co.jp