

8

特許からみたOFDM技術

特許庁特許審査第四部デジタル通信

高野 洋 *takano-hiroshi@jpo.go.jp*

OFDMという言葉は読者の皆様も耳にされていること
と思います。この技術は搬送波を用いたデジタルデータ
伝送手段の一形態ですが、近年、そのOFDMがデジタル
データの伝送手段として注目されています。

OFDMは、2003年に開始予定の地上波デジタル放送
の通信方式として採用されています。また、急速に普
及しているADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line：非対称
デジタル加入者線) の通信方式としても用いられてい
ます。さらには、無線LANや電力線搬送モデムでも開発
が進み、ITS (Intelligent Transport System：高度道路交通シ
ステム) におけるノンストップ自動料金収受システムや
路車間通信での使用も検討されています。そして、第4
世代の携帯電話ではOFDMをベースにCDMA (Code Division
Multiple Access：符号分割多重接続) を組み合わせる方式
の研究が盛んとなっているといった具合に、今後の通
信方式はどんどんOFDMに塗り替えられてしまうのでは
ないかとすら感じてしまいます。もちろん、さまざま
な利用分野において特許出願がされ、私も日々審査し
ているといった具合です。

そこで今回の記事では、特許の観点からみたOFDMに
ついて話をしたいと思います。数多い特許出願の中で
みれば、局所的な技術分野の話となりますが、最後ま
でおつきあいいただければ幸いです。



■ OFDMの概要

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex：直交周波数分割多重) を一言で表現しますと、送信すべ
きデータを直交関係にある複数の搬送波に振り分けて
送受信する技術となります。

図-1を用いて技術の概要を説明しますと、OFDM信
号は矩形に近い周波数スペクトラムを有しています。
信号の一部を切り出したかたちでその様子を示しまし
たが、OFDM信号のスペクトラムは多数の搬送波で構
成されており、かつ、各々の搬送波は帯域が重なるよ
うに配置されているため、周波数の有効利用を図るこ
とができます。搬送波の数は用途によって異なります
が、数十から数千と幅広い使われ方をしています。

このようにOFDMは複数の搬送波でデータを送受信
するため、マルチキャリア伝送の一種として捉えられ
ていますが、一般的なマルチキャリア伝送のようにそ
れぞれの搬送波を個別に変調処理してから各変調信号
を加算する必要はなく、フーリエ変換技術を用いてす
べての搬送波を一括して変調・多重して信号を生成す
ることができるため、各搬送波の位相や周波数の調整
をする必要がなく回路規模を縮小できます。また、複
数の搬送波にデータを分割することで各搬送波の信号
速度を低速とし、耐マルチパス特性を向上できること

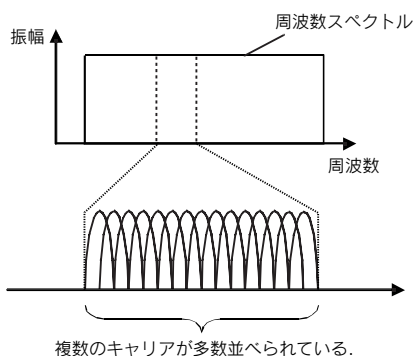


図-1 OFDMの周波数スペクトル

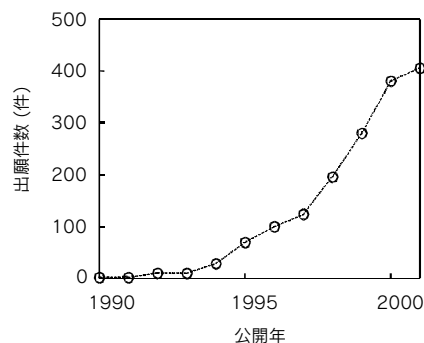


図-2 公開年によるOFDMの出願動向

も特徴としています。さらに後述しますように、各キャリアの変調方式、送信電力、誤り訂正符号等を個別に設定可能なため、信号帯域の一部にノイズが入っても各搬送波の設定を調整するだけでその影響を回避できることを利用して、周波数帯域の有効利用を実現し高速伝送を可能とします。



■特許出願からみるOFDM

OFDMがさまざまな用途の通信方式として注目されたのはここ10年ほどですが、通信理論自体は古くから研究されています。

特許出願については、米国において、送信データを複数の搬送波に割り当てて、各搬送波が直交関係となるように配置して多重するというOFDMの原理に相当する特許が1966年に出願されて1970年に特許となっており、この出願がOFDM伝送方式の基本特許であると思われます(米国特許3488445号、発明の名称: ORTHOGONAL FREQUENCY MULTIPLEX DATA TRANSMISSION SYSTEM、発明者: Robert W. Chang)。

日本では、QAM信号の直交多重を実現することで装置規模を小さくする技術が1976年に出願され、1985年に特許となっています(特許1289356号、発明の名称: 直交多重信号の送受信方式、発明者: 廣崎膨太郎)。現在のOFDMはQAM (Quadrature Amplitude Modulation: 直交振幅変調)、PSK (Phase Shift Keying: 位相偏移変調)を各搬送波の変調方式として用いることが主流ですから、この特許も現在OFDMが採用されている通信の基礎となるものと思われます。

これらの特許はすでに権利期間が過ぎていますが、現在のデジタル通信技術の発展に大きく貢献しているといえるでしょう。

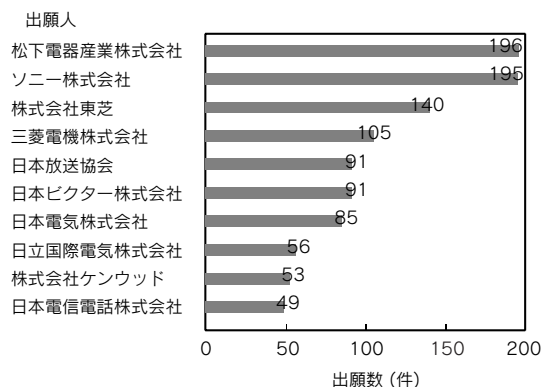


図-3 出願人別出願公開数(～2001年公開)

<搬送波> 情報信号を乗せるための基本的な伝送波。正弦波またはパルス等の振幅、周波数、位相等に信号波による変化を与えて情報を伝送するとき、この情報運び伝える役目を果たす正弦波またはパルス等をいう。

<地上波デジタル放送> デジタル化された地上波テレビジョン放送のこと。地上波テレビジョン放送は現在アナログ放送だが、関東、近畿、中京の3大広域圏では2003年末までに、その他の地域では2006年末までにデジタル化された放送が開始される予定であり、2011年にデジタル放送への完全移行(アナログ放送終了)が予定されている。地上波デジタル放送では、単に高画質、高音質となるだけでなく、大容量伝送、双方向伝送の特徴を活かした各種サービスが予定されている。

<ADSL> 一般の電話に使われている1対の電話線を使って通信する技術で、電話の音声を伝えるのには使わない高い周波数帯を使ってデータ通信を行うxDSL技術の一種。電話局から利用者方向(下り)の通信速度は最高1.5～12Mbps、利用者から電話局方向(上り)の通信速度は0.5～1Mbps程度と、通信方向によって最高速度が違っていることが非対称と呼ばれる理由である。ADSLが使っている周波数帯は電気信号の劣化が激しいため、実際の通信速度は回線の距離や質に大きく影響される。ADSLは、広く普及している電話線を使うために手間がかからず、しかも一般家庭でも利用できる料金で高速なインターネット接続環境を提供できる技術として急速に普及した。

<CDMA> 携帯電話などの無線通信に使われる多重化通信方式の1つ。送信側で複数のデータ信号(携帯電話では、発信者の音声信号)にそれぞれ異なる符号を乗算し、すべてのデータ信号を合成して送る。受信側では送信側の符号を合成信号に乗算することにより、送信側のデータ信号のみを取り出すことができる。複数の送信器が存在し、各々の送信器がデータ信号に異なる符号を乗算して送信し、伝搬路上で合成される形態もある。

<マルチキャリア伝送> 複数の搬送波を使用して信号を伝送する技術の総称。

用語集

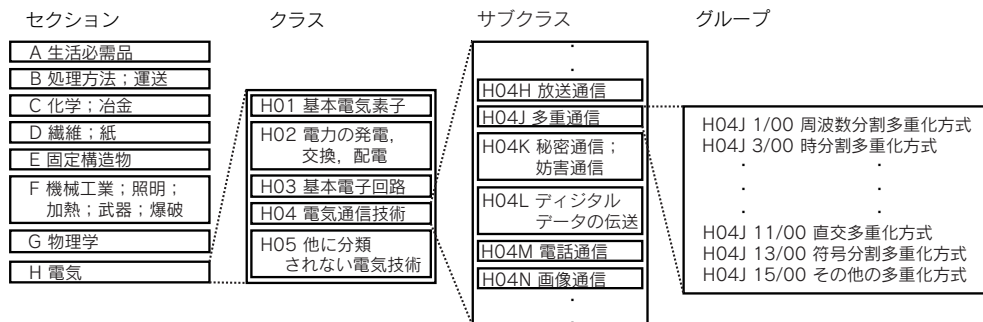


図-4 国際特許分類の概要

次に日本における OFDM の出願動向を見てみましょう (これから示す動向は、後述する国際特許分類に基づいてとった統計です)。

年度ごとの公開件数

各年ごとに公開された出願の件数を見ると、図-2 に示すように、その数は年々増え続けています。これは、高速演算が難しく OFDM の実用化を困難にしていたフーリエ変換処理が、LSI 技術の発展によって高速化が実現可能となり、日欧での地上波デジタル放送で OFDM の採用が検討された頃から一気に注目を浴びて研究開発が進んだためと思われる。また、後述しますように ADSL のようなブロードバンド伝送への要求にも対応できる変調方式であることも理由の 1 つに挙げられるでしょう。このような理由により出願が増えてきましたが、冒頭で挙げたように今後もさまざまな用途でのニーズが増えそうなことを考慮しますと、しばらく出願がなくなることはないと思われます。

出願人別の公開件数

出願人別の出願公開件数の上位を見ますと、図-3 に示すように家電大手各社の出願が多くなっています☆1。また、OFDM が地上波デジタル放送で採用される通信方式であるため、日本放送協会 (NHK) も多数出願をしています。図-3 では上位 10 の出願人を挙げたため、日本の出願人ばかりとなってしまいました。ルーセント (48 件)、コーニンクレッカ (23 件) をはじめとして、外国の出願人による出願ももちろんされています。



■ 国際特許分類からみる OFDM

特許庁では、特許出願は技術分野ごとに国際特許分類という記号が付与されて、その国際特許分類を基に

審査が進められます。

まず、図-4 を用いて国際特許分類について簡単に説明しましょう。本連載は OFDM 技術についてですから、具体例は OFDM に関連する分類とします (他の分類については特許庁ウェブサイト等をご覧ください)。

図-4 に示すように国際特許分類は階層構造となっております。大きく A~H で表示される各セクションに分類されます。各セクションは、さらに 2 つの数字をつけたクラスに細分化され、各クラスはさらに 1 つの大文字を付けたサブクラスを 1 つ以上含みます。また、各サブクラスはグループと称する細展開項目に展開されます。

OFDM が含まれるセクションは、H (電気) となり、H セクションは H01~H05 の各クラスに分けられています。さらに図-4 には OFDM に関連深い H04 (電気通信技術) に含まれるサブクラスのうちのサブクラスを記入しました。読者の皆様は、ここで OFDM がどのクラスに分類されると思われますか？

地上波デジタル放送の用途から放送通信ではないかと考えられますし、すでに実用化されている電話線を使ったブロードバンド伝送の ADSL で用いられることを考慮すれば、電話通信なのではと考えることもできます。そもそもデジタル情報を伝送する技術だから、当然 H04L だろうという考えもあるでしょう。実際、どれも間違いではなく、特許出願には複数の分類が付与されることがよくあります。ただ、冒頭で触れたように OFDM にはさまざまな用途があるため、用途に特徴がある出願にはその用途に応じた分類が付与されますが、それだけでは OFDM 技術は用途ごとにばらばらの分類が付与されてしまいます。したがって、OFDM 技術に統一した分類を付けるためには用途に縛られない分類が必要となります。

それでは、OFDM 技術に付与すべき統一された分類には何がふさわしいのでしょうか？

特許出願に限らず、一般に OFDM 変調方式に関して

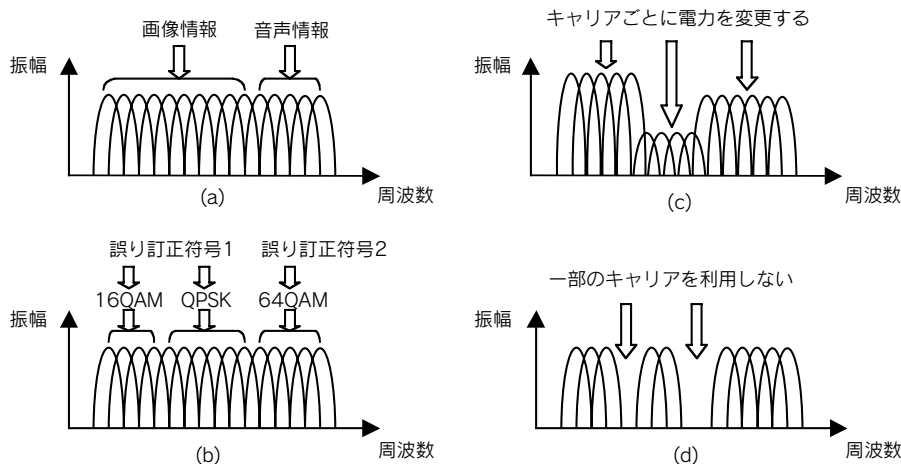


図-5 OFDMの適応変調例

は、(a) 複数のデータビットを逆フーリエ変換して直接変調信号を生成するため、搬送波変調方式の1つと捉えるという考え方や、(b) 生成されたベースバンド信号を周波数軸上でみると、QAM, PSK等で変調された複数の搬送波が多重されているようにみえることから、マルチキャリア伝送の一形態として捉えるという考え方があります。また、OFDMの原理に戻って(c) 直交する複数の搬送波に信号を分割し多重して伝送するという考えもあります。国際特許分類にもそれぞれの見方に応じた分類が存在します。先ほど挙げましたH04Lの中には、搬送波変調方式(H04L27/00)というグループが存在しています。搬送波変調方式というのは、QAM, PSKなどのデジタル変復調方式が分類される技術分類です。また、マルチキャリア伝送は、異なる周波数の複数の搬送波を用いて情報を伝送しますので、多重通信(H04J)に属する分類が付与されています。改めて図-4をみると、H04Jには、H04J1/00(周波数分割多重化方式)、H04J3/00(時分割多重化方式)、・・・、H04J11/00(直交多重化方式)、H04J13/00(符号分割多重化方式)等があることが分かります。一般のマルチキャリア伝送は異なる複数の周波数を用いてデータを伝送していますので、H04J1/00が付与されています。

以上の考え方に基づきますと、OFDMの技術分類としては、(a)の観点でみればH04L27/00に分類され、(b)の観点でみればH04J1/00に分類されるべきですが、日本の特許庁では、(c)の観点を優先して、直交多重化方式(H04J11/00)に分類しています。

また、欧州特許庁(EPO)では、H04L27に分類されています。これは(a)の観点に着目した技術分類といえます。一方、米国では1つの分類に統一されているというよりも、出願によって付与される分類が異なっているという印象を受けます。これは各出願ごとにOFDMの特徴に適した分類が付与されていることを意味します。

たとえば、すでにご紹介したOFDMの基本特許は、米国でH04J1/00に分類されています。

この分類は「国際特許分類」といわれるくらいですから、日米欧で同じ分類が付与されるほうが普通なのですが、OFDMでは事情が違います。しかし、OFDMがその技術の捉え方によって異なる性質を持っているため、各国ごとにどの性質を優先的に捉えるかによって分類付与が異なることも不思議ではないと思います。



■ OFDMの特徴と関連特許出願

次に、OFDMの特徴的な技術とその関連特許を紹介します。

OFDMの最大の特徴はすべての搬送波を一括して変調処理するにもかかわらず、各搬送波をデータの種別等に応じて設定可能であることといえます。図-5を用いて具体例を説明します。まず、(a)図に示すように、各搬送波を異なる情報の伝送に割り振ることが可能です(当然、異なる用途でも割り振り可能です)。また、(b)図に示すように、各搬送波の変調方式を設定可能です。さらに、(c)図に示すように、各搬送波の電力を変更できます。このことは一部の搬送波の電力を0にすることで、(d)図に示すように一部の搬送波を使用しないように設定することも意味します。図-5では複数の搬送波をまとめて設定する例を示しましたが、もちろん、1つの搬送波ごとに設定を変えることができます。

それでは、OFDMの用途として代表的な地上波デジタル放送とADSLについて、OFDMがどのように具体化されているか、また、関連技術としてどのような特許があるかみてみましょう。

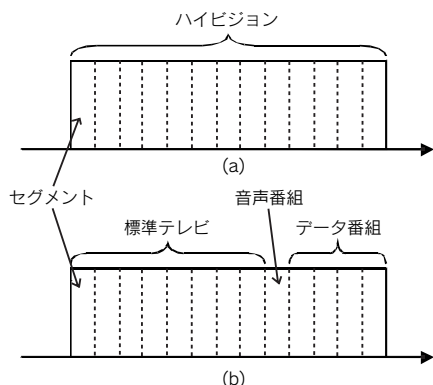


図-6 セグメントの構成例

地上波デジタル放送で用いられる技術

地上波デジタル放送では、信号帯域内に存在する複数の搬送波をセグメントと呼ばれる13のグループに分けて、データの使用帯域幅に応じてこのセグメントを複数用いる方式が用いられます。その様子を図-6に示しますと、たとえば(a)図は、すべてのセグメントを用いてハイビジョン番組を伝送するかたちです。また、(b)図は、音声番組、データ番組、標準テレビ番組を伝送する場合に、番組ごとにデータに応じた数のセグメントを割り当てる例です。この場合、各番組ごとにデータの変調方式や誤り訂正符号の誤り耐性を変えて伝送することができます。

さらに、受信側でもすべての帯域を受信して番組を受信することや、一部の帯域だけを受信して一部の番組だけを受信することが可能です。

ここでいくつか関連する特許を紹介しましょう。

● 特許2920131号 (1999年特許登録)

要旨：妨害波が発生している周波数領域を検出して、その領域をキャリアホール（搬送波にデータを割り当てない）とする技術です。セグメント単位でデータ割り当

ての是非を設定することや、放送波を割り当てないセグメントでは妨害波がない時間帯だけ他の通信用途に使用することで周波数利用効率を高めることも開示されています。

● 特許2990182号 (1999年特許登録)

要旨：デジタル放送の障害となる妨害波が存在しているセグメントの変調方式や符号化率を変更します。同じ情報の伝送に複数のセグメントが用いられる場合でも、その中の一部のセグメントについて設定を変更することでノイズに対して適応的な信号伝送を行う技術です。

● 特許3110244号 (2000年特許登録)

要旨：従来、複数の放送局から放送信号を送信する場合、各々の信号同士の干渉を防ぐために信号間にガードバンドが必要でしたが、この特許では、複数の放送局から送信された複数のOFDM信号同士が直交するように同期させることで信号間の干渉が起きないようにして、ガードバンドを不要とします。

ADSLで用いられる技術

ADSLで用いられるOFDMは、一般にDMT (Discrete Multi Tone) と呼ばれています。DMTを用いることで既存の電話線によって高速伝送が可能となり、各家庭で利用可能なブロードバンド伝送が実現されたといえます。ADSLのサービスでは、これまでアナログ電話やISDN回線で用いられていた周波数帯域よりも広い帯域を信号伝送に用いて（具体的には高い周波数を用いて）、最大1.5Mbpsや最大8Mbpsといった高速伝送サービスを実現しています。ですが、これらの最大値はあくまで理想値で、実際にはノイズの影響を受けてすべての搬送波で理想通りの伝送ができず伝送速度が低下します。しかし、DMTではノイズに合わせて適応的に各搬送波の設定を行って効率のよい動的なビット割り当て

<マルチパス> 電波が送信点から複数の伝搬路を通して受信点に到達する現象。この場合、伝搬路の相違により振幅や位相の異なる電波が合成され合成波形はもとの信号波形と異なる。このために生じる信号波形の歪み特性をマルチパス特性という。

<ブロードバンド> 高速な通信回線の普及によって実現されるコンピュータネットワークと、その上で提供される大容量のデータを活用したサービス。光ファイバー、ADSLなどの有線通信技術や、IMT-2000などの無線通信技術を用いて実現される。500kbps以上の通信回線をブロードバンドと呼ぶことが多い。

<ISDN> 電話やFAX、データ通信等各種の電気通信サービスをデジタルネットワークにより総合的に提供するもの。日本ではNTTがサービスを提供している。現在各国で提供されているサービスのほとんどは通常の電話線を使ったN-ISDN (Narrowband ISDN) であり、3本のチャネル（論理回線）で構成される。通信速度16kbpsのDチャネル（1本）は制御用、64kbpsのBチャネル（2本）は通信用である。2回線同時に使用できるので、電話をかけながらインターネットに接続等が可能となる。また、2回線を束ねて128kbpsの高速通信を行うことも可能である。

<ピンポン伝送> 1つの回線を時間で区切って双方向通信を行う方式。通信を行う端末が情報の収受を行う場合、送信する時間と受信する時間がぶつからないようにすることで1本の回線で送受を可能とすることができる。いわゆるTDD (Time Division Duplex)。

<W-CDMA (Wideband CDMA)> NTTドコモやEricsson社などが開発した第3世代携帯電話の通信方式。cdma2000と同様に高速移動時144kbps、歩行時384kbps、静止時2Mbpsのデータ伝送能力があり、動画・音声によるリアルタイムの通信が可能。NTTドコモの第3世代携帯電話「FOMA」はこの方式を採用している。

<cdma2000> QUALCOMM社などが開発した第3世代携帯電話の通信方式。W-CDMAと同様に、高速移動時144kbps、歩行時384kbps、静止時2Mbpsのデータ伝送能力があり、動画・音声によるリアルタイムの通信が可能。cdmaOne規格 (IS-95) の上位規格にあたる。cdmaOneを利用した携帯電話サービスは各国で開始されているため、無線設備・運用ノウハウを流用することができる。日本ではKDDIが2002年4月にcdma2000 1xサービスを開始した。

ITU (International Telecommunication Union : 国際電気通信連合) が標準化を進めた第3世代通信方式IMT-2000について、1998年2月に東京で21世紀の新しい携帯電話の世界統一規格を各国が話し合う会議が開かれ、アメリカはQUALCOMM社主導のcdma2000を主張したが、ヨーロッパと日本はEricsson社主導のW-CDMAを主張し、話し合いは物別れに終わった。

QUALCOMM社はパワー・コントロールなど数多くの特許を主張することで、ヨーロッパ・日本をけん制しようとした。さらに、QUALCOMM社はITUに、特許の使用を禁じるITU規格の第3号選択をした(特許を持つ企業が他社の提案に対して第3号選択をした場合、その提案は統一規格として認めないということになっている)。これによって、Ericsson社はW-CDMAを統一規格とすることができなくなった。

Ericsson社は2つの方式を別々に認めることで妥協しようとした。しかし、QUALCOMM社はヨーロッパの市場から締め出され、世界統一規格を作ること断念することを受け入れることはできず、この提案を拒否した。

これを受け、Ericsson社は、W-CDMAの特許の中からcdma2000に使われるものを探し、ITU規格の第3号選択をすることによって使用を拒否した。これによって、QUALCOMM社もcdma2000を統一規格とすることができなくなった。

1999年2月マレーシアのクアラルンプールで、この状況を打開するために緊急の会合が開かれた。結局、特許の問題は当事者である両者の話し合いに委ねられることになった。そして両社の直接交渉が合意に至り、両社がお互いの特許を認めて相互に特許契約を結び、双方の規格を統一させて新しい規格を作っていくことに合意した。これによって、双方ともITU規格の第3号選択は解除された。最終的には、両案併記のかたちで決着している。

参考1 QUALCOMM社とEricsson社の特許問題

実現することで伝送速度ができるだけ高速になるよう制御されています。

また、1.5Mや8Mといった最大値の違いは伝送に利用している周波数帯の違いに対応します。8Mの方がより広い周波数帯を使うことで多数の搬送波を用意するために高い伝送速度を実現できる可能性が高くなります。ただ、高い周波数になるほど信号が減衰しやすく、伝送距離が長くなるとその影響は顕著に現れてしまい、たとえ動的なビット割り当てをしても理想通りに伝送できる可能性はかなり低くなります。

このような最大8Mの伝送方式には、北米向け規格に対応した伝送方式と、日本向け規格に対応した伝送方式があり、日本のサービスではその両方の規格が用いられています。両者の一番大きな違いは日本のISDN (Integrated Services Digital Network : 総合デジタル通信網) によるノイズの影響を考慮しているか否かという点にあります。ADSLはISDNと同じ電話線を用いて伝送しているため、ISDNの信号はADSLに対するノイズとなります。したがって、ISDNがピンポン伝送されている日本のADSLでは、ノイズ状況がそのピンポン伝送に同期して変動します。日本向けの規格ではISDN回線と同期して伝送速度を切り替えるため、ノイズが大きい周期では低い伝送速度となるように各搬送波のビット割り当てを設定して誤り耐性を強くし、ノイズが小さい周期では高い伝送速度となるような設定として高速伝送を可能としています。

この日本向け規格に関する特許として、特許3078262号があります(2000年特許登録)。特許請求の範囲は、「デジタル変調された信号を伝送路に出力する送信機と、受信した信号をデータに復調する受信機とによって高速のデータ通信を行う通信装置において、前記信号の伝送路は有線で少なくともその一部は撚対線で構成され、雑音強度の変化の周期に同期した外部からの制御信号によって、前記送信機および受信機のデータ伝送速度を制御する伝送速度制御手段を備えたことを

特徴とする、通信装置」となっていて、まさに上記した切り替え制御手法と同様の権利範囲となっていることが分かります。

他にも特徴的な特許出願は多数ありますが、誌面では紹介しきれませんので、今回はこのあたりにしておきます。



■今後の展望

これまでの出願の傾向は、地上波デジタル放送の通信方式、ADSLの通信方式としての出願が多かったOFDMですが、私個人は、今後CDMA-OFDM関連の出願が急増するだろうと考えています。その理由は、前述したように第4世代携帯電話の通信方式の候補として注目を集めているからです。

携帯電話の通信方式といえば、第3世代のW-CDMAやcdma2000といったCDMA技術が特許出願の主流となっており、世界統一規格が絡んだQUALCOMM社とEricsson社の特許問題は、ご存知の方も多いと思います。

結局、第3世代では上述した特許問題もあって世界統一規格にW-CDMAとcdma2000が共存することとなりましたが、第4世代では本当の意味での世界統一が実現する可能性があります。その通信方式として現在注目されている1つがCDMA-OFDMです(MC-CDMA, OFCDMとも呼ばれています)。第3世代では本当の意味での世界統一規格が実現されなかったために、第4世代では統一へ向けたさらなる強い動きがあるかもしれません。今後も審査を通して第4世代関係の出願には特に注目する必要があると考えています。皆様もこの記事を通じて、OFDM技術に注目されてはいかがでしょうか？

(平成14年9月5日受付)