

Title	広帯域ワイヤレス通信における拡張マッピングを用いたイレギュラー繰り返し符号化BICM-IDと、そのターボ等化への適用に関する研究
Author(s)	趙, 丹
Citation	
Issue Date	2010-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/8924
Rights	
Description	Supervisor: Tadashi Matsumoto, School of Information Science, Master

広帯域ワイヤレス通信における拡張マッピングを用いたイレギュラー繰り返し符号化BICM-IDと、そのターボ等化への適用に関する研究

趙丹 (810201)

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

2010 年 2 月 9 日

キーワード: 拡張マッピング, チェックノード付きイレギュラー繰り返し符号, 変調ドーピング, EXIT 解析, FD SC MMSE.

ディジタル通信は我々の日常生活のコアとなるに到った。そこでの技術的挑戦は高い周波数利用効率と高いパワー効率で高い伝送速度を達成することである。さらに、そのために技術は、実現可能な演算量と低い遅延時間で実現されなければならない。データ伝送システムの性能の理論限界は Shannon によって示された。彼の、1948 年に発表された研究は符号化率と伝送誤り率の関係を議論し、その結果、通信チャンネルにはその能力を示す通信路容量と呼ばれる固有の値が付随し、符号化率が通信路容量よりも低ければビット誤り率 (BER) を任意に低くできることを証明した。それ以来、現実的な演算量で復号可能でシャノンが示した限界を漸近的に達成する符号を構成するための多くの努力がなされてきた。

通信路容量と高い周波数利用効率を達成するためには高い多値数の変調（ガウシアン符号帳を擬似的に実現するため）と強力な符号が必要となる。「変調と符号化をジョイント設計」するための一方式が、1974 年に Massey によって提案された。この方法は、符号化変調と呼ばれる。漸近的に通信路容量に迫る符号設計は、繰り返し処理によって復号が行われるターボ符号の考えによって確立された。ターボ符号の復号のための繰り返し処理は、その柔軟さからその後、他の一般的なケースに拡張されてきた。この考えはターボプリンシプルと呼ばれ、直列または並列接続された複数の構成要素からなる通信システムで適用可能なことが明らかにされた。繰り返し処理によって復号が行われるビットインターリーブド符号化変調は (BICM-ID) は、1974 年に Massey が提案した「変調と符号化のジョイント設計」という研究分野に属し、現在の視点では、通信路容量を漸近的に達成するための物理レイヤとメディアアクセスレイヤのクロスレイヤ最適化問題とも見ることができる。この問題に一解法を与えることが、本研究のゴールである。

BICM-ID 受信機においては、通常のターボプリンシプルに従った繰り返し処理によって復調と復号が行われる。ディマッパーとディコーダでは事後確率最大アルゴリズム (MAP アルゴリズム) が実行され、その結果として得られる対数尤度比 (LLR) が、両者の間で伝播され、繰り返しごとに LLR が更新されていく。原理的に BICM-ID は直列接続型システムであるため、その特性解析のために外部情報伝達チャート (EXIT Chart) に関するエリアプロパティを用いることができる。つまり BICM-ID を用いた最適リンク設計は、ディマッパーとディコーダの EXIT カーブをマッチングさせる問題に他ならない。

この研究では、マルチパス伝播路を介した広帯域シングルキャリア伝送のための、新しい BICM-ID システムの構成法を提案する。ここでは、拡張マッピングと周波数領域 Soft Cancellation Minimum Mean Square Error (FD SC MMSE) 等化が用いられる。また、符号器には、チェックノード付きイレギュラー繰り返し符号が用いられる。これらの間でターボプリンシプルに従う繰り返し処理が行われる。両者の EXIT カーブのマッチングは、拡張マッピングと符号器のパラメータをジョイント最適化することで達成される。このアプローチに対して、まず、最も単純な通信路モデルである加法的ガウス雑音 (AWGN) チャネルの下での EXIT チャートや誤り率特性の解析を試みる。それに続いて、周波数選択性マルチパスフェージング環境の下での特性を明らかにする。予測できる事柄は、従来の技術では実現できなかった、移動通信環境の下でのアウトエージ確率を保証したリンク設計法の確立である。

従来から BICM-ID では、グレイマッピング (Gray Mapping) とターボ符号 (Turbo 符号) や低密度パリティ検査符号 (LDPC 符号) などの非常に強力な符号の組み合わせが適すると考えられてきた。最近になって上記の組み合わせではなく、非グレイマッピング (anti-Gray Mapping) とメモリ数の少ない (復号処理が容易な) 畳み込み符号の組み合わせでも、それらに対応するディマッパーとディコーダの EXIT カーブをマッチングさせることが可能で、これによって、非常に強力な符号を用いなくてもターボクリフを発生できることが明らかにされた。非グレイマッピングの概念をさらに拡張した、拡張マッピングを用いることで EXIT カーブの設計に自由度が追加できる。拡張マッピングでは、シンボル内の一信号点に複数のラベリングを対応させる。これによって、変調方式を変えることなく (つまり、同一のハードウェアを用いたまま)、より多くのビット数の信号点对応が可能となり、周波数利用効率と符号化率のトレードオフが容易にできるようになった。本研究が提案する、拡張マッピングとチェックノード付きイレギュラー繰り返し符号を用いた BICM-ID は、このように非常に簡単な構成で実現できる (つまり、受信機側での演算量が少ない) ことが特徴である。簡単な構成でありながら、符号と拡張マッピングのパラメータを最適化した結果、AWGN 通信路においてシャノン限界にまで、あと 1 ~ 2dB という驚異的な特性を達成できることが明らかとなった。またチェックノードを導入したことで、誤り率フロア的大幅な改善が可能となった。さらに、変調ドーピング (Modulation Doping) を提案し、これによって極めて低い SNR でターボクリフを発生する BICM-ID の

構成も可能となった。

周波数選択性を有するフェージングチャネルを介した広帯域シングルキャリア伝送では、マルチパス伝播に起因する符号間干渉 (Inter-Symbol Interference) を除去する必要がある。このための技術として、ターボ等化技術が有望視されている。特に、FD SC MMSE ターボ等化は、準最適等化技術でありながら、極めて少ない演算量で最適等化にほぼ等しい特性を達成する。この FD SC MMSE ターボ等化において、従来から広く検討されてきたグレイマッピングと畳み込み符号を組み合わせた BICM-ID を適用すると、フェージングによるチャネル変動の影響によって等化器の EXIT カーブが大きく変動する。このため、ディマッパとディコーダの EXIT カーブの交差する点が、広い相互情報量の値の範囲に分布してしまう。このために、ビット誤り率は大きく変動し、急激なターボクリフの発生は期待できない。

本研究が提案する BICM-ID を FD SC MMSE ターボ等化に組み合わせた場合、ラベリング長の拡張によって、フェージングに起因するディマッパの EXIT カーブの変動が抑えられる。その結果、ビット誤り率の変動も抑制できる。このことは、あるマルチパスチャネルのチャネル実現 (Channel Realization) に対して最適設計したチェックノード付きレギュラー繰り返し符号は、他のチャネル実現に対しても最適に近い設計になっていることを意味し、結果として多くのチャネル実現で急激なターボクリフが発生できる（つまり、チャネル実現毎に符号パラメータを最適化しなくてもよい）。これによって、周波数選択性フェージンを受ける移動通信環境下においても、設計時に予測したアウトエージ確率でターボクリフを発生させることが可能となった。