OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Monotone Error Structure and Local Weight Distribution of Linear Codes
Author(s)	安永, 憲司
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/49283
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

氏　　名	安永憲司（やすながけんじ）
博士の専攻分野の名称	博　士（情報科学）
学位記番号	第　２２１６１　号
学位授与年月日	平成 20 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 情報科学研究科マルチメディア工学専攻
学位論文名	Monotone Error Structure and Local Weight Distribution of Linear Codes **（線形符号の単調誤り構造と局所重み分布）**
論文審査委員	（主査） 教　授　藤原　　融 （副査） 教　授　薦田　憲久　　教　授　下條　真司　　教　授　西尾章治郎 教　授　岸野　文郎　　准教授　石原　靖哲

論 文 内 容 の 要 旨

誤り訂正符号は、雑音のある通信路において信頼性の高い通信を実現するために必須の技術である。符号の訂正能力指標として最小距離 d がある。どの符号も、距離 $d/2$ 未満の誤りなら必ず訂正できるため、$d/2$ 以上の数の誤りに対する訂正能力の分析が重要となる。また、応用上重要な通信路モデルである加法的白色ガウス雑音（AWGN）通信路に対して、符号の訂正能力は誤り確率で評価される。しかし、誤り確率の正確な値の導出は一般に困難なため、重み分布などを利用した上界・下界によって評価が行われる。

本研究では、まず、訂正可能・不可能誤りの単調構造について分析を行う。特に、ラージャハーフ（larger half）そしてトライアル集合（trial set）という概念を利用した分析を行う。結果として、1 次 Reed-Muller 符号に対し、重み $d/2$ および $d/2+1$ の訂正可能・不可能誤り数の正確な値を導出する。また、極小な訂正不可能誤りについても、その構造を明らかにし重み分布を導出する。一般の符号に対しては、トライアル集合を利用した分析を行う。まず、トライアル集合の最小サイズの上界・下界を導出し、いくつかの符号に対して実際に計算を行う。これにより、(15、5) BCH 符号や（16、5）拡大 BCH 符号のトライアル集合の最小サイズを決定できる。そして、すべての最小重み符号語がトライアル集合に含まれる符号の条件を導く。符号長 128 情報長 64 以下の拡大 BCH 符号や、符号長が短くない Reed-Muller 符号については、これを満たす。さらに、この条件を満たす符号に対し、重み $d/2$ の訂正不可能誤り数についての下界を導出する。

次に、AWGN 通信路の誤り率評価のために重要な、符号の局所重み分布の導出について取り組む。まず、符号の局所重み分布からその拡大符号・偶部分符号の局所重み分布を導出する方法について述べる。そして、拡大符号が推移不変符号である場合は、拡大符号からもとの符号の分布を求める方法について述べる。実際これらの関係を適用するには、ある性質をもつ符号語の数を求める必要がある。しかし、符号語の重みがすべて 4 の倍数であるような符号においては、その性質をもつ符号語は存在しないことがわかる。そのような符号として、符号長 128、情報記号数 57 以下の原始 BCH 符号や符号長 128 以上の 3 次 Reed-Muller 符号などがある。これらの符号については、その局所重み分布から、パンクチャド化した符号の分布を求めることができる。

さらに、局所重み分布を計算するアルゴリズムを提案する。局所重み分布は極小符号語の重み分布である。このア

ルゴリズムは自己同型群が大きい符号に対して有効である。基本アイディアは、極小符号語のベクトル置換に対する不変性による極小性検査符号語数の削減と、コセット分割による極小性不変符号語の探索時間削減である。拡大原始BCH 符号や Reed-Muller 符号は大きな自己同型群を持っており、提案アルゴリズムが有効にはたらく符号である。また、アルゴリズムの改良として、符号の木構造を利用した極小性検査時間の短縮、コセット分割の再帰的利用などによる探索時間の削減も提案する。実際に拡大原始 BCH 符号や Reed-Muller 符号に対し計算を行う。符号長 128、情報記号数 50、43、36 の拡大原始 BCH 符号そして符号長 128、256 の 3 次 Reed-Muller 符号の局所重み分布を求める。上で明らかにした拡大符号・偶部分符号との関係を利用することで、原始 BCH 符号やパンクチャド Reed-Muller 符号、そしてそれらの偶部分符号の局所重み分布についても求めることができる。

本論文は 7 章からなる。第 1 章は研究の背景と導入、第 2 章は線形符号の基本的性質や代表的な線形符号の構成法について述べる。第 3 章にて 1 次 Reed-Muller 符号の単調誤り構造についての研究をまとめる。第 4 章はトライアル集合を利用した分析についてまとめる。第 5 章は局所重み分布間の関係についてまとめる。第 6 章は局所重み分布導出アルゴリズムとその改良、そして計算によって求めた局所重み分布について記述する。第 7 章にて、研究全体のまとめと本研究の貢献について述べ、今後の研究の方向についても述べる。

論文審査の結果の要旨

近年、通信の高信頼化の要求を満たすため、誤り訂正符号の利用が必要不可欠となってきている。実際、LSI 技術の進歩に伴い、ほとんどの通信システムで誤り訂正符号が用いられるようになってきている。特に衛星通信など高信頼化要求と共に高速化の要求も強い通信における誤り制御システムでは、符号の誤り訂正能力を精査し、要求に適した符号を用いることで、符号化率をできるだけ大きくして高速通信が行えることが望ましい。

本論文は、誤り訂正符号の能力評価において基本となる符号の構造に関する研究を行い、離散通信路における訂正不能誤り数や、加法的白色ガウス通信路に代表される連続通信路における性能評価に重要な局所重み分布に関する研究成果をまとめたものである。その主要な成果を要約すると次の通りである。

⑴ 符号の最小距離を d とするとき、重み d/2 や d/2＋1 の誤りのうち訂正不能（可能）なものの個数を求める問題は、古くから難しい問題として符号理論研究者に知られているが、誤り構造の単調性などの知見を用い、1 次のリードマラー符号について、個数の公式を導出した。

⑵ 符号化率の低い BCH 符号やリード・マラー符号を含む符号のクラスについて、重み d/2 の訂正不能なものの個数の下界を導出した。符号長が長くなると漸近的によい下界となる。

⑶ 符号の局所重み分布を、符号の記号位置置換不変性を利用して計算するアルゴリズムを考案して、符号長が 128 や 256 の拡大 BCH 符号やリード・マラー符号の局所重み分布を求めた。

⑷ 符号の局所重み分布からその拡大符号・偶部分符号の局所重み分布の関係式、及び推移不変な拡大符号からもとの符号の分布の関係式を導出し、前述のアルゴリズムの計算結果を関連符号の局所重み分布を求めるのに利用できるようにした。

以上のように、本論文は符号理論に関する先進的な成果をまとめており、情報科学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士（情報科学）の学位論文として価値あるものと認める。