

氏 名	いま い じゅん 今 井 潤
学位(専攻分野)	博 士 (情 報 学)
学 位 記 番 号	情 博 第 229 号
学位授与の日付	平 成 18 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	情 報 学 研 究 科 数 理 工 学 専 攻
学位論文題目	A New Class of Binary Constant Weight Codes and Its Decoding Algorithm (2 値重み一定符号の新しいクラスとその復号アルゴリズム)
論文調査委員	(主 査) 教 授 中 村 佳 正 教 授 岩 井 敏 洋 教 授 永 持 仁

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、誤り訂正符号理論において理論的な解明がほとんど未開拓である 2 値非線形符号に関するものである。具体的には、2 値非線形符号の中で、特に理論上重要であり、かつ近年需要の高まっている 2 値重み一定符号に着目し、有限置換群から誘導される新しい符号のクラスを発見し、その組織的構成法を与えている。とりわけ、符号の性能を表す各パラメータ、特に、最小距離と総符号語数に関して優れた値を持つ符号を構成する方法を与えている。この中には、与えられた重みと最小距離をもつ符号語数の大きな符号の系列が含まれている。これらの符号は、ベル研究所の E. M. Rains と N. J. A. Sloane らによって管理されている 2 値重み一定符号に関するテーブルにないものである。さらに、提案したクラスの重み一定符号に対する復号アルゴリズムを考察している。

従来、誤り訂正符号理論における主要な研究対象は線形符号であった。とりわけ、理論的な研究のほとんどが線形符号に関するもので、非線形符号の理論的取り扱いに関する研究成果は非常に少ないが、例外的な研究に Hammons, Kumar, Calderbank, Sloan, Sole らの1994年の結果がある。彼らの結果は 4 元からなる環上の n -次元加群から 2 元からなる体上の $2n$ -次元ベクトル空間への等長写像であるグレイ写像に着目し、既存の 2 値非線形符号をこのグレイ写像で引き戻すことにより、これらの 2 値非線形符号の間に成立する未知の関係を発見したものである。申請者らは Hammons らの結果に基づき、有限置換群などの上位にある有用な代数構造から 2 値重み一定符号を誘導するという着想を得たものである。

第 1 章では、非線形符号についての研究の背景と本論文の目標を述べている。

第 2 章では、本論文で用いる記号や基本的な概念についてまとめている。

第 3 章では、有限群のケーレーグラフ表示により誘導される重み一定符号として、有限単純群のひとつである位数 60 の 5 次交代群からその置換表現を用いて誘導される 2 値重み一定符号の性能を評価している。さらに符号語が群をなすこと、またその表現が正方行列で与えられることを利用し、パリティ検査と行列演算を組み合わせた簡便な復号化アルゴリズムを提案している。

第 4 章では、第 3 章の議論を引き継ぎ、より一般の有限置換群からその置換表現を用いて、同じ符号長でありながら最小距離の比較的大きな符号の例を構成している。まず、同じ集合上に作用する 2 個の有限置換群を組み合わせ、より大きな次数をもつ置換群を構成する方法を提案している。実際に、この方法により、2 個の一般線形群を張り合わせて射影空間に作用する 2 次一般射影変換群を構成し、同時に、無限遠点が追加されることで最小距離が延びたより大きな符号語数をもつ符号を誘導している。この符号は Rains-Sloane のテーブルにない新しい符号である。

第 5 章では、前章までで提案している新しい重み一定符号のクラスに対する復号アルゴリズムを提案している。このアルゴリズムは符号理論で用いられている通常のパリティ検査に加え、符号語が群を成すことを利用した置換群論的アルゴリズムを組み合わせることで構成されたものである。最小距離により許される判別可能な誤りであれば、本アルゴリズムによって誤り訂正可能である。

論文審査の結果の要旨

本論文では、これまで研究が少なかった非線形符号を考察し、高性能な2値重み一定符号の新しいクラスを構成することに成功している。この構成法は、有限置換群の置換表現を用いて符号を誘導するものである。さらに、構成された符号上でも群論的演算が実行可能という利点を生かすことで、群論的復号アルゴリズムを提案している。

既存の非線形符号は、それが線形符号の理論的限界を超えるものであっても、例外的かつ特殊な手法により構成されたもののばかりで、組織的構成法、およびその復号アルゴリズムに関する研究結果には注目すべきものが少なかった。これに対して、申請者は非線形符号の中の重要なクラスである2値重み一定符号に着目し、有限置換群とその置換表現により誘導される新しい符号のクラスを定義し、同時に、符号語数の大きな重み一定符号を組織的に構成することに成功している。

申請者はまた、一連の研究で定義した2値重み一定符号に対する復号アルゴリズムを提案している。このアルゴリズムは従来線形符号で用いられているパリティ検査手法に、申請者独自の置換群論的アルゴリズムを組み合わせることで構成されており、与えられた条件を有効に活用したものといえる。従来研究との比較でいえば、申請者の結果は、Hammonsらがグレイ写像という非準同型写像を用いたために解決できなかった復号化問題を、置換表現という準同型写像を用いることで復号化を実現可能としたといえることができる。

このように現時点で本論文の結果は、非線形符号に関する結果として、新規性、独自性の点はもちろん、実用上も価値のある内容を含んでおり、高く評価されるものである。

よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値のあるものと認める。

また、平成18年8月25日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。