

④ 歩道のバリアフリー化実施前後の通行行動と身体負荷の変化を調査分析している。整備区間の整備前後の歩行や通行に伴う心拍数、通行時間、通行行動を調べ、車椅子使用者群、車椅子介助者群、高齢者群、視覚障害者群、健常者群の通行行動の差異を明らかにし、バリアフリー化の整備効果による身体負荷について考察している。その結果、車椅子介助者群では、整備後に心拍数が増加している。これは、単なる歩行だけでなく、歩行以外に車椅子を連続して操作する上肢、肩、背腰の強い筋緊張を伴う身体負荷の増加と関連していると思われる。

⑤ 歩道のさまざまなバリアーと身体負荷の特徴では、バリアフリー化に伴う道路整備効果を評価するために、さまざまな整備状況を選択できるモデルコースを利用し、車椅子使用者の生理的負荷の指標として、心拍数、通行時間、身体疲労の発症部位、握力の測定、座位姿勢の変化を調べ、バリアフリー化による歩道環境と身体負荷との関連について考察している。縦断勾配と横断勾配に対抗する身体負荷と定常状態の持続に伴う身体負荷が相乗作用として機能した結果、心拍に影響を与えている可能性があることを示している。路面の均一化と、縦断・横断勾配が深く関係している。車椅子による走行時の姿勢と身体負荷を考慮に入れた、バランスのよいバリアフリーの歩道設計が重要であることを示している。これらは車椅子による移動のしやすさを示す指標の開発に役立つ大きな成果と言える。

⑥ 電動車椅子と手動車椅子の段差における身体負荷では、歩道を走行する上で大きなバリアーの一つとなる歩道段差における電動車椅子利用の有効性について述べている。電動車椅子と手動車椅子の運転操作に伴う身体負荷について、歩道横断行程中の心拍数、走行速度、所要時間を比較し、電動車椅子の有効性について考察している。その結果、電動車椅子と手動車椅子では、段差の昇降で心拍の結果が異なることを明らかにしている。手動車椅子では、段差を下る時よりも上る時の方が心拍は高いが、反対に電動車椅子では上る時よりも下るときの方が高いことを明らかにしており、電動車椅子が手動車椅子よりも、段差を上る時の身体負荷の軽減効果が高いことを明らかにしている。

以上、車椅子使用者の移動環境と身体負荷の関係について明らかにしており、用いられた手法は客観的な評価手法として非常に有効と言える。現在の移動環境における当事者の移動負荷を知ることによって、車椅子使用者の「やさしい移動環境」造りに貢献できるものであり、その成果は大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文に十分値すると判定した。

氏名	おがみ ゆう き 小 上 祐 輝
学位の種類	博 士 (工学)
学位記番号	工 第 171 号
学位授与の日付	平 成 20 年 3 月 22 日
学位授与の要件	学位規程第4条第1項該当
学位論文題目	バンクチャド畳込み符号の構成法に関する研究

論文審査委員 (主 査)	教 授	西 村 卓 也
(副主査)	教 授	潮 和 彦
(副主査)	教 授	田 川 聖 治

近年のデジタル通信の発展はめざましく、通信の信頼性を支える誤り訂正符号はますます重要となってきている。誤り訂正符号とは、通信路上の雑音などで生じた誤りを受信側で訂正することを目的とした符号であり、情報源符号に冗長性を持たせたことにより構成される。現在では、通信のみならず各種デジタル機器でも幅広く用いられている。実用上用いられる誤り訂正符号は、ブロック符号と畳み込み符号の二つに分類される。ブロック符号には、ハミング符号、BCH符号、リードソロモン符号などがあり、情報源符号をブロックに区切り符号化する。一方、畳み込み符号は情報源符号を連続的に変換することにより符号化する。その符号器は、線形有限状態機械を用いて簡単に装置化することができ、優れた誤り訂正能力を持っている。また復号においてもビタビ復号アルゴリズムを用いれば最尤復号が可能であることが知られている。したがって、畳み込み符号は、第3世代携帯電話、深宇宙通信、衛星通信などの分野で用いられ始めており、今後ますます利用が広がるものと考えられる。本論文は、この優れた畳み込み符号の構成法に関するものである。畳み込み符号は符号化率 R 、拘束長 m 、および符号器の構成を表す生成行列 $G(D)$ により特定される。符号化率は符号器の出力数と入力数との比で、符号化の効率を表しており、拘束長 m は符号器である有限状態機械の次元数（シフトレジスタ数）であり、入力ビットが出力系列に影響を与える長さを示している。誤り訂正符号を使用するシステム（例えば通信システム）を設計するとき、システムでの誤り発生特性（通信路の雑音特性など）を考慮して、最初に符号化率および拘束長が決定される。その上で最も誤り訂正能力の優れた最良符号が選定される。畳み込み符号の最良符号を組織的に構成する方法は知られておらず、候補となる（符号化率、拘束長で定まる）符号集合のすべてに対して誤り訂正能力を調べることで、最良符号が決定されている。符号の誤り訂正能力はその重み分布を計算することで評価されるが、この重み分布は、符号器での符号化を表現する2分木を走査しながら計算する必要がある。この走査は重みを計算しながら進めていくが、走査が進む（深くなる）ほど計算量が膨大となるから、拘束長の大きい符号では計算量は膨大になってしまう。この重み分布を効率的に計算するアルゴリズムとして、Cedervalらの高速木探索アルゴリズム（FAST: Fast Algorithm for Searching Trees）およびこれを改良した森井らの改良高速木探索アルゴリズム（IFAST: Improved FAST）などがある。どちらも走査していく途中で計算を打ち切る条件を示して計算時間を短縮している。

本論文3.2節では、FASTとIFASTより短い時間で重み分布を計算できる双方向走査法を提案している。この方法は、ある符号と逆符号（生成行列を逆順にした符号）の重み分布は等しいという性質を利用して、走査を順方向と逆方向の両方向に行う全く新しい計算法である。これまでの方法は木を順方向にのみ走査していたが、本論文の双方向走査法では、逆符号の木を利用して、順方向と同時に逆方向にも走査を行い、どちらか打ち切り条件を満足すれば計算を打ち切る方法である。重み分布は順方向と逆方向のどちらで計算しても等しくなるが、計算打ち切り条件が生じる深さは同一ではない。この走査の深さの差を利用してのが本論文の双方向走査法である。その有効性は走査が浅いほど計算量が大幅に減ることに拠っており、実証計算でもその効果は確認されている。最良符号を探索する際の計算量は、候補の重み分布による計算量がほとんどを占めるため、効率よく重み分布を計算する方法は最重要課題であり、この双方向走査法は本論文の基本となるものである。

次に、この双方向走査法を用いて最良畳み込み符号の構成問題を考察しているが、拘束長が増大するにつれて候補符号の数は指数関数的に増大するため、すべての符号の重み分布を計算して符号の良さを比較しなければならないこの問題では、重み分布の計算法の改良だけでは最良符号を見つけるのは不十分である。本論文では、最良畳み込み符号を効率的に探索する反復計算アルゴリズムを提案している。この問題においても候補符号の重み分布を計算するが、その過程で既計算の値より評価が悪化した場合は直ちに走査を中止して、その符号を候補から棄却する。本論文で提案している反復計算アルゴリズムは、この非最良符号の棄却を次のように効率的に行えるように工夫している。すなわち、すでに計算済みの候補符号の中で最良の重み分布を閾値として走査を行い、この閾値を超えた場合は直ちに符号を棄却する方法である。これによって、少ない計算量で非最良符号を大量に棄却することが可能となり、これまで計算できなかった条件の下で最良畳み込み符号を多数構成できている。

畳み込み符号をもとに符号化率を高める工夫をしたものがバンクチャド畳み込み符号である（以下バンクチャド符号と記す）。バンクチャド符号は、原符号の畳み込み符号に消去行列による詰め込み処理を行い生成される。高符号化率の符号では復号器の構造が複雑となり実装の際に問題となるが、バンクチャド符号は高符号化率であるにもかかわらず比較的容易に復号器が実装できることが知られている。また消去行列 P を変化させることにより、同じ原符号の符号器を用いて様々な符号化率の符号を作り出すことが可能であり、これは符号化率可変バンクチャド符号として最近盛んに研究が行われている。このバンクチャド符号についても最良符号を組織的に構成する手法は知られておらず、候補となる符号の集合を探索することにより最良バンクチャド符号が構成されてきた。本論文で提案した畳み込み符号に対する双方向走査法および反復計算アルゴリズムはそのままバンクチャド符号にも適用でき、その有効性も同じである。しかし、最良バンクチャド符号の探索では、原符号と消去行列のすべての組み合わせを探索しなければならず（以下、これを全探索法と記す）、計算量は畳み込み符号の場合より膨大となる。そのため、従来研究の多くは、性能の優れた原符号（畳み込み符号）から性能の優れたバンクチャド符号が生成されるという仮定に基づいて、特定の性能の優れた畳み込み符号を原符号として、これとすべての消去行列の組み合わせを候補とする探索が行われてきた（以下、これを部分探索法と記す）。部分探索法は、得られた符号が最良である保証は無いものの、短い探索時間で比較的性能の良い符号を構成することができる。本論文4.2節では、部分探索法でこれまで知られている優れたバンクチャド符号に対し、さらに優れた性能のバンクチャド符号の探索を試みている。また、得られた結果から原符号とバンクチャド符号の性能の関係についても考察しているが、ここで得られたバンクチャド符号が最良である保証はない。本論文4.3節では、最良バンクチャド符号の効率的な全探索法である等価探索法を提案している。等価符号はバンクチャド符号と重み分布の等しい等符号化率の畳み込み符号であり、任意のバンクチャド符号には等価符号が存在することが知られている。等価探索法は、まずバンクチャド符号と等価な畳み込み符号の中から最良畳み込み符号を導出し、これより最良バンクチャド符号を構成する方法であり、実証計算によりこの方法の有効性を確認している。この実証計算で、従来の単純な全探索では導出が困難であった最良バンクチャド符号を多数見つけている。本論文は、最良または性能の優れたバンクチャド畳み込み符号を効率的に構成する方法についてまとめたものであり、以下の5章で成り立っている。

第1章 序論

研究背景について述べ、本論文の位置づけを行っている。

第2章 畳み込み符号およびバンクチャド畳み込み符号

畳み込み符号およびバンクチャド畳み込み符号の基本的性質について述べている。

第3章 最良畳み込み符号の構成法

畳み込み符号の最良符号探索に関する提案手法をまとめて記述している。3.2節では、従来の畳み込み符号の重み分布計算アルゴリズムであるFAST、IFASTなどを説明し、それらの方法より大幅に計算時間を短縮できる双方向走査法を提案している。3.3節では、効率的に最良畳み込み符号を探索する方法として反復計算アルゴリズムについて述べている。また実際の最良符号探索の結果からその効果を確認している。

第4章 性能の良いバンクチャド畳み込み符号の構成法

従来研究より優れた性能のバンクチャド符号を部分探索法および全探索法で導出した成果をまとめて記述している。4.2節では、最良畳み込み符号から生成されたバンクチャド符号の候補集合に、部分探索法による探索を行い、その結果から原符号とバンクチャド符号の関係について考察している。見出した符号の多くは既知の符号より優れた符号となっている。また優れた性能の原符号から優れたバンクチャド符号が得られる可能性が高いことを示している。4.3節では、全探索法による方法として、最良バンクチャド符号を探索する等価探索法を提案している。これはバンクチャド符号に等価な畳み込み符号から最良畳み込み符号を導出し、これより最良バンクチャド符号を構成する方法である。また実証計算で、従来導出が困難であった最良バンクチャド符号を多数導出している。

第5章 結論

本章は結論であり、本論文で得られた結果をまとめて結論としている。

論文審査結果の要旨

申請者の学位論文は、デジタル技術を支える主要な理論のひとつである誤り訂正符号論に属するものであり、バンクチャド畳み込み符号の効率的な構成法に関する研究成果を纏めている。この符号は優れた誤り訂正能力を持っており、第3世代携帯電話、深宇宙通信、衛星通信などの分野で使われ始めており、今後急速に利用が広まるものと考えられる。論文の詳細な内容は、前記【論文内容の要旨】のとおりであるが、その研究成果は次のように纏められる。

(1) 畳み込み符号において符号語の重み分布を効率的に計算する双方向計算法を提案している。
畳み込み符号の誤り訂正能力は、符号語の重み分布を計算することで評価される。この重み分布は、符号器での符号語生成過程を表現する2分木を走査する必要があり、拘束長が大きくなると計算量は膨大となる。従来は適切な打ち切り条件を設定して走査を中止し、全体の計算時間を短縮する方法が提案されてきた。双方向走査法は、ある符号と逆符号（生成を逆順にした符号）の二つの木を作成し、走査を順方向と逆方向の両方向に走査を行う新しい計算法である。重み分布は順方向と逆方向のどちらで走査しても等しくなるが、打ち切り条件が生じる「深さ」は同一ではない。この走査の「深さ」の差を利用して大幅に計算量を節約したのが本論文の双方向走査法である。この方法の有効性は実証計算で確認されている。

(2) 最良畳み込み符号を効率的に構成する反復計算アルゴリズムを提案している。
通信システムの設計で符号化率、拘束長などが設定されると、膨大な数の畳み込み符号から最も誤り訂正能力の優れた畳み込み符号（以下、最良符号と略記）を見出すのが最良符号構成問題である。すべての候補符号の重み分布を計算して符号の良さを比較していくのであるが、重み分布の計算法の改良だけでは最良符号を見つけるには不十分である。符号の重み分布計算の走査において、既計算の重み分布を閾値として走査を行い、閾値より評価が悪化した場合は直ちに走査を中止して、その符号を候補から棄却する。このように棄却を効率よく大量に行うのが本論文で提案している反復計算アルゴリズムであり、その有効性は実証計算で確認されている。すなわち、これまで計算ができなかった条件下で多数の最良畳み込み符号を構成できている。

(3) 最良バンクチャド畳み込み符号の効率的な構成方法として等価探索法を提案している。
また、等価探索法でも計算が不可能な場合でも、最良の保証はないが優れた性能を示すバンクチャド畳み込み符号を見出す部分探索法を改良している。
元になる畳み込み符号に消去行列による詰め込み処理を行って得られるのがバンクチャド畳み込み符号である。この符号は高符号化率で符号器および復号器の実現が容易であるなど優れた特性を持っているが、消去行列が新しく加わる分、最良符号を探索するのが困難となる。バンクチャド符号には、重み分布の等しく等符号化率の畳み込み符号（これを等価符号と言う）が存在する。等価探索法では、まずバンクチャド符号と等価な畳み込み符号の中から最良（等価）畳み込み符号を導出し、これより最良バンクチャド符号を構成する方法である。実証計算では、従来の単純な全探索では導出が困難であった最良バンクチャド符号を多数見つけている。このような全探索で最良符号が見つけれない場合に対し、最良畳み込み符号を固定し、これにすべての消去行列を組み合わせた候補集合に探索を行う部分探索法を提案している。この方法では最良符号の保証は得られないが、従来知られていた優れたバンクチャド符号よりさらに優れた性能のバンクチャド符号を多数見つけている。

以上の提出論文における研究成果は、工学的に有用なものであり、審査委員全員は提出された論文が博士（工学）の学位論文として十分価値あるものと認定した。

氏名	東 條 文 男 <small>とう じょう ぶん お</small>			
学位の種類	博 士 (工学)			
学位記番号	工 第 1 7 2 号			
学位授与の日付	平 成 2 0 年 3 月 2 2 日			
学位授与の要件	学位規程第4条第1項該当			
学位論文題目	ポリマーフィルムおよびシートの製造工程における膜厚測定システムに関する研究			
論文審査委員 (主査)	教授	伊 藤	峯 義	
(副主査)	教授	中 山	斌 義	
(副主査)	教授	林	光 澤	