

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	畳み込み符号を用いた 全光誤り訂正符号化技術に関する研究
Title(English)	A Study on Optical Forward Error Correction Coding Scheme with Convolutional code
著者(和文)	相川洋平
Author(English)	Yohei Aikawa
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10532号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種類:課程博士, 審査員:植之原 裕行,浅田 雅洋,小山 二三夫,渡辺 正裕,宮本 智之,遊部 雅生
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10532号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	物理電子システム創造 専攻	申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)	Academic Degree Requested	Doctor of
学生氏名： Student's Name	相川 洋平	指導教員 (主)： Academic Advisor(main)	植之原 裕行	
		指導教員 (副)： Academic Advisor(sub)		

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は、畳み込み符号を対象とした光符号化技術に関してその研究成果を報告するものである。論文内容は以下、7つの章から構成される。

1章では、研究背景に触れ、研究対象および研究目的を明らかにした。まず、今後更なる大容量化が進んでいく光通信において、既存の電気処理に頼った誤り訂正 (FEC) 技術では大規模データ処理における消費電力増加が避けられない現状を述べた。その上で、電気処理を介さずに光パスを維持したまま FEC 符号化技術を実現することで、光パスの途中にて雑音耐性を付加する手法を新規に提案した。提案手法の実現を目指して、畳み込み符号・Viterbi 復号を研究対象に選択するとともに、光信号処理を用いた畳み込み符号化・Viterbi 復号化技術の確立にむけた具体的な取り組みを研究目的として列挙した。

2章では、畳み込み符号および Viterbi 復号の動作原理に関して説明を行った。畳み込み符号は XOR 演算を、Viterbi 復号は比較演算をそれぞれ基本構成要素とする。そのため、光信号処理を導入するにあたって、光 XOR 演算の高精度な制御、および比較演算の光処理化が必要となる旨を述べた。

3章では、光 FEC 符号化技術に関する解析的検討内容を述べた。まずは、光素子を用いた符号化回路を提案し、光 XOR 素子に高非線形ファイバ (HNLF) における四光波混合 (FWM) を用いることを明らかにした。その後、光 XOR 動作に関して数値解析を用いて最適動作条件を導出した。動作条件は、HNLF 長および信号光強度に対して求め、どちらのパラメータにおいても最適条件が存在することを解析結果とともに示した。つづいて、パラメータを最適条件に設定し、光 FEC 符号化動作の解析的実証を試みた。その結果、動作速度 10 Gbps において正常動作を確認するとともに、4 dB の符号化利得が獲得可能であることを確認した。さらに、光 FEC 符号化動作に関して動作トランスを評価し、最適条件において動作トランスが最大となることを示した。また、トランス評価結果から、動作の実験実証にむけて、信号光強度と位相整合条件の正確な調整が重要である旨を述べた。

4章では、光 FEC 符号化動作に関する実験的検討内容を述べた。まず、3章にて提案した回路を光ファイバ系にて実装を行った。つづいて、実際の HNLF を用いた場合の FWM 生成効率を測定し、ゼロ分散波長 1550 nm を中心として 12 nm の帯域内に信号波長を収める必要があることを確認した。さらに、光 XOR 動作における最適条件を実験的に評価し、3章の解析結果と同様の傾向を示すことを確認した。最後に、最適条件下において光 FEC 符号化動作の実証を検討し、その結果、動作速度 10 Gbps において正常動作が得られたことを確認した。さらに、BER 測定を行った結果、 $BER > 10^{-8}$ において 4 dB の符号化利得が得られたことを確認した。

5章では、光 FEC 符号化技術における性能限界に関して述べた。一般に、高性能な符号を用いることで符号化利得は向上するが、提案技術では光 XOR 素子が従属で接続される構成となるためにパワーペナルティが発生する。そこで、符号化利得の理論上界とパワーペナルティの差分を計算し、符号化利得の性能限界を評価した。その結果から、現実の光ネットワークを対象としたときに 7.2 dB の符号化利得が獲得可能であることを確認した。

6章では、光信号処理を用いた Viterbi 復号に関する解析的検討内容を述べた。まずは、比較演算を光信号処理に置き換えた光電融合型 Viterbi 復号を提案し、その動作原理に関して説明を行った。特に、光処理による比較演算は単体で新しい機能素子として訴求できるものであるため、光比較器と名付け、その動作原理を説明した。つづいて、光電融合型 Viterbi 復号の動作性能を解析的に評価した。解析の結果から、従来の Viterbi 復号と同等の性能を 4/5 倍の計算量で獲得できることを確認した。最後に、高性能な符号を用いた際の計算限界量に関して理論的に評価した。特に、処理するビット数の少ない光比較器を新しく提案することで、計算量削減効果を 3/4 倍に低減できるとともに、任意の符号に対して低減効果を常に一定に保てることを確認した。

7章では、本研究から得られた成果を総括した。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 物理電子システム創造 専攻
Department of
学生氏名： 相川 洋平
Student's Name

申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員 (主)： 植之原 裕行
Academic Advisor(main)
指導教員 (副)：
Academic Advisor(sub)

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

In this paper, the author proposes an all-optical FEC coding scheme to maintain the potential for a large capacity transmission with low power consumption, because a speeding up of processing data-rate of electrical processing has been approaching a limit of its power consumption as the rapid increase of Internet traffic. Specially, the author selects our target code as a convolutional code and *Viterbi* decoding to achieve higher NCG.

First, the author analytically and experimentally investigates the performance of an all-optical FEC coding scheme. In our scheme, an all-XOR gate based on a FWM in a HNLF is selected. To achieve high-quality operation of the optical FEC coding scheme, optimal conditions of an all-XOR operation is analytically and experimentally investigated in various HNLF lengths and signal powers with a DPSK-modulated RZ signal at 10 Gb/s. The experimental results well agreed with the analytical results, specially, the highest quality of all-optical XOR operation are achieved in the condition that a HNLF length was 600 m, and all signal powers were equal to identical. According to the optimal condition, the $(7, 5)_8$ coding operation is experimentally demonstrated with the obtained idlers precisely corresponding to $(1+D+D^2, 1+D^2)$ bitwise patterns between any input signals, and the proposed scheme theoretically offered 4.0 dB NCG at $BER=10^{-8}$. Furthermore, the author theoretically indicates that a $(45332, 77136)_8$ with constraint length $K=14$ code offers a 7.2 dB achievable NCG in the actual situation of a ROADM ring network.

Then, the author proposes an optical and electrical converted *Viterbi* decoding scheme to reduce calculation steps by replacing electrical calculations with optical calculations, and analytically investigates their performance. In the proposed *Viterbi* decoding, a branch metric calculation is optically implemented by using an optical comparator. The author analytically investigates the performance of the proposed *Viterbi* decoding scheme by a $(7, 5)_8$ encoded QPSK-modulated signals. The proposed *Viterbi* decoding offers an approximately 4.0 dB NCG at $BER=10^{-4}$ with about 4/5 reduction of the calculation steps from the conventional scheme. Furthermore, the author newly designs a novel optical comparator to achieve a scalability for a large constraint length. In the novel design, the author introduces a virtual constraint length K' . The proposed *Viterbi* decoding scheme with a novel optical comparator designed $K'=2$ could reduce electrical process by about 3/4 from the conventional scheme.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).