

Title	Digital Compensation for Optical Transmission Impairments Considering Signal Properties
Author(s)	袁, 帥
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/72400
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　袁 帥　）	
論文題名	Digital Compensation for Optical Transmission Impairments Considering Signal Properties （信号特性を活用した光伝送制限要因のディジタル補償）

論文内容の要旨

This thesis presents my study on digital compensation for the impairments in digital coherent optical transmission systems considering the statistical properties of the received signals.

The concept of digital signal processing (DSP) conventionally employed in digital coherent optical transmission systems is to cancel signal distortions with inverse characteristics of impairments, which is very primary. It is very difficult to estimate the distortions accurately when large amplified spontaneous emission (ASE) noise is present. The distortions are not easy to be compensated completely by conventional DSP, and degrades the system performance dramatically.

In this thesis, we applied the maximum a posterior probability (MAP) decision method to compensate for impairments, and demonstrated its effectiveness in digital coherent optical transmission systems. In the statistical signal processing field, it is well known that MAP decision is optimum for minimizing the probability of error. Three types of impairments were treated: spectrum narrowing, fiber nonlinearity, and laser phase noise. We designed MAP decoder considering the signal degradation due to each impairment, and investigated its performance both with numerical simulations and experiments. The obtained results suggest that MAP decoding is effective to compensate for impairments in digital coherent optical transmission systems. In the field of optical fiber communications, studies on digital impairment compensation based on statistical signal processing has been rarely reported. This thesis shows the availability of statistical signal processing in digital coherent optical transmission systems, and bridges the gap between the impairment compensation for coherent optical transmission systems and statistical signal processing. We believe our results can open up a new perspective in the development of digital impairment compensation.

This thesis consists of seven chapters, that are organized as follows:

Chapter 1 is the introduction of the thesis. The history of optical fiber communications was introduced briefly. Then, the research purpose of this thesis was explained.

Chapter 2 described the fundamentals of digital coherent optical transmission systems. We highlighted the impairments in digital coherent optical transmission systems, and the digital compensation methods currently used.

Chapter 3 introduced the fundamentals of MAP decision, and its application in forward error correction and digital impairment compensation.

In Chapter 4, we used MAP decoding to compensate for spectrum narrowing in polybinary-shaped super-Nyquist wavelength division multiplexing systems. Considering the data dependence of spectrum narrowing due to polybinary shaping, we designed a MAP decoder for polybinary-shaped signals, and proposed a low-complexity iterative decoding scheme. The performances of the proposed MAP decoder and iterative decoding were investigated both numerically and experimentally.

In Chapter 5, we used MAP decoding to compensate for impairments due to fiber nonlinearity. In order to reduce the complexity of MAP decoder for nonlinear compensation, we proposed an optimized fiber nonlinear model. Based on the optimized fiber nonlinear model and statistical properties of the received signals after transmission through nonlinear fiber, we designed a MAP decoder for nonlinear compensation, and proposed an iterative decoding scheme. We numerically investigated the performances of the proposed MAP decoder and the iterative decoding.

In Chapter 6, we used MAP decoding to compensate for impairment due to laser phase noise. Based on the Winner process of laser phase noise, we can generate a MAP decoder for laser phase noise compensation. However, the full-state MAP decoder is too complex to implement. Considering the properties of laser phase noise, we proposed a simplified MAP decoder, and its performance was almost the same as the full-state MAP decoder. We investigated the performances of the simplified MAP decoder for laser phase noise compensation and the iterative decoding both numerically and experimentally.

Finally, we concluded the thesis in Chapter 7.

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　袁　帥　）			
論文審査担当者		(職)	氏　名
	主査	教授	井上　恭
	副査	教授	滝根　哲哉
	副査	教授	丸田　章博
	副査	教授	馬場口　登
	副査	教授	三瓶　政一
	副査	教授	宮地　充子
	副査	教授	鷲尾　隆　（産業科学研究所）
	副査	教授	駒谷　和範　（産業科学研究所）
	副査	准教授	五十嵐　浩司

論文審査の結果の要旨

光ファイバ伝送システムにおいてコヒーレント光受信方式が実用化され、光ファイバ伝送に伴う各種波形歪みを受信後のディジタル信号処理によって補償することが可能となった。現在主に用いられているディジタル補償法は、波形歪みを検出しその逆特性を適用するというプリミティブなものであるが、光増幅に伴う自然放出光雑音が蓄積された伝送後光信号からは正確な歪み検出が困難となり大幅な性能劣化が生じる。

一方、統計的信号処理分野においては、最適復号法として、受信信号特性に基づき最も確率の高い送信信号を推定する最大事後確率(maximum a posteriori: MAP)法が知られている。しかしながら、光ファイバ通信分野ではほとんど用いられていない。波形歪み補償用 MAP 復号器と誤り訂正用復号器との繰り返し復号によって自然放出光雑音抑圧も可能となり、従来のディジタル信号処理では達成不可能な補償性能が期待される。

本論文では、「受信特性を活用した光伝送制限要因のディジタル補償」と題し、光ファイバ伝送への MAP 復号および繰り返し復号の適用を試みた研究成果をまとめている。3 種の要因、すなわち狭帯域フィルタリング、光ファイバ非線形、コヒーレント受信に伴う位相雑音、によって劣化した光受信信号の統計的性質を明らかにし、それらに適応した MAP 復号回路を構築して誤り訂正用復号器との繰り返し復号の有効性を示した。具体的な内容は以下の通りである。

(1) スーパーナイキスト波長多重伝送における狭帯域フィルタリングによる波形歪みのディジタル補償：符号レート以下の周波数間隔で波長多重するスーパーナイキスト波長多重技術は周波数利用効率向上に有効であるが、信号帯域狭窄化による符号間干渉が免れない。MAP 復号応用の手始めとして、狭帯域フィルタリングによる波形歪みを補償する MAP 復号器を検討し、その繰り返し復号による補償性能の向上を示した。

(2) 光ファイバ非線形歪みのディジタル補償：光ファイバの非線形効果と波長分散の相互作用による波形歪みを従来法でディジタル補償するには、膨大な計算量を要する。ファイバ非線形伝搬の物理に基づき MAP 復号器を最適化することで、実装可能な計算量で、従来法より大幅に補償性能が向上することが示された。

(3) コヒーレント受信における位相雑音のディジタル補償：光信号と局所光の間の位相揺らぎはコヒーレント受信特性を劣化させ、これは信号多値度が高いほど顕著となる。大きな自然放出光雑音を伴う受信信号では位相雑音除去後に誤り伝搬が生じ、受信特性が大幅に劣化することを示した。この対策として、位相雑音除去用 MAP 復号器とその演算量削減法を提案し、繰り返し復号により誤り伝搬が抑圧され受信特性が大幅に改善することを示した。

以上のように、本論文は光ファイバ伝送への MAP 復号器と繰り返し復号の適用をまとめたものである。各種波形歪みの統計的特性に適応した MAP 復号法を明らかにし、その繰り返し復号の性能を評価した。これらの成果によって、光ファイバ伝送における MAP 復号器の有効性が示され、光ファイバ通信と統計的信号処理の融合領域が切り開かれた。工学的・学問的な見地から非常に意義深い。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。