

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 モハマド サイフディン ファルク

本論文は，“Optical Performance Monitoring in Digital Coherent Receivers(デジタルコヒーレント受信器を用いた光パフォーマンスモニタリング)”と題し，英文で執筆されており，6章からなる。

光パフォーマンスモニタリングは，次世代光ネットワークを構築するための重要な技術である。適切にネットワークを運用するためには，受信信号の光信号対雑音比(OSNR)や伝送路の波長分散(CD)，偏波モード分散(PMD)，偏波依存損失(PDL)などを観測する必要がある。本研究では，このような要求に応えるために，低コストかつ信頼性の高い，デジタルコヒーレント受信器を用いた新しい光パフォーマンスモニタリング技術を提案・実証している。

第1章は“Introduction”であり，光パフォーマンスモニタリングの重要性を論じ，パフォーマンスモニタリングに関する既存技術をまとめた後，本論文の目的と構成について述べる。

第2章は“Background of Digital Coherent Receivers”と題し，コヒーレント光検出の原理とデジタル信号処理アルゴリズムの概要について述べる。

第3章は“Multi-Impairment Monitoring from Adaptive FIR Filters”と題し，CD，PMD，PDLのような線形な伝送路障害を，適応フィルタの伝達関数から求める手法について述べる。デジタルコヒーレント受信器では，検波後にバタフライ構成の有限インパルス応答(FIR)フィルタを用いることにより，偏波多重分離および信号等化が可能である。フィルタを適切なアルゴリズムを用いて適応的に制御することにより， 2×2 の行列を構築できる。この逆行列はモニタリング行列と呼ばれ，これからCD，PMD，PDLの情報を含む伝送路の伝達関数を推定することができる。

本論文では，モニタリング行列を用いて，CD，PMD，PDLを分離する簡易なアルゴリズムを提案した。このアルゴリズムを用いれば，様々な伝送路障害が同時に存在していようとも，行列分解することなくモニタリング行列から直接，個別の伝送路障害を求めることができる。

本論文で提案するモニタリングアルゴリズムの有効性は，偏波多重4相位相変調(QPSK)信号の伝送実験により確認された。CD，PMD，PDLの評価を行い，十分なモニタリング精度が得られることを示した。

第4章は“Multi-Impairment Monitoring from Adaptive FDE”と題し，周波数領域等化器(FDE)を用いた光パフォーマンスモニタリングについて述べる。第3章でのべたFIRフィルタを用いた場合，伝送路障害モニタリングを正しく行うためには，フィルタタップ長は十分長くなければならない。しかし，FIRフィルタの計算コストはタップ数とともに増加する。一方で，周波数領域での処理を用いれば，ブロック処理および離散フーリエ変

換 (DFT) の高速実装によって計算コストを減少させることができる。本論文では、新たな適応 FDE アルゴリズムを提案し、偏波多重 QPSK 信号の伝送実験系に本適応等化アルゴリズムを適用して、信号等化を行った。さらに、得られた 2×2 伝達関数の逆行列から、FIR フィルタと同じ精度で CD, PMD, PDL の評価が可能であることを示した。

第 5 章は “Monitoring of Optical Signal-to-Noise Ratio” と題し、デジタルコヒーレント受信器を用いた新しい OSNR モニタリング技術を提案している。OSNR モニタリングは、適応等化器出力の高次の統計学的モーメントを解析することにより行われている。適応等化器による等化後、信号および雑音は異なる統計的性質を持つので、2 次および 4 次のモーメントを測定することにより、位相変調信号およびガウス雑音を分離し、OSNR を推定することができることを示した。本方式の有効性は、QPSK の伝送実験により確認された。

第 6 章は “Conclusions” であり、本論文で得られた成果をまとめ、今後の展望について述べている。

以上のように本研究では、デジタルコヒーレント受信器を用いて、伝送路の波長分散、偏波モード分散、偏波依存損失および信号の光信号対雑音比をモニタする手法を開発した。まず、適応等化器によって推定されるモニタリング行列から、波長分散、偏波モード分散、偏波依存損失を分離するアルゴリズムを開発し、その有効性を FIR フィルタおよび FDE に基づく適応等化器を用いた QPSK 伝送実験によって実証した。さらに、適応等化器出力の高次の統計学的モーメントを解析することによって光信号対雑音比を評価する方法を提案し、その有効性を QPSK 伝送実験によって示した。これらの成果は、将来の大容量光ネットワークの発展に寄与し、電子工学への貢献が多岐である。

よって本論文は、博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。