

氏名	MUHAMMAD LUTFOR RAHMAN KHAN
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記号番号	博理工甲第 832 号
学位授与年月日	平成 23 年 3 月 23 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	Blind Channel Equalization with Amplitude Banding of Sato Algorithm (Sato アルゴリズムの振幅分割を伴うブラインド通信路等化)
論文審査委員	委員長 教授 島村 徹也 委員 教授 長谷川孝明 委員 教授 吉田 紀彦 委員 准教授 吉川 宣一

論文の内容の要旨

The digital communication channel typically introduces intersymbol interference (ISI) to the transmitted sequence. To reduce or remove the ISI from the received sequence and recover the original sequence, an adaptive technique is needed. The conventional technique of the adaptive equalizer requires the desired signal as a training sequence, which is an extra saddle for the channel. However, in many applications, the training sequence is unavailable. In such cases, blind equalization is required. Recently, blind equalization has received considerable attention in communications and signal processing.

The bandwidth limitation of the communication channel is one of the constrains to realize a high speed communication system. As blind equalization does not require any training sequence, it could maximize the channel capacity and provide a bandwidth efficient solution for high speed data communication. Thus blind channel equalization is important for high speed and reliable data communication system.

The technique of blind equalization is useful in a variety of communication systems including multipoint networks, multicasting, broadband access and digital cable TV. Owing to its potential benefits, blind equalization has become an important topic in digital communication. Blind equalization uses only the received sequence and some a priori knowledge of the transmitted sequence statistics.

Blind equalization, however, suffers from slow convergence speed and unsatisfied mean square error (MSE) in steady state. Now a days, it is a very challenging issue to improve the MSE performance and simultaneously to accomplish faster convergence of the blind channel equalizer.

Several blind algorithms were developed in the past for blind equalization. The pioneer blind algorithm is the Sato algorithm. Subsequently the Sato algorithm was extended by Godard to the Godard algorithm, by Treichler and Agee to the constant modulus algorithm (CMA) and by Garth to the multimodulus algorithm (MMA). Macchi and Eweda

analyzed the Sato algorithm when the channel has small ISI. Though the CMA and MMA are the most common blind algorithms due to their stable performances (i.e. stable in ill conditions), computational complexities of both the algorithms are high.

Among all the blind algorithms the Sato algorithm is the simplest considering the computational complexity. Its implementation is easy and the binary data transmission is possible. Due to its benefits and robustness, the Sato algorithm is a widely used blind algorithm for the equalization of a channel. Thus it is significant to improve the MSE, bit error rate (BER) and convergence performances of the Sato algorithm.

The Sato algorithm is the linear blind adaptive algorithm. However in some cases nonlinear blind adaptive algorithm is better for the adaptation. To introduce the nonlinear adaptive classification with the Sato algorithm, we proposed the amplitude banded Sato (ABSato) algorithm. The adaptation of the ABSato algorithm considers the amplitude information of the channel output to select the coefficients of the equalizer as nonlinear switching pattern. For the nonlinear adaptive property, the ABSato algorithm provides better MSE and BER performances than the Sato algorithm.

Convergence speed of the equalization is one of the key factors for the high speed data communication. The convergence is highly dependent on the input data of the equalizer. If the eigenvalue spread of the input correlation matrix reduces, convergence speed increases. Data transformation reduces the eigenvalue spread.

We proposed the transform domain Sato (TDSato) algorithm. The TDSato algorithm uses the transform data as a input data and posses facility of the reduced eigenvalue spread, resulting in a faster convergence.

We further proposed the Orthogonalized ABSato (OABSato) algorithm. The OABSato algorithm provides better convergence, MSE and BER performance than the Sato algorithm.

These three methods were applied on some channels, like minimum phase, nonminimum phase and maximum phase channels.

From the simulation results we conclude that the ABSato algorithm should be selected, considering computational complexity of the ABSato is simpler compared with the TDSato and OABSato algorithms. However, convergence performance of the TDSato and OABSato algorithms is better than that of the Sato algorithm. Especially, the OABSato algorithm improves the convergence, MSE and BER performances with relatively higher computational complexity.

論文の審査結果の要旨

当学位論文審査委員会は、平成 23 年 2 月 8 日に論文発表会を公開で開催し、多数の参加のもとに、活発な質疑とともに論文内容の審査を行った。以下に、審査結果の要約を示す。

本論文は、通信システムの受信側でしばしば挿入される通信路特性補正器（等化器）の特性改善に関するものである。トレーニング信号を利用しないブラインド等化器に着目し、3つのタイプの係数更新（適応）アルゴリズムを提案し、それらの有効性を検証している。

まず第1章では、デジタル通信システムにおける等化器の役割を述べ、従来の通信路等化技術を概説し、解決すべき問題点を指摘している。本研究では特に、ブラインド等化器が抱える問題点を収束速度の低下とビットエラーレートの劣化と捉え、それらの改善の必要性を示している。

第2章では、トレーニング信号を利用する等化器において、送信信号の非線形分離問題に帰着させ、ビットエラーレートを大幅に改善することが可能な振幅分割アルゴリズムに着目し、それをブラインド等化器のための適応アルゴリズムに発展することで、振幅分割 Sato アルゴリズムを導出している。この適応アルゴリズムにより、受信信号から複数の送信信号分離直線が生成され、それが等化器出力でのビットエラーレート向上を本質的にもたらすことを明らかにしており、また、計算機シミュレーション実験でその事実を検証している。

第3章では、ブラインド等化器の適応アルゴリズムの収束速度改善の観点から、等化器の入力となる受信信号に直交化を施す変換領域 Sato アルゴリズムを導出している。直交性を与える変換領域としては離散コサイン変換が効率的かつ効果的である事実を見出し、解析的に離散コサイン領域で収束速度が改善されることを明らかにしている。また、計算機シミュレーション実験により、その優れた特性が従来のプレフィルタリングによる白色化変換より高精度であることを明らかにし、変換領域 Sato アルゴリズムの有効性を示している。さらには、第2章で述べた振幅分割 Sato アルゴリズムを有するブラインド等化器と、本変換領域 Sato アルゴリズムを有するブラインド等化器を並列構成することにより、両者の長所が保持され、高速収束、低ビットエラーレートが実現できるブラインド等化器を構成できる事実を明らかにしている。

第4章では、第2章での並列構成を用いることなく、単一のブラインド等化器のみを利用することで、高速収束、低ビットエラーレートを実現すべく、第2章で述べた振幅分割 Sato アルゴリズム自体に直交化処理を組み込む、直交化振幅分割 Sato アルゴリズムを検討している。基本とする適応アルゴリズムである Sato アルゴリズムは確率勾配型アルゴリズムと見なせることに着目し、アルゴリズム自体に逐次最小自乗アルゴリズムの最適勾配を導入することにより、係数更新自体の収束値へ向けた高速化を図り、それを振幅分割 Sato アルゴリズムの中に組み入れることで拡張を図っている。計算機シミュレーション実験では、比較実験が行われ、本適応方式が最良の結果を与えることを明らかにしている。

第5章は、本論文のまとめである。提案する3つのタイプの適応アルゴリズムを、実際のブラインド等化器でどのように利用するかを示唆を与え、それぞれの特性をまとめ上げている。

本論文は、以上に述べたように、通信路等化問題に対し、従来方式に特性改善を与える手法を提案し、その解析的および実験的評価を行っている。本論文の結果は、2編のレフリー付学術雑誌に採録され、また、国際学会での発表で公表されている。

以上のように、本論文は新しい通信路等化器の提案と、その有効性を検証した論文であり、博士（工学）の学位にふさわしい内容を持つものと判断し、審査委員会として「合格」の判定を行った。