

氏名	MISS. NARGIS PARVIN
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記号番号	博理工乙第 252 号
学位授与年月日	令和元年 9 月 20 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	Blind Equalization for Wireless Sensor Networks (無線センサーネットワークのためのブラインド等化)
論文審査委員	委員長 教授 島村 徹也 委員 准教授 山田 敏規 委員 准教授 吉川 宣一 委員 准教授 大久保 潤

論文の内容の要旨

A wireless sensor network (WSN) is a self-organized cooperative communication network composed by a number of geographically separated, autonomous sensor nodes with limited power and processing capability cooperating with each other to collect and process data from the surroundings. WSNs cooperate through wireless transmission, to fulfill a common task. In recent years, WSNs have attracted research interest because of its potential applications like battlefield surveillance, information gathering, precision agriculture, target detection, etc.

The estimation algorithms used in WSNs can be classified into two categories: centralized and distributed. In the centralized estimation algorithms, the estimation of all sensors is carried out after receiving output data collected from all sensors. In this approach, each sensor must communicate with the fusion center (FC) to obtain the desired signal, but it reduces the most valuable communication resources of energy and bandwidth. On the other hand, in the distributed estimation algorithms, the estimation for each sensor is updated by using the local observations and the information derived from the neighboring sensor nodes. This approach saves the communication resources. So far, there have been a number of distributed estimation algorithms to estimate the source transmission in digital communication. Most of the digital transmission of source information is accompanied by a phenomenon known as inter-symbol interference (ISI). This means that the transmitted pulses are smeared out so that pulses that correspond to different symbols are not separable. ISI has been recognized as the major obstacle to high-speed data transmission with the required accuracy and multipath fading over radio channels.

In this study, we concentrate on finding different distributed estimation algorithms that are useful for estimating the transmitted signal through the WSN model. It is well known that distributed processing techniques deal with the extraction of information from data collected at nodes that are distributed over a geographic area. Most of the existing distributed estimation algorithms are training based or non-blind. The training-based algorithms require the transmitted sequence as well as the desired signal as the training sequence at the receiver to estimate the unknown parameters. However, training-based algorithms have some drawbacks. The training signals are unavailable in most of the applications and may be unrealistic or impractical so that they reduce the data rate. Therefore, system efficiency

and valuable channel capacity are reduced. In such cases, blind equalization is required, which does not need to know the transmitted sequence. It uses only the received sequence and some a priori knowledge of the transmitted sequence statistics. The objective of this thesis is to develop some approaches to improve the performance of the distributed blind estimation algorithms. In the conventional distributed blind estimation algorithms, each sensor node has specific equalizer and cooperating with each other by sharing information like the equalizer output or the tap coefficient values of the equalizer. These distributed estimation algorithms are suffering from high computational complexity. Unlike these conventional distributed blind estimation algorithms, we utilize a simple method to estimate the transmitted sequence blindly which improves the performance as well as reduce the computational complexity. Then, we focus on finding a solution to fix up the reason that degrades the performance of distributed estimation algorithms. In this case, a new approach has been proposed and implemented.

In this study, firstly we propose a simple and unique normalized error based blind equalization method to estimate the transmitted signal in WSN. We consider a single-input-multiple-output (SIMO) channels-based static WSN model. Four cases of common or different channels and common or different variance of noises are considered. We set out a solution for every case.

For different-channel cases, we derive a new approach for finding the easiest sensor output by implementing the adaptive normalized error. The transmitted signal is blindly estimated from the easiest sensor output by utilizing the generalized Sato algorithm (GSA). Simulation results showed the effectiveness of the proposed method for improving the performance with the shortest computational complexity.

The second method proposes a new approach to tackle the problems arise in the distributed blind estimation algorithms when different channel output signals severely affect the transmitted signal and the performance is deteriorated. We design a new combination rule for the further improvement utilizing the most important channel characteristics (eigenvalue spread). Eigenvalue spread is the ratio of maximum and minimum eigenvalues of the input autocorrelation matrix of the transmitted signal. There are a number of combination rules for the distributed estimation algorithms in which the weights of the combination rule are derived considering only the number of neighbors of each sensor node. Nevertheless, we consider the channel characteristics which are the special constraint of the distributed estimation algorithms for deriving the weights of the combination rule. This method gives larger weight values to those nodes which have smaller eigenvalue spread values and smaller weights to those nodes which have larger eigenvalue spread values. As a result, more severe channel output signals are almost ignored in the distributed blind estimation. Simulation results showed a better performance of the distributed estimation algorithm with the proposed combination rule.

論文の審査結果の要旨

当学位論文審査委員会は、令和元年8月2日に論文発表会を公開で開催した。その後、発表に対する質疑応答と学位論文の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、無線センサネットワーク（WSN）に対して遠方より信号を伝送する場合を想定して、WSNを受信側として捉え、WSNから送信信号を推定する問題を取り上げている。受信側となるWSN内においては、各構成ノードが互いに通信し合い、情報共有を行っている。このネットワーク内での信号の推定問題は、従来多くの研究がなされてきたが、WSN自体を受信側と捉える送信信号の推定問題は、実用的であり、かつ重要であるにもかかわらず、これまであまり議論されてきていない。ごく最近、この問題に解を与える有力な方法が提案されたが、本論文は、その従来法に対して特性改善を与える手法の提案を行うものである。WSNを受信側と見て、送信側からの無線通信路を等化することにより、送信信号が推定できることから、本論文では、送信信号の推定を通信路等化の問題として捉え、受信側でパイロット信号を利用しない、ブラインドタイプのブラインド等化の問題を検討する立場を取っている。2つの方法を提案し、それぞれの有効性を検証している。

まず第1章は、序論である。これまでのWSN内での情報通信のための分散処理、分散推定アルゴリズムについて述べている。また、グラフ理論の側面から、ネットワークトポロジーを論じ、各種ネットワークトポロジーを紹介した後、本論文で取り上げるトポロジーを取り上げている。また、隣接するノードとの情報共有の方法に触れ、情報共有する枠内での重み行列という概念を紹介している。これが、後の章で、提案法を導出するに当たり、重要な役割を果たすことになる。そして、本章の最後に、本論文の構成を説明している。

ここから続く2つの章において、本論文で提案する2つのブラインド等化のための方式を論じている。

第2章では、正規化誤差に基づくブラインド等化の方法を述べている。本論文で取り上げるWSNからのブラインド等化問題においては、2017年に発表されたIEEE論文が直接的な従来法になるが、そこにおいて議論されたのは、送信側から受信側であるWSNまでの通信路は共通であるというものであった。すなわち、送信機からWSN内の各ノードまでの通信路は同一であるという前提である。ただし、付加される雑音は独立である。本章では、この限定された通信路モデルのみを論じるのではなく、通信路が異なる場合も考慮し、より現実的な通信路モデルを考察している。そして、従来法のように、すべてのノードからの受信信号を利用して、分散型適応アルゴリズムを用いて、送信信号を推定する立場を取らず、どのノードからの受信信号を利用すると、最も高精度な送信信号推定が可能かという視点に立ち、最も容易な通信路パスを見つけ出す方法を検討している。そのために、音声分野で利用されてきた、正規化誤差、と呼ばれる概念を転用し、適応的に正規化誤差値を算出する適応アルゴリズムを導出している。これにより、最も容易な通信路パスが見つけられ、そのパスに対して、従来のブラインド等化アルゴリズムを適用することにより、高精度な送信信号推定を実現している。提案する方法の有効性は、計算機シミュレーション実験で検証されている。ここでは、比較的小規模なネットワーク構成を仮定し、送信機から各ノードまでの通信路が同一の場合、異なる場合、付加雑音が同一パワーの場合、異なるパワーの場合など、それぞれの場合において、最良な通信路パスを見つけ、提案する方法の正当性を立証している。

第3章では、通信路特性の固有値広がり情報を重み行列に反映させることで、ブラインド等化をより高精度に実現する方法を述べている。これは、第2章で述べた、WSN内で各ノードの情報共有方法に着目するものである。WSN内では、常に、隣接ノードとの間で、あるルールに基づいて情報共有されているが、従来このルール形成の中に、送信機からの通信路の情報は組み入れられていなかった。そこで、各ノードか

ら得られる受信信号を利用して、送信機からそれぞれのノードまでの通信路の状態を推定し、それを隣接ノードとの情報共有ルールに組み入れる方法を導出している。基本概念は、通信路の状態が劣悪な場合は、そのノードからの利用度を低くし、通信路の状態が良好な場合は、そのノードからの利用度を高くするというものである。このルールを適用しつつ、分散型適応アルゴリズムを利用して、ブラインド等化を実現すると、送信信号の推定精度が大幅に改善される。この事実を、計算機シミュレーション実験で検証している。小規模なネットワーク構成の場合から、大規模なネットワーク構成まで、また、利用するノード位置が時間とともに変化する場合など、現実的な場合を想定したシミュレーション実験の結果が示されている。また、計算量の増大を押さえるために、通信路特性の固有値の広がり計算方法を複数検証し、より効率的な方法論を見出している。ここでは、高速フーリエ変換を利用するノンパラメトリックなスペクトル推定方法を利用することにより、ブラインド等化の十分な特性改善が期待できるという結論を導き出している。

第4章は、本論文のまとめである。提案する2つのブラインド等化手法の特性を整理し、実際の環境においてそれぞれどのように利用可能であるかの示唆を与えている。

本論文は、以上に述べたように、WSNにおけるブラインド等化手法を提案し、その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択され、また国際学会での発表で公表されている。

以上のように、本論文は新しいブラインド等化手法の提案と、その有効性を検証した論文であり、博士（学術）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。