講演番号：90

分散等化ための多重拘束最小分散法

A-9 Multiple Constrained Minimum Variance Method for Distributed Equalization

趙 松源 Songyuan Zhao　宮嶋 照行 Teruyuki Miyajima　杉谷 栄規 Yoshiki Sugitani

茨城大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University

1 まえがき

空間的に分散配置された複数の小型通信ノードがデータを取得するために，ノード毎に通信路等化を行う分散等化問題を考える．分散等化は，集中等化で不可欠なフュージョンセンターなど集中処理装置が不要であり，また一部のノードが不具合になっても残りのノードでネットワーク再構成が可能であるという利点を有する．

集中等化手法として知られる最小分散法 (MVDR: Minimum Variance Distortionless Response)[1] は，トレーニング信号が不要という特長を有するが，これを分散等化に適用した報告はない．集中 MVDR[1] は，全ノードに渡る単一の拘束条件が必要であり，そのままでは分散等化に適用できないためである．本稿では，分散等化への適用を念頭において，ノード毎に拘束条件を課す多重拘束最小分散法を提案し，単一拘束の場合との比較を行う．

2 分散等化システム

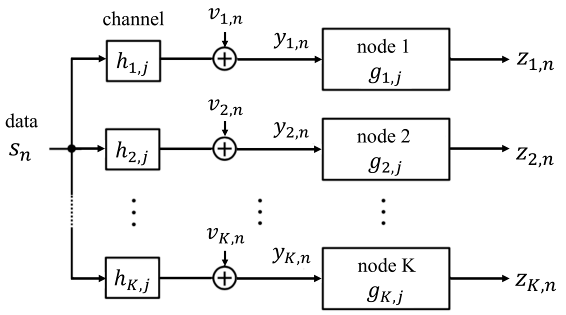

図 1　分散等化システム構成.

K 個のノードから構成された分散等化システムモデルを図 1 に示す．時刻 n の QPSK 送信シンボル s_n が信号源から送信され，ノード毎に異なる通信路 $h_{k,j}$ を通過した後，第 k ノードは $y_{k,n}=\sum_{j=0}^{L}h_{k,j}s_{n-j}+v_{k,n}$ を受信する．$\mathbf{g}_k=[g_{k,0}\cdots g_{k,M-1}]^T$, $\mathbf{y}_{k,n}=[y_{k,n}\cdots y_{k,n-M+1}]^T$ とすると，各ノードのフィルタ出力は $z_{k,n}=\sum_{j=0}^{M-1}g_{k,j}^*y_{k,n-j}=\mathbf{g}_{k,n}^H\mathbf{y}_{k,n}$ である．ここで，$v_{k,n}$ は加法性白色ガウス雑音，L は各通信路のインパルス応答次数，M は FIR フィルタインパルス応答長を表す．また，全ノードの出力平均値 $z_n=\frac{1}{K}\sum_1^K z_{k,n}=\frac{1}{K}\mathbf{g}^H\mathbf{y}_n$ を判定遅延 d の希望信号 s_{n-d} の推定値とする．ここで $\mathbf{y}_n=[y_{1,n}\cdots y_{K,n}]^T$, $\mathbf{g}=[\mathbf{g}_1^T\cdots\mathbf{g}_K^T]^T$ である．

従来の集中 MVDR[1] は，全フィルタ係数 $\mathbf{g}$ に関する単一の拘束条件を用いており，分散的に実装することは困難である．そこで，分散的な実装を念頭において，次のような，ノード毎に拘束条件を課す多重拘束付き最適化問題を提案する．

$$\min_{\mathbf{g}_1,\cdots,\mathbf{g}_K} \mathrm{E}[|z_n|^2],\quad \text{s.t. } \mathbf{C}^H\mathbf{g}_k=\mathbf{u}_k,\ k=1,\cdots,K. \tag{1}$$

ノード毎に拘束条件を課すことでノード毎の希望信号成分を確保しながら，出力分散を最小化することで符号間干渉の影響を抑圧する．また通信路もトレーニング信号も不要なブラインド処理である．勾配法により次の重み係数ベクトルが得られる．

$$\mathbf{g} = \mathbf{R}_y^{-1}\bar{\mathbf{C}}(\bar{\mathbf{C}}^H\mathbf{R}_y^{-1}\bar{\mathbf{C}})^{-1}\mathbf{u},\quad \bar{\mathbf{C}}=\mathrm{diag}\{\underbrace{\mathbf{C}\cdots\mathbf{C}}_{K}\}$$

$$\mathbf{u} = \arg\max_{\mathbf{u}} \frac{\mathbf{u}^H(\bar{\mathbf{C}}^H\mathbf{R}_y^{-1}\bar{\mathbf{C}})^{-1}\mathbf{u}}{\mathbf{u}^H\mathbf{u}} \tag{2}$$

ここで，$\mathbf{C}$ は遅延 d に相当する通信路ベクトルを取りだす行列 [1]，$\mathbf{R}_y=E[\mathbf{y}_n\mathbf{y}_n^H]$ は自己相関行列であり，これを求めるためには集中処理が必要であることに注意する．

3 性能評価

シミュレーションにより得られた BER 特性を図 2 に示す．$L=1$, $M=3$, $d=1$, 試行回数 10^3 回，送信シンボル数は 10^3 とした．提案する多重拘束の場合 (実線) と従来の単一拘束 (破線) の場合の等化性能はほぼ同じであり，性能は劣化しないことが確認できる．また，ノード数 K が増えるにつれて性能が向上しており，これは空間ダイバーシチによるものと考えられる．

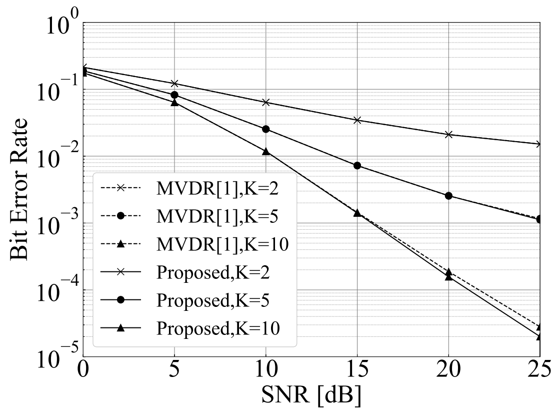

図 2　BER 特性.

4 まとめ

分散等化ための多重拘束最小分散法を提案し，従来の単一拘束最小分散法と同程度の性能が得られることを確認した．

式 (2) では $\mathbf{R}_y$ の計算のために集中処理が必要であるが，適応信号処理と平均合意アルゴリズムを用いることで，$\mathbf{R}_y$ の計算は不要となる [2]．この適応分散手法の性能評価については別の機会に報告する．

参考文献

[1] Z. D. Xu, et al., “Constrained optimization ...”, IEEE JSAC, vol. 17, No. 3, pp. 424–433, Mar. 1999.

[2] 趙, 宮嶋, 杉谷, “ブラインド適応最小分散法による分散等化の検討,” 信学総大, Mar. 2020. (発表予定)