シフト行列型ブラインドMMSE等化法の復調性能に関する一考察

Analysis of Shift Matrix Type Blind MMSE Equalization for Demodulation Accuracy

張　鴻 †　堀内　亮 †　小松　稔 ††　片貝　悠 †
Hong ZHANG　Ryo HORIUCHI　Minoru KOMATSU　Yu KATAKAI
田邉　造 †　古川　利博 ††
Nari TANABE　Toshihiro FURUKAWA

† 諏訪東京理科大学 Tokyo University of Science,Suwa　†† 東京理科大学 Tokyo University of Science
E-mail: † {jg110046@ed, jgh12612@ed, jg110016@ed, nari@rs.suwa}.tus.ac.jp, †† {komatsu_m@ms, furukawa@ms}.kagu.tus.ac.jp

1　はじめに

本論文は，シフト行列型ブラインド MMSE 等化法 [1][2] の復調精度について考察する．この手法は，観測信号の自己相関行列がシフト行列となる性質を用いており，シンプルで実用的な手法であるが，復調精度が安定しない問題が存在している．本論文は，この手法の精度が不安定な理由をを考察している．

2　ブラインド MMSE 等化法の通信方式 [2]

SIMO 通信モデルにおいて，n 時刻の送信信号 $s(n)$ における観測信号ベクトル $\boldsymbol{x}(n)$ は

$$\boldsymbol{x}(n)=\sum_{k=0}^{L_h}\boldsymbol{h}(k)s(n-k)+\boldsymbol{v}(n) \tag{1}$$

と表わされる．スタッキングナンバーを M とすれば，すべての観測信号ベクトル $\boldsymbol{X}_M(n)=[\boldsymbol{x}^T(n),\boldsymbol{x}^T(n-1),\cdots,\boldsymbol{x}^T(n-M-L_h+1)]^T$

$$\boldsymbol{X}_M(n)=\boldsymbol{H}_M\boldsymbol{s}(n)+\boldsymbol{v}_M(n) \tag{2}$$

と表わされる．ここで送信ベクトル $\boldsymbol{s}(n)=[s(n),s(n-1),\cdots,s(n-M-L_h+1)]^T$，雑音ベクトル $\boldsymbol{v}_M(n)=[\boldsymbol{v}^T(n),\boldsymbol{v}^T(n-1),\cdots,\boldsymbol{v}^T(n-M+1)]^T$ である．またチャンネル行列 $\boldsymbol{H}_M$ は $\boldsymbol{h}=[\boldsymbol{h}^T(0),\boldsymbol{h}^T(1),\cdots,\boldsymbol{h}^T(L_h)]$ のシルベスター行列である．

$$\boldsymbol{H}_M=\begin{bmatrix}\boldsymbol{h}(0) & \cdots & \boldsymbol{h}(L_h) & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0}\\ \boldsymbol{0} & \ddots & \cdots & \ddots & \boldsymbol{0}\\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{h}(0) & \cdots & \boldsymbol{h}(L_h)\end{bmatrix}. \tag{3}$$

2.1　シフト型等化器ベクトル g とチャンネル $\boldsymbol{H}_M$ の関係

等化器ベクトル $\boldsymbol{g}=[g^1(0),\cdots,g^p(0),\cdots,g^1(L_p),\cdots,g^p(L_p)]^T$ とすれば，MMSE 基準より評価量 $\boldsymbol{J}(g)$ を次式と表すことができる．

$$\mathbf{J}(\boldsymbol{g})=E\{|s(n-d)-\boldsymbol{g}^H\mathbf{X}_M(n)|^2\} \tag{4}$$

ここで $d(\in\{0,1,\cdots,L_h+M+1\})$ は等化器の遅延である．式 (4) の評価量 $\boldsymbol{J}(g)$ を偏微分すれば

$$\frac{\partial\boldsymbol{J}(\boldsymbol{g})}{\partial\boldsymbol{g}}=2E[\{s(n-d)-\boldsymbol{g}^H\boldsymbol{X}_M(n)\}\boldsymbol{X}_M^H(n)]=0 \tag{5}$$

$$\boldsymbol{g}=\mathbf{R}_{XX}^{-1}\mathbf{H}_M(:,d+1) \tag{6}$$

となる．ここで，$\boldsymbol{R}_{XX}(k)=E[\boldsymbol{X}_M(n+k)\boldsymbol{X}_M^H(n)]$，$\mathbf{H}_M(:,d+1)$ はチャンネル行列 $\mathbf{H}_M$ の第 d+1 列のベクトルである．次章にチャンネルベクトル $\boldsymbol{H}(:,d+1)$ が未知より，等化器ベクトル $\boldsymbol{g}$ を求めるために $\boldsymbol{H}(:,d+1)$ の算出を述べる．

2.2　等化器ベクトル $\boldsymbol{g}$ の算出

行列 $\boldsymbol{F}_k$ を $\boldsymbol{F}_k=\boldsymbol{R}_{XX}^H(k)\boldsymbol{R}_{XX}^{-1}(0)\boldsymbol{R}_{XX}(k)$ とすれば，$\Delta\boldsymbol{F}_k$ は次式となる．

$$\left.\begin{aligned}\Delta\boldsymbol{F}_k&=\boldsymbol{F}_k-\boldsymbol{J}^p\boldsymbol{F}_k(\boldsymbol{J}^p)^H\\&=\boldsymbol{H}_M(:,M+L_h-k)\boldsymbol{H}_M(:,M+L_h-k)^H\end{aligned}\right\} \tag{7}$$

ここで，$\boldsymbol{J}$ はシフト行列である．式 (7) より受信信号ベクトルを用いて $\boldsymbol{H}_M(:,k)$ を求めた後に，その結果を式 (6) に代入することより，ダイレクトに等化器ベクトルを算出可能となる．

3　考察

2 章で簡単に説明したシフト行列型ブラインド MMSE 等化法は，式 (7) 中の行列 $\boldsymbol{F}_k$ を算出することでランクを落とし，$\Delta\boldsymbol{F}_k$ を計算することで，式 (6) で等化器ベクトル $\boldsymbol{g}$ を求めるのに必要となる $\boldsymbol{H}_M(:,d+1)$ を得ている．ここで，$\boldsymbol{F}_k$ に着目すると，

$$\left.\begin{aligned}\boldsymbol{R}_{XX}(k)&=E[\boldsymbol{X}_M(n+k)\boldsymbol{X}_M^H(n)]\\&=\boldsymbol{H}[\boldsymbol{0},\boldsymbol{H}_M(:,1:M+L_h-k)]^H\end{aligned}\right\} \tag{8}$$

となることより

$$\left.\begin{aligned}\boldsymbol{F}_k=\boldsymbol{H}^T&[\boldsymbol{0},\boldsymbol{H}_M(0,1:M+L_h-k)]\\&\cdot\boldsymbol{R}_{XX}^{-1}(0)\boldsymbol{H}[\boldsymbol{0},\boldsymbol{H}_M(0,1+L_h-k)]\end{aligned}\right\} \tag{9}$$

となり，正確にランクが落ちることが望まれる．しかしながら，実際のシステムでは，$\boldsymbol{F}_k$ の計算で必ずランクが落ちることは難しく，通信環境によるところが大きいため，精度が不安定になると考えられる．

4　まとめと今後の展望

本論文では，シフト行列型ブラインド MMSE 等化法が不安定な理由について考察した．ポスターセッションまでにはシミュレーションを用いて明らかにするとともに，この対策を示す予定である．

参考文献

[1] DAI Song-yin,DONG Shu-pan,YUAN Si-jie.“A Novel Direct Blind MMSE Equalization Algorithm and the Adaptive Implementation” ACTA ELECTRONICA SINICA. Vol.39, No.10, pp.2437-2443, Oct 2011

[2] J Shen,Z Ding.Direct blind MMSE channel equalization based on second-order statistics J.IEEE Transactions on Signal Processing,2000,48(4):1024-1032