【技術分類】１－１－１　構成と基礎理論／基本構成／システムモデル
【　ＦＩ　】H04J15/00 H04L1/06
【技術名称】１－１－１－１　MIMO システムモデル

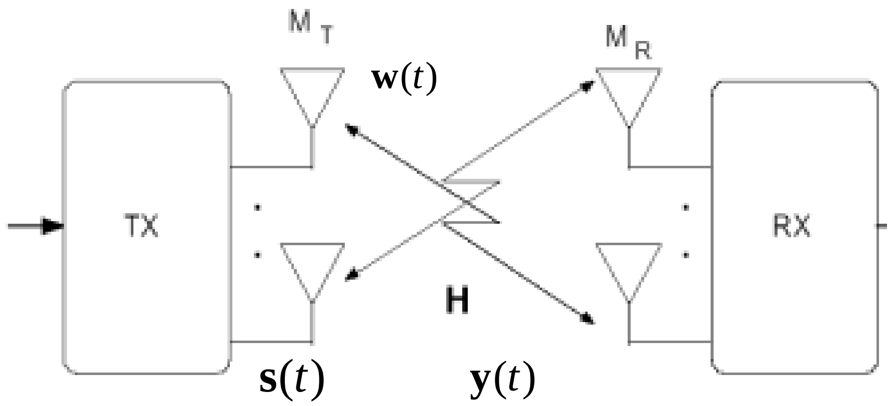
【技術内容】
図に示すような送信アンテナ数 M_T 本、受信アンテナ数 M_R 本のマルチアンテナ対向の MIMO システムモデルにおいて、送受アンテナ間の伝搬路インパルス応答（チャネル応答と呼ぶ）は、狭帯域信号では、チャネル応答行列 $\mathbf{H}(\tau,t)$ ：

$$\mathbf{H}(\tau,t)=\begin{bmatrix} h_{1,1}(\tau,t) & h_{1,2}(\tau,t) & \cdots & h_{1,M_T}(\tau,t) \\ h_{2,1}(\tau,t) & h_{2,2}(\tau,t) & \cdots & h_{2,M_T}(\tau,t) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M_R,1}(\tau,t) & h_{M_R,2}(\tau,t) & \cdots & h_{M_R,M_T}(\tau,t) \end{bmatrix}$$

で表される。ここで、$h_{i,j}(\tau,t)$ は、印加時刻 t-τ のインパルス $\delta(t-\tau)$ に対する第 j 送信アンテナと第 i 受信アンテナ間の時刻 t の時間応答である。
送信信号ベクトル $\mathbf{s}(t)$ に対する受信機入力信号ベクトル $\mathbf{y}(t)$ は、このチャネル行列 $\mathbf{H}(\tau,t)$ により次式で表される。$\mathbf{w}(t)$ は各受信アンテナに付加される雑音成分ベクトルである。

$$\mathbf{y}(t)=\mathbf{H}(\tau,t)\mathbf{s}(t)+\mathbf{w}(t)$$

【図】
MIMO システムのブロックダイヤグラム



出典：“EE492m Space-Time Wireless Communications”, “スタンフォード大学 EE492m 講義資料 Lecture5, p.2”, “8th, Jan.,2003”, “Arogyaswami. Paulraj, Kome Oteri”, “スタンフォード大学”を基に加筆修正

【出典】
[1]“EE492m Space-Time Wireless Communications”, “スタンフォード大学 EE492m 講義資料”, “8th, Jan.,2003”, “Arogyaswami Paulraj, and Kome Oteri 著”, “スタンフォード大学”[1]

【参考資料】

[1] URL: http://www.stanford.edu/class/ee492m/lectures/

[2]“Introduction to Space-Time Wireless Communication”, “2003”, “Arogyaswami Paulraj, Rohit Nabar, Dhananjay Gore 著”, “Cambridge University Press 発行”, “ISBN 0-521-82615-2”

【技術分類】１－１－１　構成と基礎理論／基本構成／システムモデル
【　ＦＩ　】H04J15/00 H04L1/06
【技術名称】１－１－１－２　固有値表現

【技術内容】

送信アンテナ数M、受信アンテナ数Nの MIMO チャネル応答行列は、

$$\mathbf{A} = \mathbf{E}_r \mathbf{D} \mathbf{E}_t^H = \sum_{i=1}^{M_0} \sqrt{\lambda_i} \mathbf{e}_{r,i} \mathbf{e}_{t,i}^H$$

ここで、

$$\mathbf{D} \equiv diag[\sqrt{\lambda_1}\ \sqrt{\lambda_2} \cdots \sqrt{\lambda_{M_0}}],$$

$$\mathbf{E}_t \equiv [\mathbf{e}_{t,1}\ \mathbf{e}_{t,2} \cdots \mathbf{e}_{t,M_0}],\quad \mathbf{E}_r \equiv [\mathbf{e}_{r,1}\ \mathbf{e}_{r,2} \cdots \mathbf{e}_{r,M_0}],$$

$$M_0 \equiv \min(M, N)$$

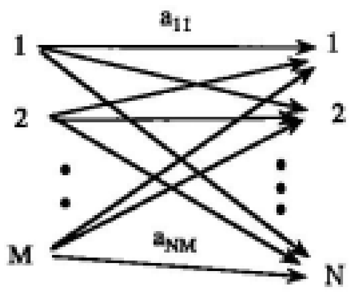
で表せる。これを特異値分解（SVD：Singular Value Decomposition）という。

ここで、上付添字^{H}は複素共役転置、λ_iは相関行列$\mathbf{AA}^H$(または$\mathbf{A}^H\mathbf{A}$)のi番目の固有値であり、$\mathbf{e}_{t,i}$は$\mathbf{A}^H\mathbf{A}$の固有値λ_iに属する固有ベクトル、$\mathbf{e}_{r,i}$は$\mathbf{AA}^H$の固有値λ_iに属する固有ベクトル、$\mathbf{E}_t, \mathbf{E}_r$はユニタリ行列であり、固有値で表現していることから固有値表現ともいう。

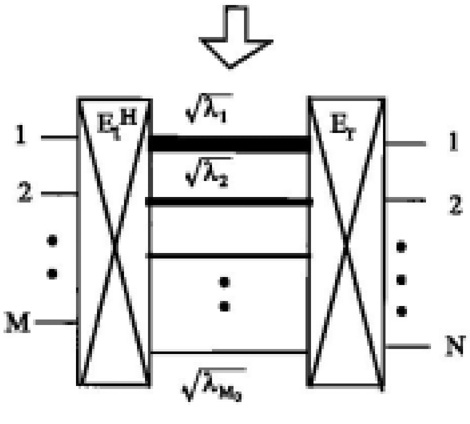
図は、この固有値表現に基づく MIMO チャネルの等価回路である。

【図】

MIMO 情報伝送の基本構成



(a) Channel response matrix



M0 = min (M,N)

(b) Equivalent circuit based on SVD

出典：“MIMO 伝搬チャネルモデリング”，“電子情報通信学会論文誌 Vol. J86- B No.9”，“September 2003”，“唐沢好男 著”，“電子情報通信学会 発行”，“p.1709, Figure 6”

【出典】

[1]“MIMO 伝搬チャネルモデリング”，“電子情報通信学会論文誌 Vol. J86- B No.9”，“September 2003”，“唐沢好男 著”，“電子情報通信学会 発行”

【参考資料】

[2]“Array gain and capacity for known random channels with multiple element arrays at both ends”，“IEEE J. Selec. Areas Commun,. Vol. 18, No.11, pp.2172-2178”，“1989”，“J.B. Andersen 著”

[3]“Matrix Computations”，“Golub G., and C. Van Loan 著”，“Baltimore, MD: Jhoun Hopkins University Press, 2nd edition”

【技術分類】１－１－１　構成と基礎理論／基本構成／システムモデル
【　ＦＩ　】H04J15/00 H04L1/06
【技術名称】１－１－１－３　広帯域信号モデル

【技術内容】
　実際の受信機で広帯域信号の MIMO 信号を受信する場合、帯域制限フィルタ特性が含まれる。広帯域信号を構成する帯域制限フィルタのインパルス応答を $g(\tau)$ とすると、遅延時間 τ の関数として広帯域信号のインパルス応答 $\overline{H}(\tau)$ は次式で与えられる。

$$\overline{H}(\tau)=\sum_{i=0}^{I}a_i g(\tau-\tau_i)$$

I は広帯域信号の帯域に含まれる帯域制限フィルタの数、 a_i は重み係数、 τ_i は離散遅延時間である。
　伝送信号 $s(t)$ をシンボル周期(T_s)毎に発生するインパルスとしてみなすと、デルタ関数 δ を用いて、

$$s(t)=\sum_{k=-\infty}^{\infty}d(kT_s)\delta(t-kT_s) \qquad d(kT_s)\text{：送信データの時系列}$$

となる。帯域制限を受けた広帯域変調信号は、上式の $s(t)$ に $\overline{H}$ を畳み込んで次式で与えられる。

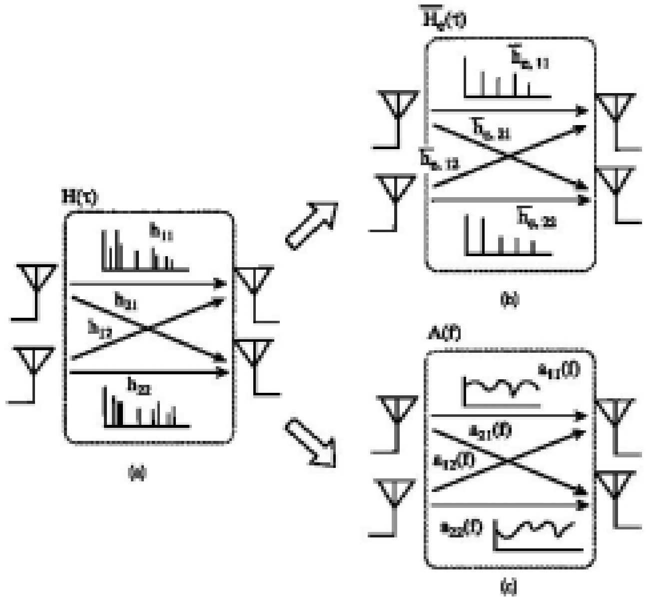
$$H_e(\tau)=\sum_{K'=-\infty}^{\infty}\overline{H}(k'T_s)s(\tau-k'T_s) \qquad k'\text{：離散時間を表す整数}$$

　一方、周波数領域の特異値分解（SVD：Singular Value Decomposition）で表現すると、

$$\mathbf{A}(f)=\mathbf{E}_r(f)\mathbf{D}(f)\mathbf{E}_t^H(f)=\sum_{i=1}^{M_0}\sqrt{\lambda_i(f)}\mathbf{e}_{r,i}(f)\mathbf{e}_{t,i}^H(f)$$

で表される。ここで、上付添字 ^{H} は複素共役転置、 λ_i は相関行列 $\mathbf{A}(f)\mathbf{A}^H(f)$ (または $\mathbf{A}^H(f)\mathbf{A}(f)$) の i 番目の固有値であり、$M_o=\min(M,N)$、M,N はそれぞれ送受信アンテナ数、$\mathbf{e}_{t,i}$ は $\mathbf{A}^H(f)\mathbf{A}(f)$ の固有値 λ_i に属する固有ベクトル、 $\mathbf{e}_{r,i}$ は $\mathbf{A}(f)\mathbf{A}^H(f)$ の固有値 λ_i に属する固有ベクトル、
$\mathbf{E}_t(f),\mathbf{E}_r(f)$ はユニタリ行列である。

【図】
　広帯域 MIMO チャネルのモデル化



出典：“MIMO伝搬チャネルモデリング”，“電子情報通信学会論文誌 Vol. J86- B No.9”，“September 2003”，“唐沢好男 著”，“電子情報通信学会 発行”，“p.1713, Figure 9”

【出典／参考資料】

[1]“MIMO 伝搬チャネルモデリング”，“電子情報通信学会論文誌 Vol. J86- B No.9”，“September 2003”，“唐沢好男 著”，“電子情報通信学会 発行”