

# 移動通信における 通信路情報を用いた最適送信システム

---

加藤康充, 府川和彦, 鈴木 博  
東京工業大学

- 背景
- 従来方式における通信路容量
- 通信路情報を用いた最適送信方式
  - システム構成
  - 提案方式における通信路容量
  - 計算機シミュレーション結果
- 結論

- 信号伝送の高速化に伴い, 限られた周波数資源の中での通信路容量を増加させる方式の研究
- 送受信アンテナ数を増やす(MIMO通信路)ことで, 通信路容量を増加させる方式 (BLAST) が提案されている

## 従来方式(BLAST)

- 送信側では各ブランチから無相関な信号を送信
- 通信路情報(インパルス応答)は利用していない

## 提案方式

- 通信路情報を利用し, 重み付けされた信号を各ブランチから送信
- 送信電力を最適に配置

---

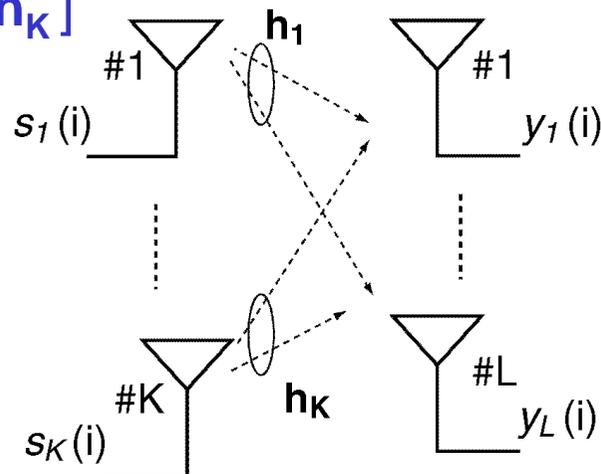
**更なる通信路容量の増加を目指す!**

# MIMO通信路の通信路容量

インパルスレスポンス行列

$$\mathbf{H} = [\mathbf{h}_1 \cdots \mathbf{h}_K]$$

送信信号ベクトル  
 $\mathbf{s}^H(i) = [s_1^*(i) \cdots s_K^*(i)]$



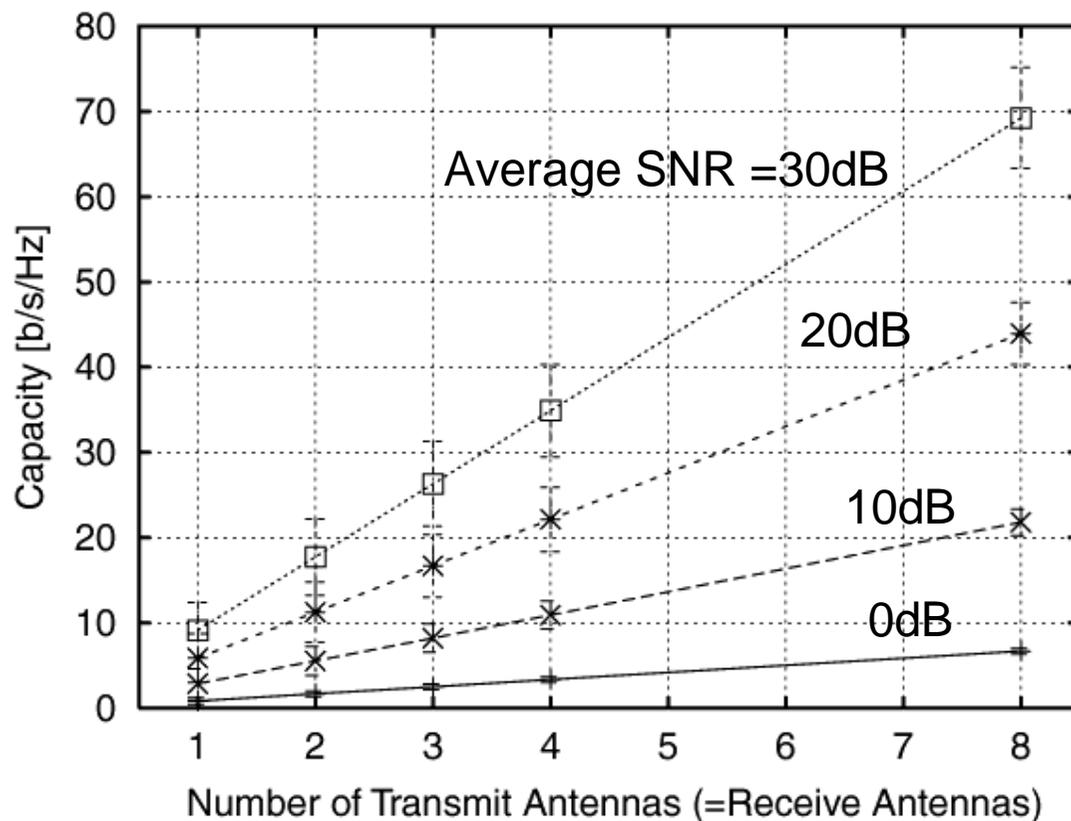
受信信号ベクトル  
 $\mathbf{y}^H(i) = [y_1^*(i) \cdots y_L^*(i)]$   
 $\mathbf{y}(i) = \mathbf{H}\mathbf{s}(i) + \mathbf{n}(i)$

- K個の信号を送信しLブランチダイバーシチ受信
- 周波数帯域  $W$  を同時に使用
- フラットフェージング

通信路容量  $C = W \log_2 \det \left( \mathbf{I}_L + \frac{1}{\sigma_n^2} \mathbf{H} \mathbf{R}_s \mathbf{H}^H \right)$

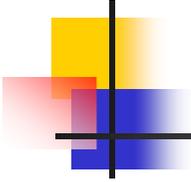
$\mathbf{R}_s$ :  $\mathbf{s}(i)$  の相関行列  
 $\sigma_n^2$ : 各ブランチ雑音電力

# 従来方式における通信路容量



$K=L= 1, 2, 3, 4, 8$   
 $\mathbf{h}_k$  の要素を独立なレイリーフェージングとして計算した容量の平均値および分散値

アンテナ数に比例して通信路容量は増加.

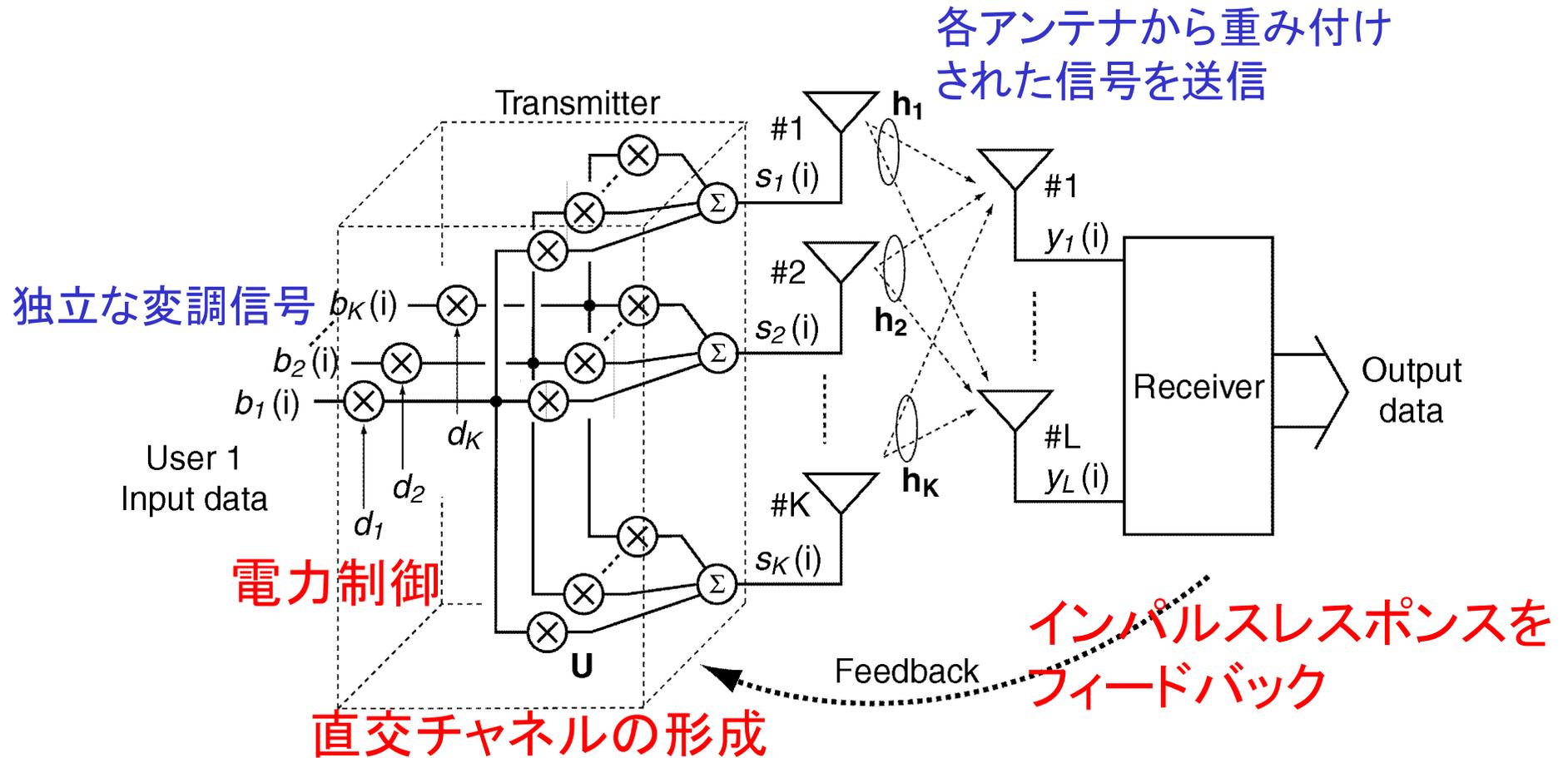


# 通信路情報を用いた最適送信システム

送信信号を通信路容量が最大となるよう制御する.

- 受信側から通信路のインパルスレスポンスをフィードバック
- 直交チャネルの形成
- 各直交チャネルへの送信電力最適配置

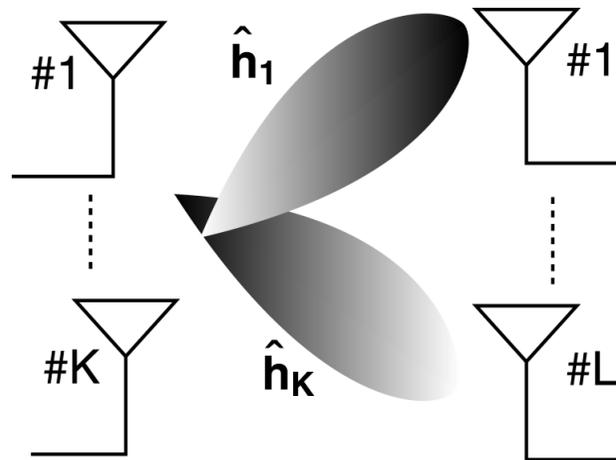
# システム構成



$$C = W \log_2 \det \left( \mathbf{I}_L + \frac{1}{\sigma_n^2} \mathbf{H} \mathbf{U} \mathbf{D} \mathbf{U}^H \mathbf{H}^H \right) \quad \mathbf{D} = \text{diag}[d_1^2, d_2^2, \dots, d_K^2]$$

## 直交チャネルの形成

- 行列 $\mathbf{U}$ を用い、直交チャネル $\hat{\mathbf{h}}_k$ を形成する.



$$C_{\text{total}} = \sum_{k=1}^K C(\hat{\mathbf{h}}_k)$$

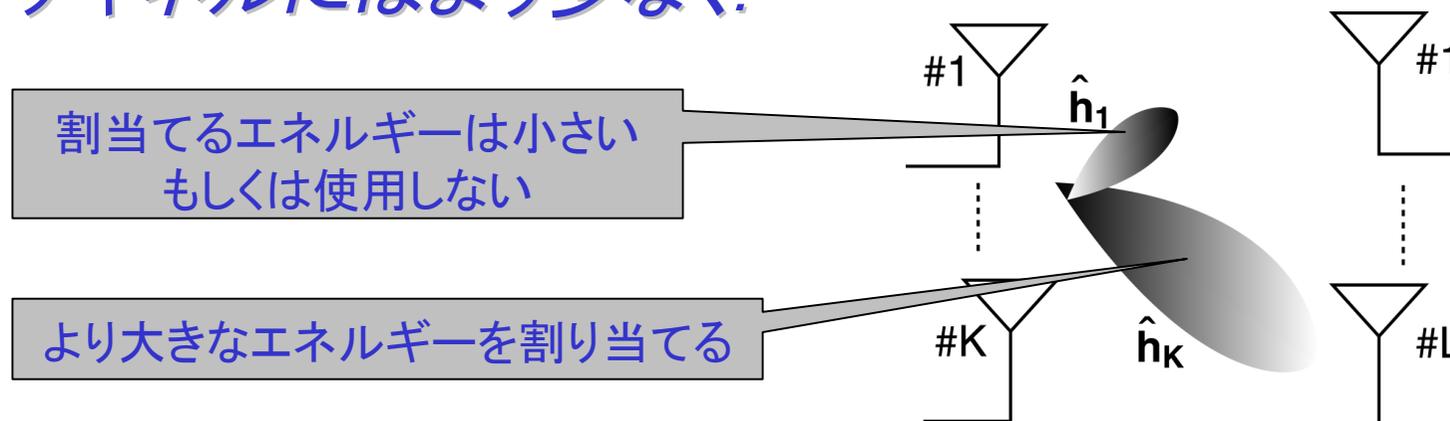
- *空間的直交チャネルを形成すれば全通信路容量は各直交チャネルの通信路容量の和(上限値)となる.*
- 直交チャネルを形成するため、 $\mathbf{H}^H\mathbf{H}$ を対角化するユニタリ行列を重み付けベクトル $\mathbf{U}$ として設定.

# 最適送信電力制御

- 送信側電力が一定の下, 通信路容量が最大となるよう, k番目のチャンネルに割り当てる電力 $d_k^2$ を設定.

$$d_k^2 = \frac{1}{K} \left[ P_t + \sum_{m=1}^K \frac{1}{\gamma_m} \right] - \frac{1}{\gamma_k} \quad \gamma_k = \frac{\hat{\mathbf{h}}_k^H \hat{\mathbf{h}}_k}{\sigma_n^2} \quad \text{最適電力配分}$$

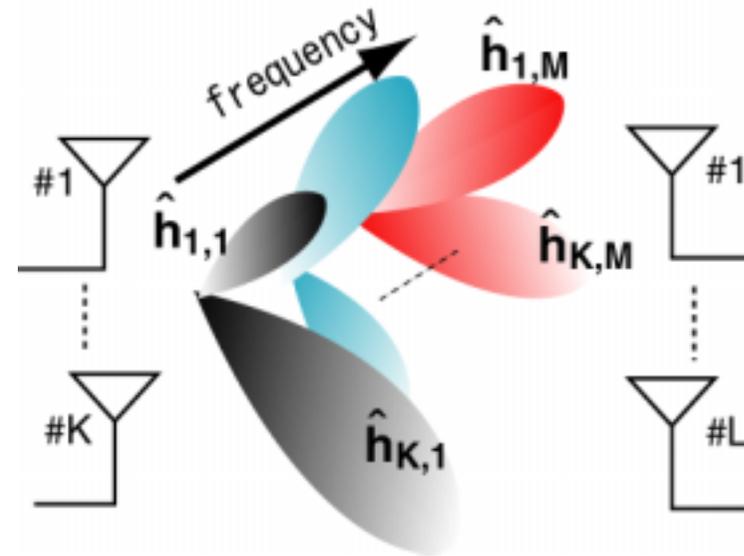
- 特性の良いチャンネルにより多くのエネルギーを, 悪いチャンネルにはより少なく.



# 周波数選択性伝送路における最適化

- 送信信号にマルチキャリア信号を使用(キャリア数M)
  - 各キャリアにおける帯域はフラットな伝送路
- 各周波数帯域において空間的直交チャネルを形成

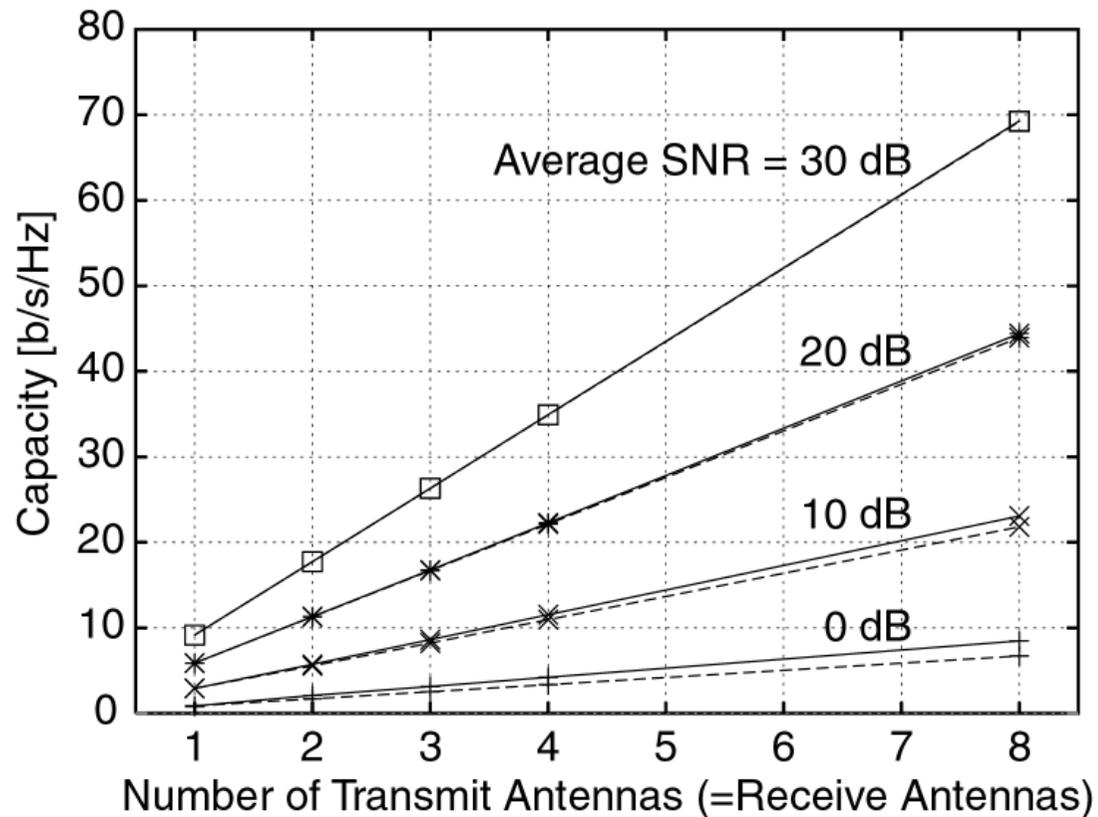
■ **全体で  $K \times M$  の直交チャネルが存在!**



- 最適送信電力配置は

$$d_{k,m}^2 = \frac{1}{KM} \left[ P_t + \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \frac{1}{\gamma_k(f_m)} \right] - \frac{1}{\gamma_k(f_m)}$$

# 従来方式との比較 (K=L)

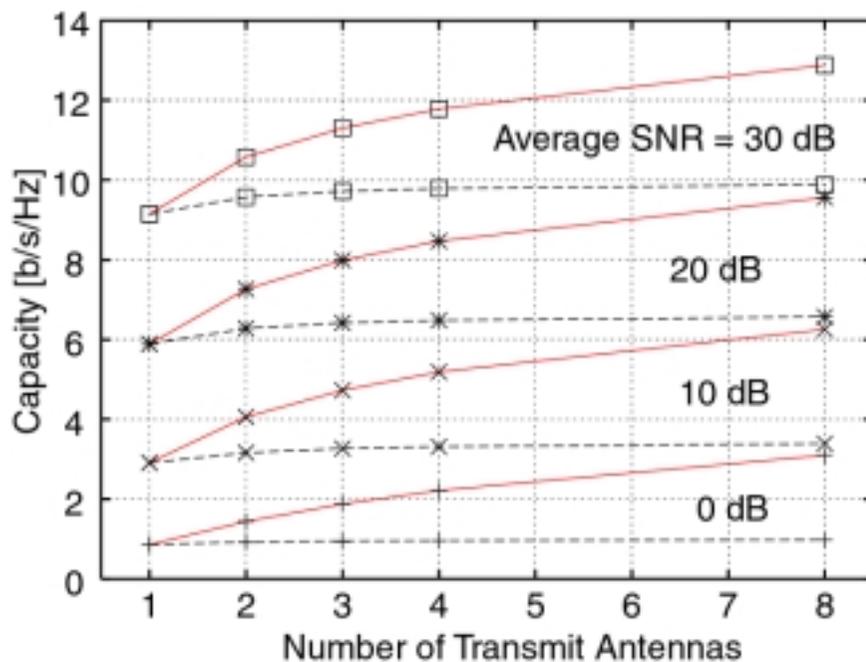


周波数選択性  
フェージング環境  
(指数モデル)

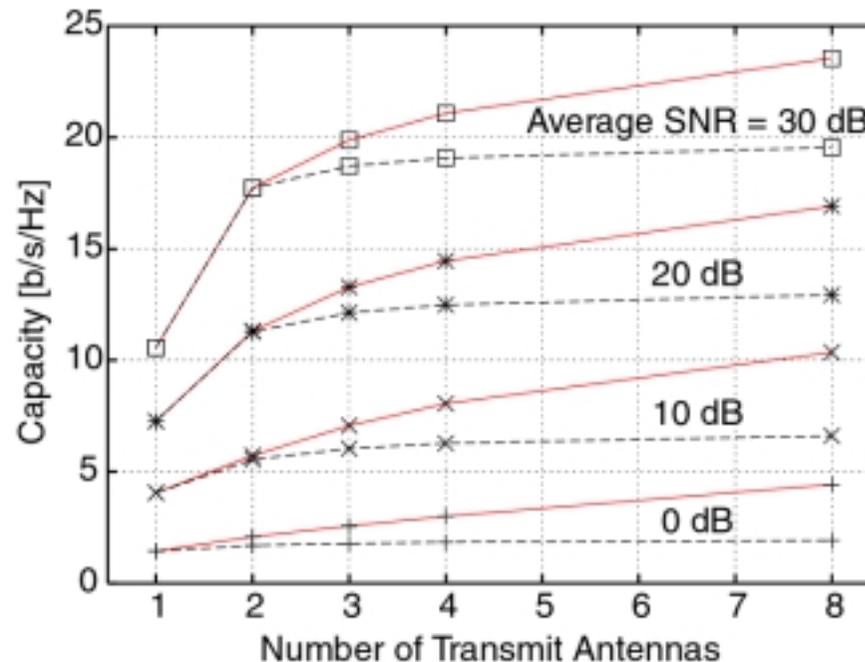
- ・実線が提案方式
- ・破線が従来方式

# 従来方式との比較 (L=1,2)

- ・黒線が従来方式
- ・赤線が提案方式



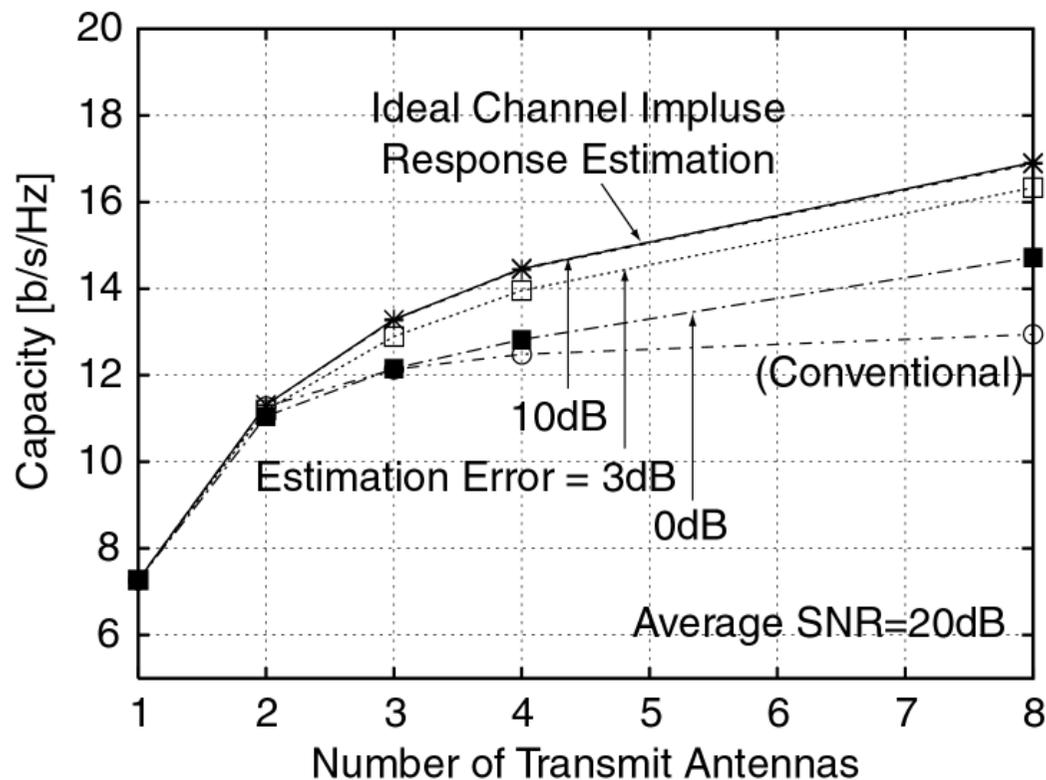
L=1



L=2

K>L で 通信路容量の大幅な増加が見込める.

# 伝送路推定に誤差を含む場合

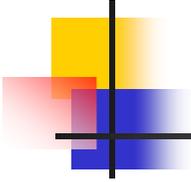


\* フラットフェージング環境

$$h' = (1 + \rho)h$$

Estimation Error

推定誤差が 10dB 程度では  
特性は劣化しない。



## まとめ

---

- シングルユーザ MIMO 通信環境において, 通信路容量を最大とする最適送信方式を提案した.
- 提案方式は,  $K > L$  において改善がみられ,  $K=8$ ,  $L=1$ ,  $\text{SNR}=20\text{dB}$  において通信路容量が 50% ( $\text{SNR} 10\text{dB}$ 分) の増加がみられた.
- 提案方式は通信路情報に誤差が含まれていても有効であり, 推定誤差が  $10\text{dB}$  程度の環境では 1% 以下の劣化で抑えられることを示した.