

MIMO中継ネットワーク の特性解析

Khanh Tran Gia

阪口 啓

荒木 純道

東京工業大学

内容

- 背景
- 目的
- 伝送容量計算法
 - 中継方式
 - 解析結果
- 結論

タンザカン, 阪口啓, 荒木純道, “MIMO 中継ネットワークの特性比較,” 電子情報通信学会総合大会, B-21-3, (2007.3)

背景

フェージング・干渉
による伝送レート劣化



メッシュ
ネットワーク

高接続性による信頼性向上
通信距離を短くすること
による省電力化
協力中継による性能向上

高速伝送の要求

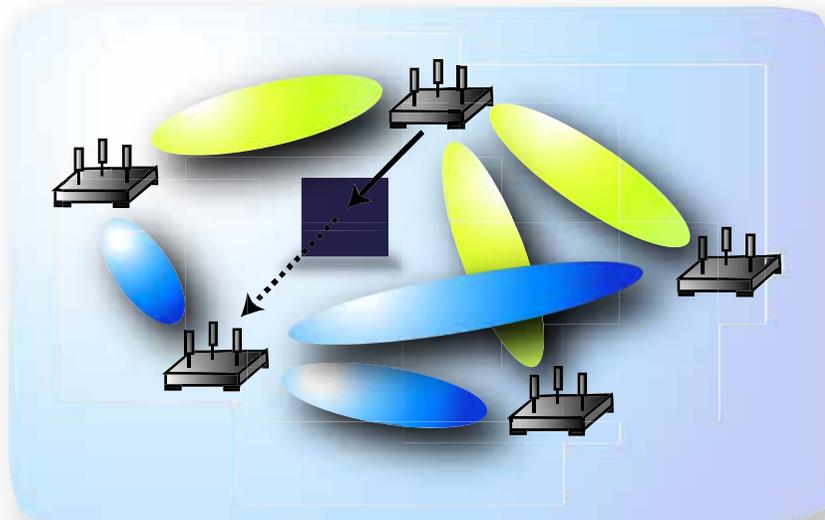


MIMO

空間多重効果
エリアカバレッジ拡大
空間ダイバシチ



MIMOを導入した
メッシュネットワーク
に関する研究

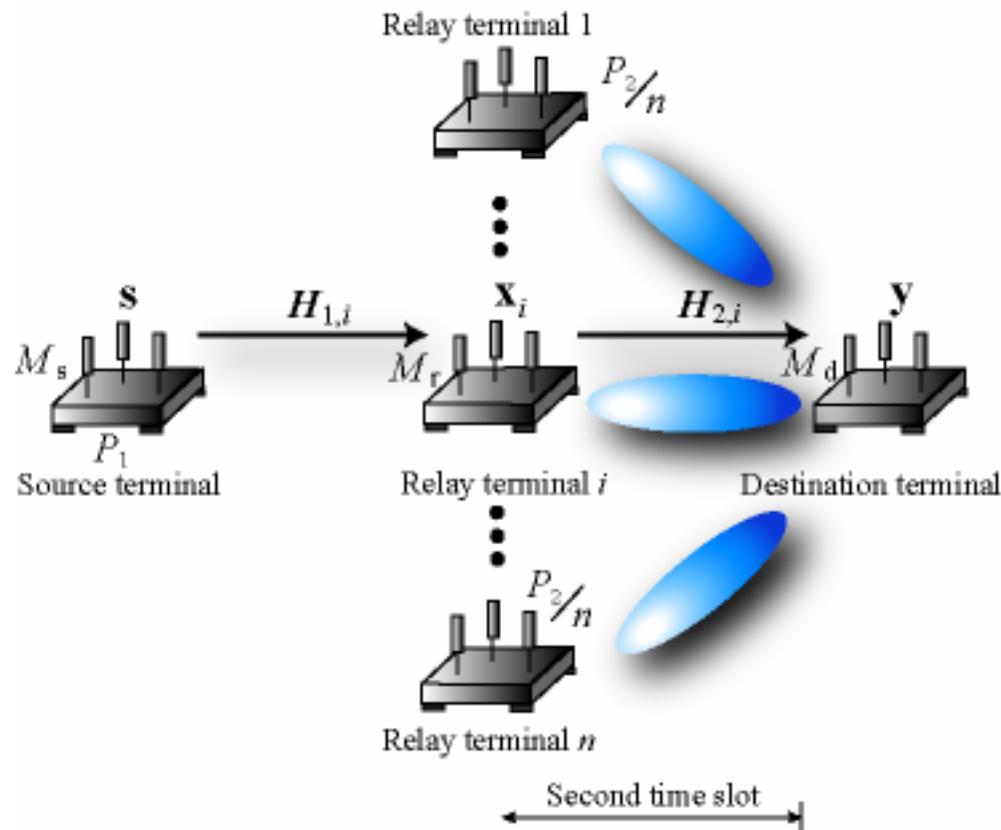


MIMO メッシュネットワーク

目的

- ✓ MIMO導入効果の検討
- ✓ 非再生MIMO中継のアルゴリズムの特性評価

NOTE



- M_s number of antennas at Tx node
- M_r number of antennas at relay node
- M_d number of antennas at Rx node
- \mathbf{S} transmit signal vector
- \mathbf{X}_i retransmit signal vector at relay node i
- \mathbf{y} receive signal vector
- $H_{1,i}$ backward channel between Tx node and relay node i
- $H_{2,i}$ forward channel between Rx node and relay node i
- P_1 transmit power at Tx node
- P_2 total transmit power at relay nodes
- n number of relay node

非再生MIMO中繼

$$\mathbf{x}_i = \mathbf{H}_{1,i} \mathbf{s} + \mathbf{n}_{1,i}$$

$$\mathbf{t}_i = \mathbf{G}_i \mathbf{x}_i$$

$$\mathbf{y} = \sum_{i=1}^n \mathbf{H}_{2,i} \mathbf{t}_i + \mathbf{n}_2$$

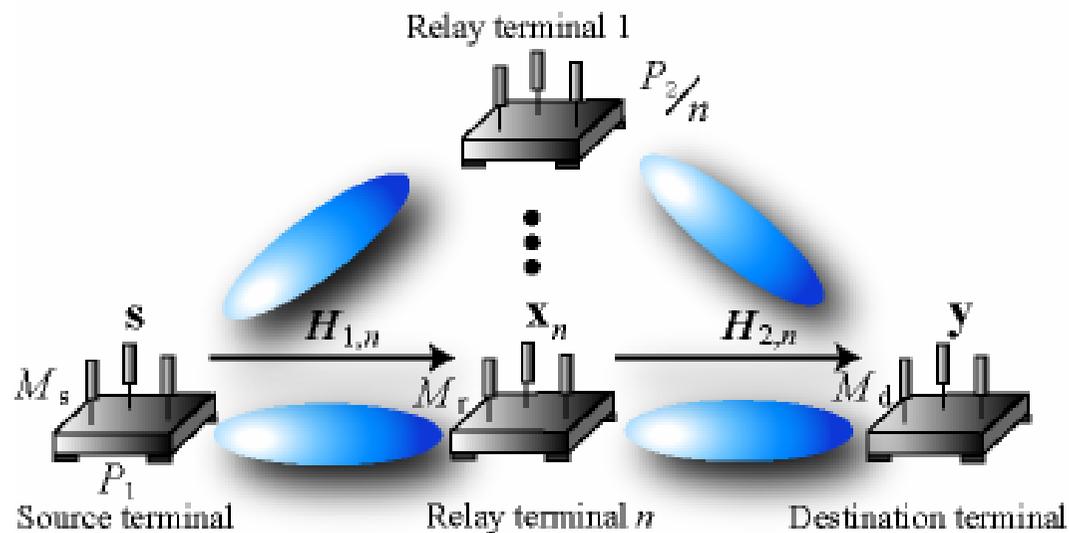
$$\mathbf{H}_{\text{eff}}$$

$$M_s = M_d = M$$

$$\mathbf{R}_s = \mathbf{E}[\mathbf{s}\mathbf{s}^H] = \frac{P_1}{M} \mathbf{I}_M$$

$$\mathbf{R}_n = \mathbf{E}[\mathbf{n}\mathbf{n}^H] = \sigma_n^2 \mathbf{I}_M$$

$$\mathbf{y} = \sum_{i=1}^n \mathbf{H}_{2,i} \mathbf{G}_i \mathbf{H}_{1,i} \mathbf{s} + \sum_{i=1}^n \mathbf{H}_{2,i} \mathbf{G}_i \mathbf{n}_{1,i} + \mathbf{n}_2$$



伝送容量の計算

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}_{\text{eff}} \mathbf{s} + \sum_{i=1}^n \mathbf{H}_{2,i} \mathbf{G}_i \mathbf{n}_{1,i} + \mathbf{n}_2$$

$$\mathbf{H}_{\text{eff}} = \sum_{i=1}^n \mathbf{H}_{2,i} \mathbf{G}_i \mathbf{H}_{1,i}$$

$$\mathbf{W}_i$$

$$C = \frac{1}{2} \log_2 \det \left(\mathbf{I}_M + \frac{P_1}{M \sigma_n^2} \mathbf{H}_{\text{eff}} \mathbf{H}_{\text{eff}}^H \left(\sum_{i=1}^n \mathbf{W}_i \mathbf{W}_i^H + \mathbf{I}_M \right)^{-1} \right)$$

送信電力の拘束条件

$$\text{trace} \left[\mathbf{t}_i \mathbf{t}_i^H \right] = \text{trace} \left[\mathbf{G}_i \mathbf{x}_i \mathbf{x}_i^H \mathbf{G}_i^H \right] = P_2 / n$$

$\mathbf{G}_i = \eta_i \mathbf{F}_i$ とする



$$\eta_i = \sqrt{\frac{P_2 / n}{\text{trace} \left[\frac{P_1}{M} \mathbf{F}_i \mathbf{H}_{1,i} \mathbf{H}_{1,i}^H \mathbf{F}_i^H + \sigma_n^2 \mathbf{F}_i \mathbf{F}_i^H \right]}}$$

中継アルゴリズム

方式	F
AF	\mathbf{I}_{M_r}
MF	$\mathbf{H}_2^H \mathbf{H}_1^H$
ZF	$\mathbf{H}_2^{-1} \mathbf{H}_1^{-1}$
MMSE	$\mathbf{H}_2^H \left(\frac{M_r \sigma_n^2}{P_2} \mathbf{I}_{M_d} + \mathbf{H}_2 \mathbf{H}_2^H \right)^{-1} \left(\frac{M_s \sigma_n^2}{P_1} \mathbf{I}_{M_s} + \mathbf{H}_1^H \mathbf{H}_1 \right)^{-1} \mathbf{H}_1^H$
EM [†]	$\mathbf{V}_2 \Lambda_F \mathbf{U}_1^H$

例

$$\mathbf{H}_{\text{eff}}^{\text{ZF}} = \begin{bmatrix} 0.3 & 0 \\ 0 & 0.3 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{H}_{\text{eff}}^{\text{MMSE}} = \begin{bmatrix} 0.31 & 0.00 - 0.01i \\ 0.00 + 0.01i & 0.32 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{H}_{\text{eff}}^{\text{AF}} = \begin{bmatrix} 0.2 - 0.4i & -0.2 - 0.2i \\ 0.5 + 0.0i & 0.4 - 0.1i \end{bmatrix} \quad \mathbf{H}_{\text{eff}}^{\text{MF}} = \begin{bmatrix} 0.4 - 0.1i & 0.1 - 0.3i \\ 0.1 + 0.6i & 0.5 + 0.1i \end{bmatrix} \quad \mathbf{H}_{\text{eff}}^{\text{EM}} = \begin{bmatrix} -0.2 - 0.2i & -0.0 + 0.3i \\ 0.1 - 0.5i & -0.2 - 0.3i \end{bmatrix}$$

- ✓ AF: 中継ノードにおいて中継ウェートを計算する必要なし
- ✓ MF: 中継ノードの雑音にも整合
- ✓ ZF: 雑音強調
- ✓ EM: 中継ノードが一個のとき最適

固有モード伝送(EM) ^[1]

最適ウェイト (凸関数最適化問題)

$$\mathbf{F} = \mathbf{V}_2 \mathbf{\Lambda}_F \mathbf{U}_1^H$$

特異値分解

$$\mathbf{H}_1 = \mathbf{U}_1 \mathbf{\Sigma}_1 \mathbf{V}_1^H \quad \mathbf{H}_2 = \mathbf{U}_2 \mathbf{\Sigma}_2 \mathbf{V}_2^H$$

$$\mathbf{\Sigma}_1 = \text{diag} \left\{ \sqrt{\lambda_{1,i}} \right\} \quad \mathbf{\Sigma}_2 = \text{diag} \left\{ \sqrt{\lambda_{2,i}} \right\}$$

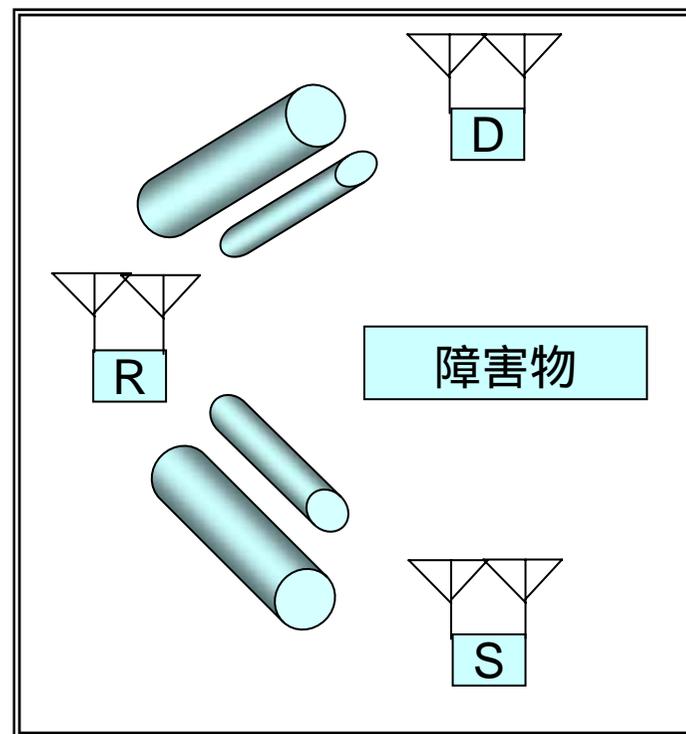
電力制御

$$\mathbf{\Lambda}_F = \text{diag} \{ f_i \}$$

$$f_i^2 = \left[\sqrt{\mu \frac{P_1 \lambda_{1,i}}{M \lambda_{2,i}} + \left(\frac{P_1 \lambda_{1,i}}{2M \lambda_{2,i}} \right)^2} - \frac{P_1 \lambda_{1,i}}{2M \lambda_{2,i}} - \frac{\sigma_n^2}{\lambda_{2,i}}} \right]^+$$

[1] O. Munoz, J. Vidal, A. Agustin, "Non-regenerative MIMO relaying with channel state information [cellular example]," *IEEE 2005 ASSP* vol.3, Mar. 2005, pp.361-364

$$\text{diag} \{ a_i \} = \begin{pmatrix} a_1 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & a_n \end{pmatrix}$$



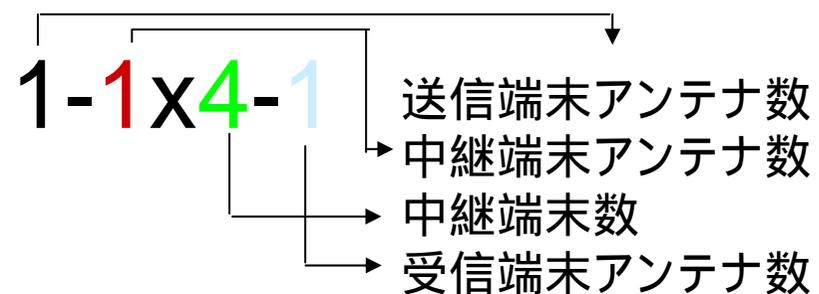
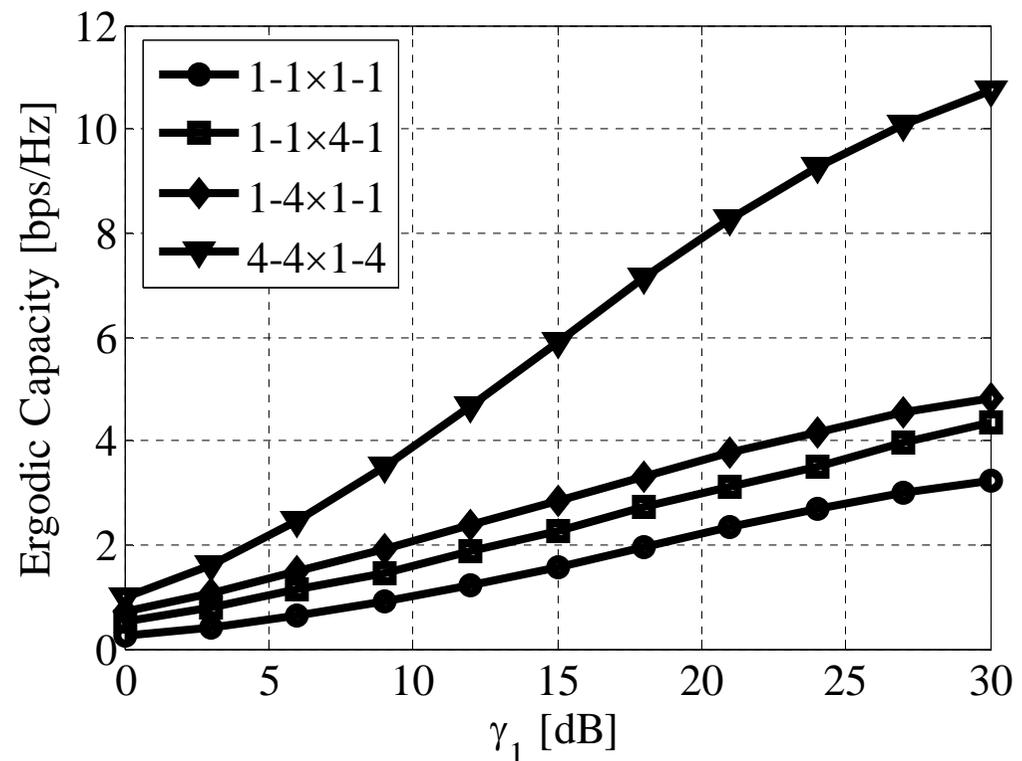
数値解析

MIMOの効果

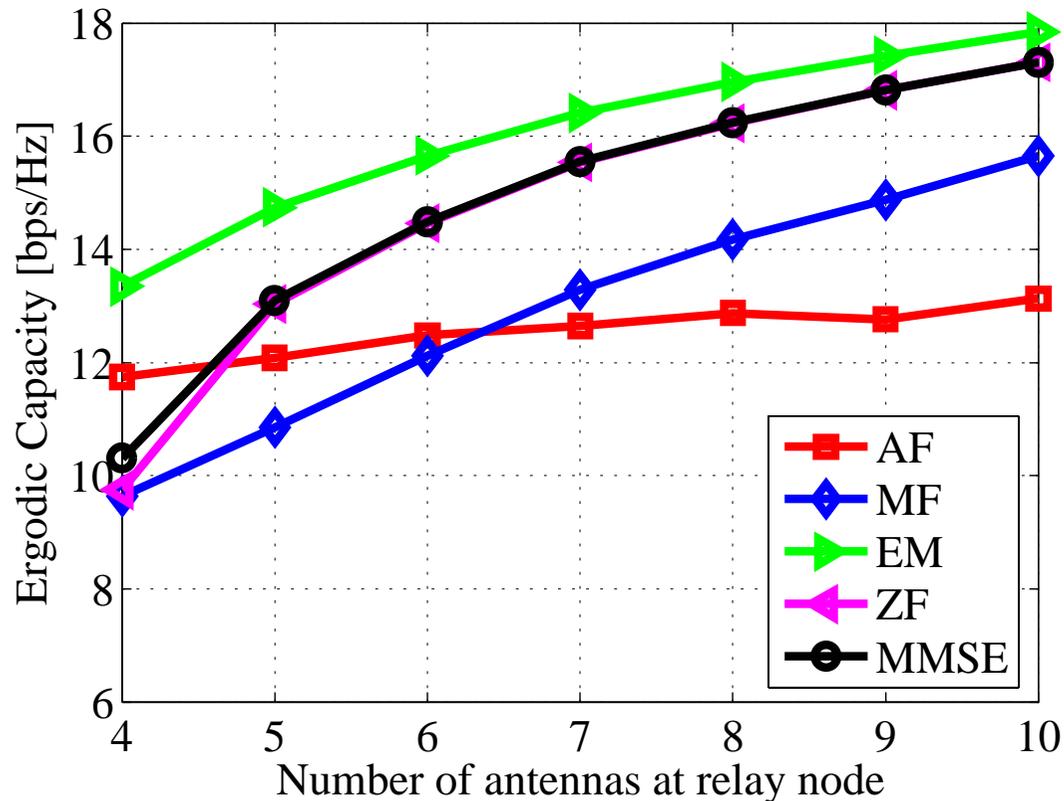
シミュレーション諸元

チャンネルモデル	フラットレイリー
送信・中継間SNR	0 ~ 30 dB
中継・受信間SNR	30 dB
送信・受信ノードのアンテナ数	1, 4
中継ノードのアンテナ数	1, 4
中継ノードの数	1, 4
中継方式	MMSE

- ✓ 中継ノード増加によるルートダイバシチ効果
- ✓ MIMO導入による多重効果



中継端末におけるアンテナ数増加の効果



送信・中継間SNR	30 dB
中継・受信間SNR	30 dB
送信・受信ノードのアンテナ数	4
中継ノードのアンテナ数	4 ~ 10
中継ノードの数	1
中継方式	AF, MF, ZF, MMSE, EM

- ✓ 中継ノードにおけるアンテナの数は送受信ノードのアンテナの数より多く設置しなければMIMOの効果を得られない
- ✓ 中継ノードが1つある場合、EMが最適な方式である

結論

- MIMO中継ネットワークにおいて, MIMOの導入による伝送容量増大の効果を確認
- 中継ノードが1つのとき, EMは最適な中継方式

今後の課題

- 異なる多重化方式との比較
- 複数中継ノードの最適なウェイトに関する検討
- 実験検証