

MIMOシステムの トータルキャリブレーション

阪口 啓 黒田 一浩 高田 潤一 荒木 純道

東京工業大学

発表内容

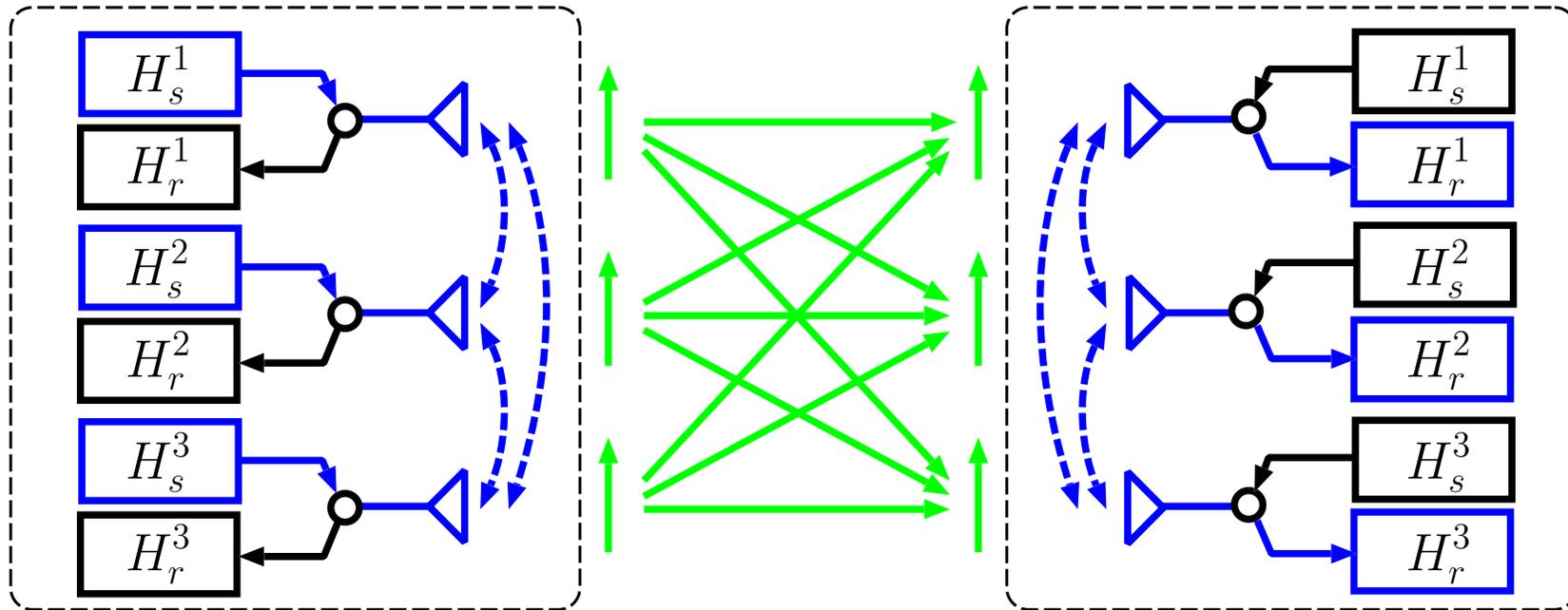
TIT, Mobile Communication Research Group

- 研究背景
- キャリブレーションレビュー
- キャリブレーション定式化
- 提案型キャリブレーション法
- 計算機シミュレーション
- まとめ

研究背景

TIT, Mobile Communication Research Group

MIMOシステムとトータルキャリブレーション



送信機ポート間特性差

+

アンテナ素子間相互結合

||

送信機キャリブレーション

アンテナ素子間相互結合

+

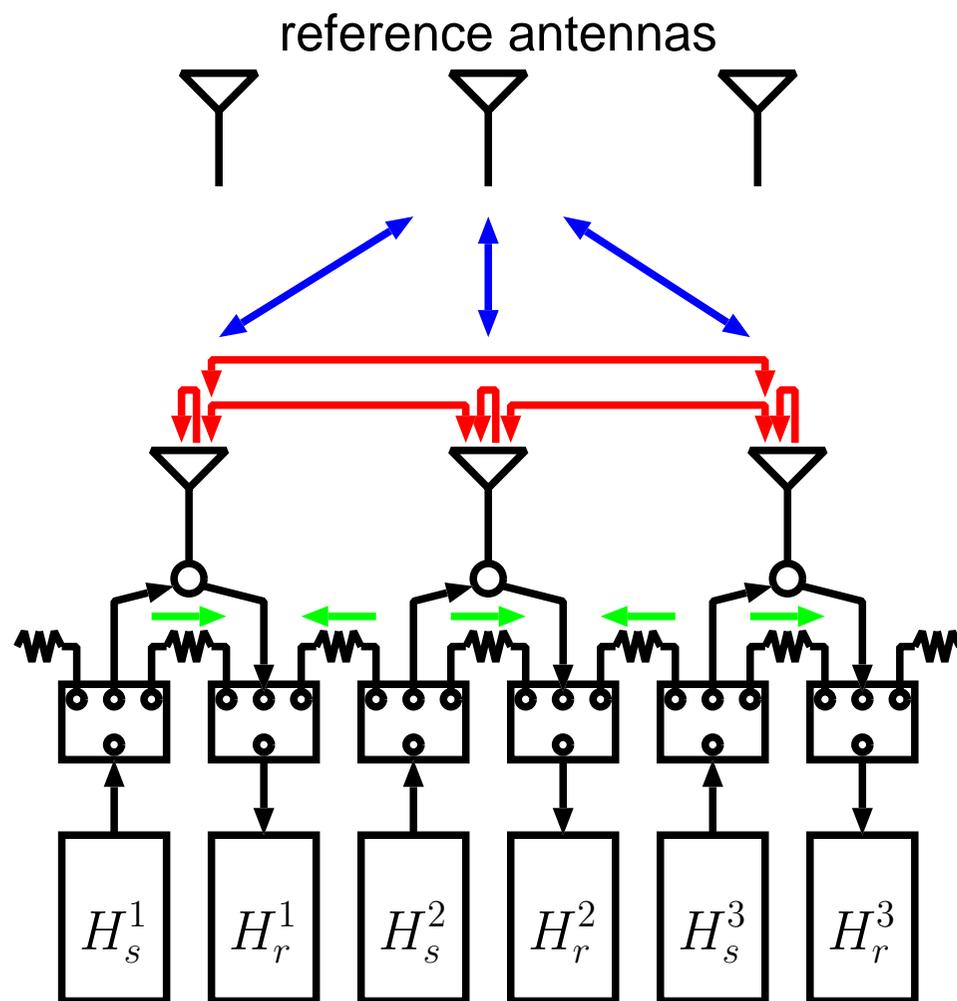
受信機ポート間特性差

||

受信機キャリブレーション

フィードバックキャリブレーション

TIT, Mobile Communication Research Group



アウトーループ

限られた環境で適用可能

アンテナループ

高度なアルゴリズム

インナーループ

複雑なハードウェア

これまでのキャリブレーション

TIT, Mobile Communication Research Group

→ アンテナ素子間結合の補償 (アウトーループ)

角度軸におけるフーリエ変換法により結合行列を測定

角度軸における最小自乗法により結合行列を測定

→ 電波暗室内における測定精度の確保が難！

→ ポート間特性差の補償 (アンテナ, アウターループ)

アンテナ間のフィードバックを用いたポート間特性差の測定

近傍参照アンテナを用いたポート間特性差の測定

→ 素子間結合の補償が行えない！

研究目標

TIT, Mobile Communication Research Group

- **トータルキャリブレーション**
アンテナ素子間結合とポート間特性差を同時に補償！
- **オンサイトキャリブレーション**
電波暗室内におけるキャリブレーションの回避！
- **リアルタイムキャリブレーション**
デバイスの温度特性変化に追従！

システムにおける仮定

- ▶ 同一アンテナ素子特性(ワンモード)
- ▶ 送受信機間アイソレーション

キャリブレーション定式化

TIT, Mobile Communication Research Group

→ 素子間結合行列の補償

アンテナ側 $v = Zi + v'_r(\theta)$

送受信機側 $v = -Z_0i + v'_s$

散乱行列表現 $S = (Z + Z_0)^{-1}(Z - Z_0)$

$$v = (I + S)(v'_s + v'_r(\theta))$$

→ 補償行列 $C = (I + S)^{-1}$

→ ポート間特性差との同時補償

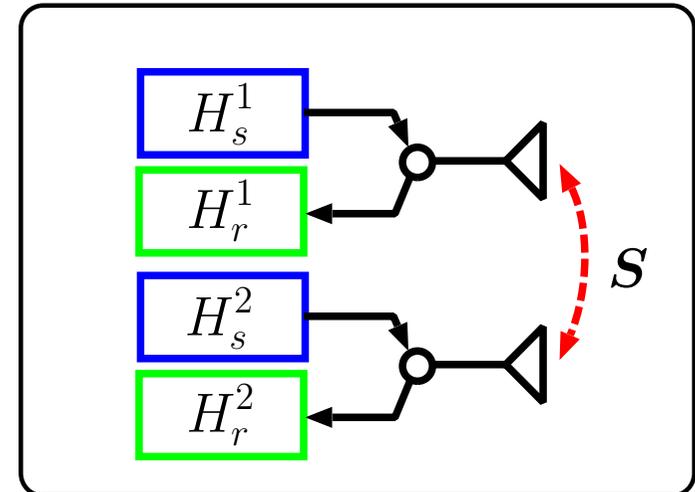
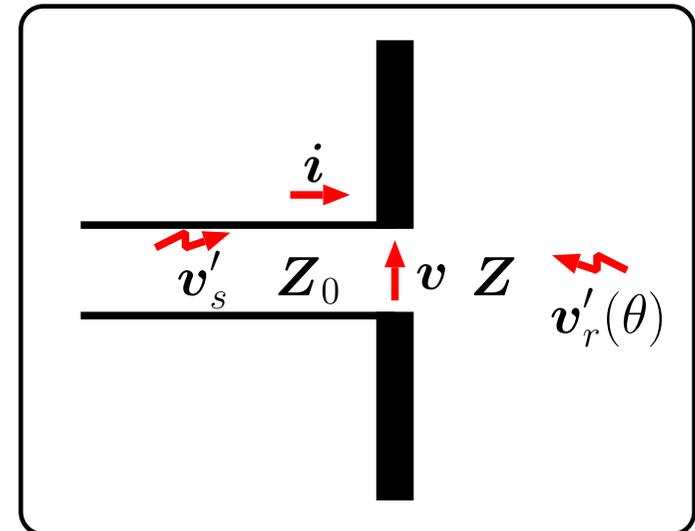
$$v = (I + S)H_s v_s$$

→ 補償行列 $C_s = H_s^{-1}(I + S)^{-1}$

$$v_r = H_r(I + S)v_r(\theta)$$

→ 補償行列 $C_r = (I + S)^{-1}H_r^{-1}$

各記号の意味



提案型キャリブレーション

TIT, Mobile Communication Research Group

→ アンテナループ

$v_r = H_r S H_s v_s \rightarrow S, \hat{H}_s, \hat{H}_r$ を求める

→ アクティブキャリブレーション

スイッチON $\rightarrow v_r = H_r H_s v_s$

→ 計算アルゴリズム

$$M_1 = (H_r S H_s) ./ (H_r S H_s)^T$$

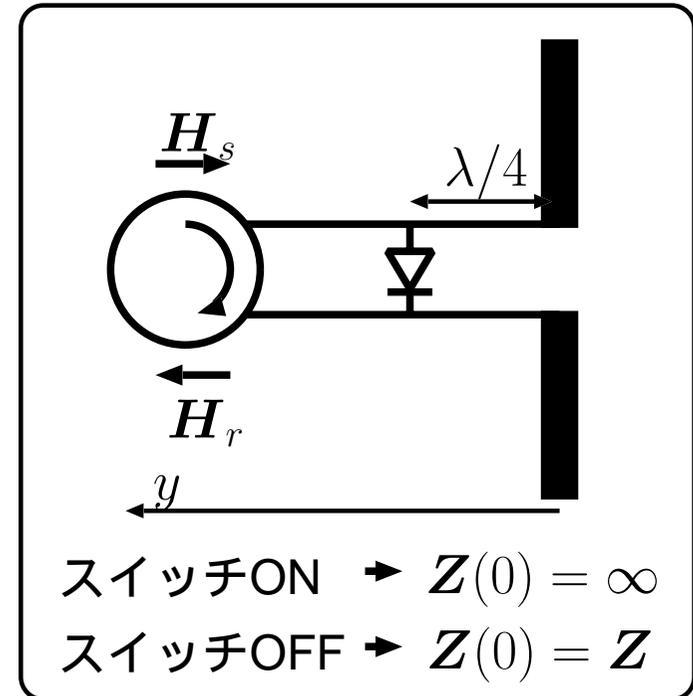
$$M_2 = \text{diag}(H_r H_s) (\text{diag}((H_r H_s)^{-1}))^T$$

$$\tilde{H}_s = \sqrt{M_1 ./ M_2} \rightarrow \hat{H}_s$$

$$\tilde{H}_r = \sqrt{M_1 \times M_2} \rightarrow \hat{H}_r$$

$$S = \frac{\hat{H}_r \hat{H}_s}{H_r H_s} (\hat{H}_r)^{-1} H_r S H_s (\hat{H}_s)^{-1}$$

アンテナ構成例



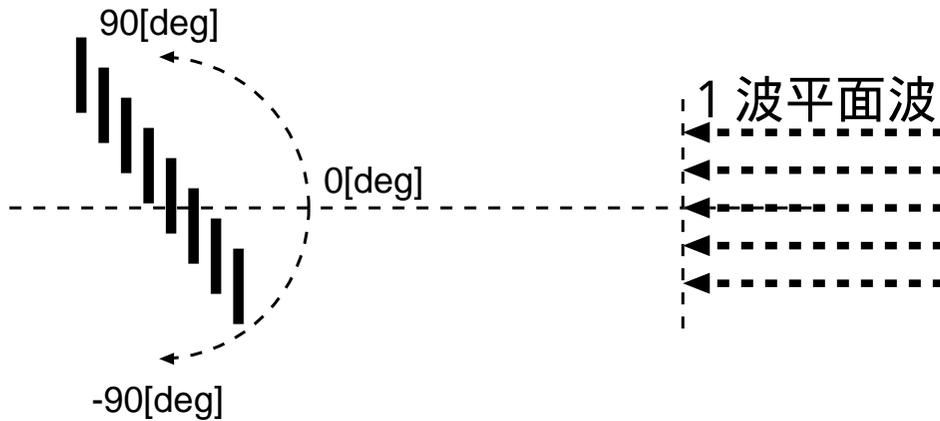
相対的に求まる

絶対的に求まる

計算機シミュレーション

TIT, Mobile Communication Research Group

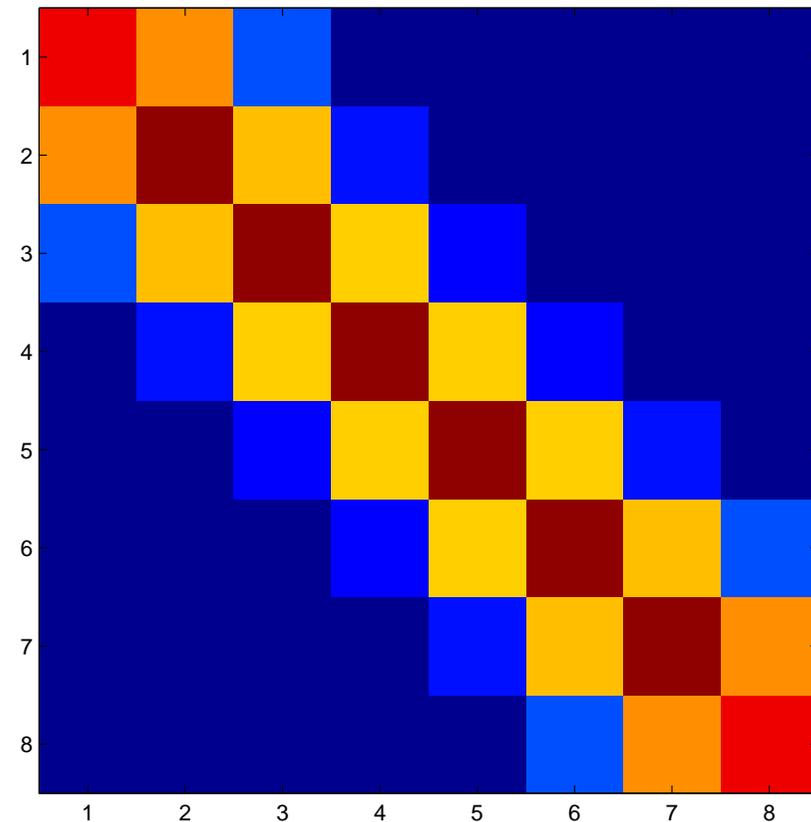
到来方向推定誤差を評価



アンテナ	半波長ダイポール
素子数	8
アレー	半波長間隔リニア
スイッチ	ON: $1[\Omega]$ OFF: $\infty[\Omega]$
振幅特性差	± 3 [dB]内一様乱数
位相特性差	± 5 [deg]内一様乱数

散乱行列の視覚表現
(モーメント法により計算)

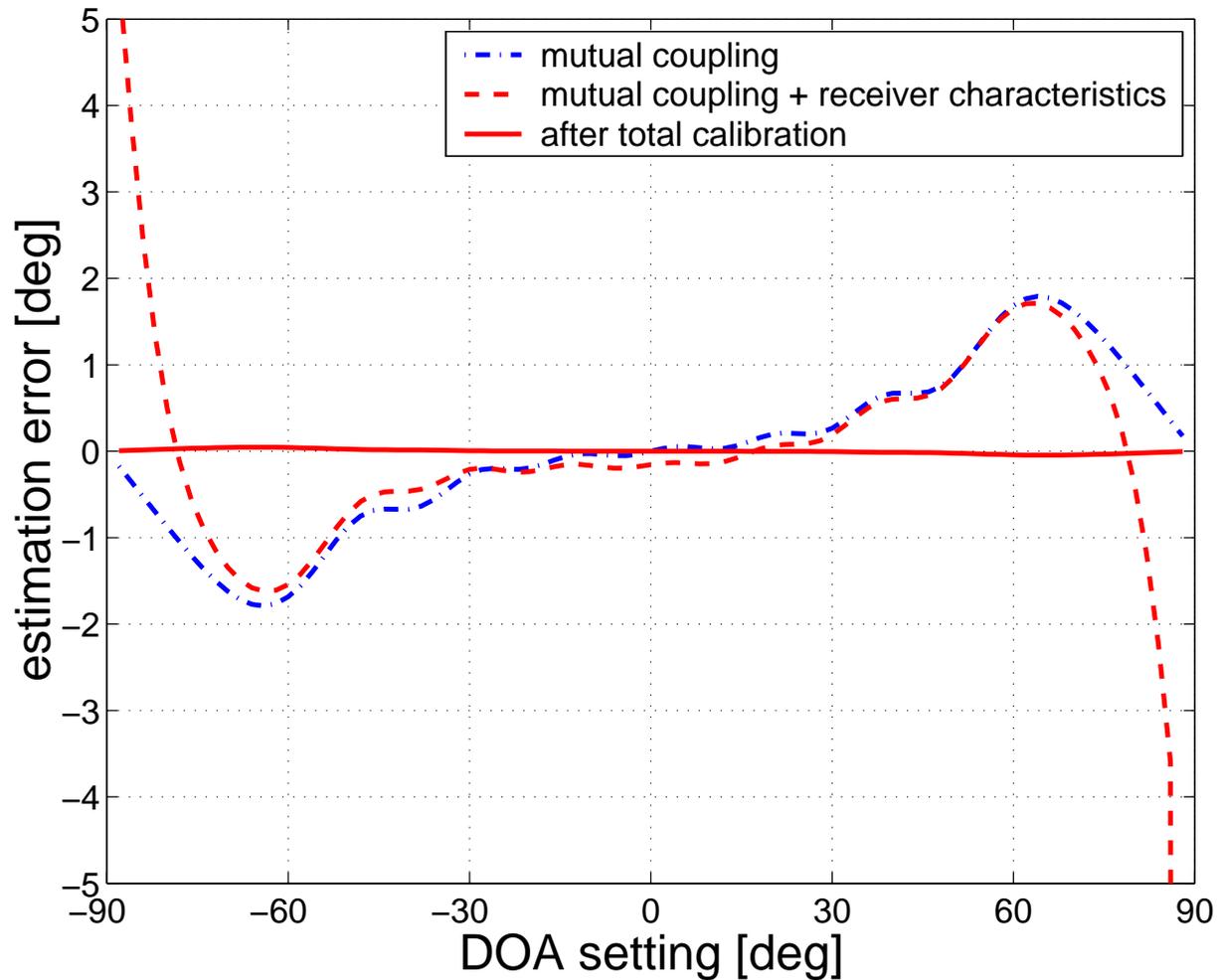
S Matrix



シミュレーション結果

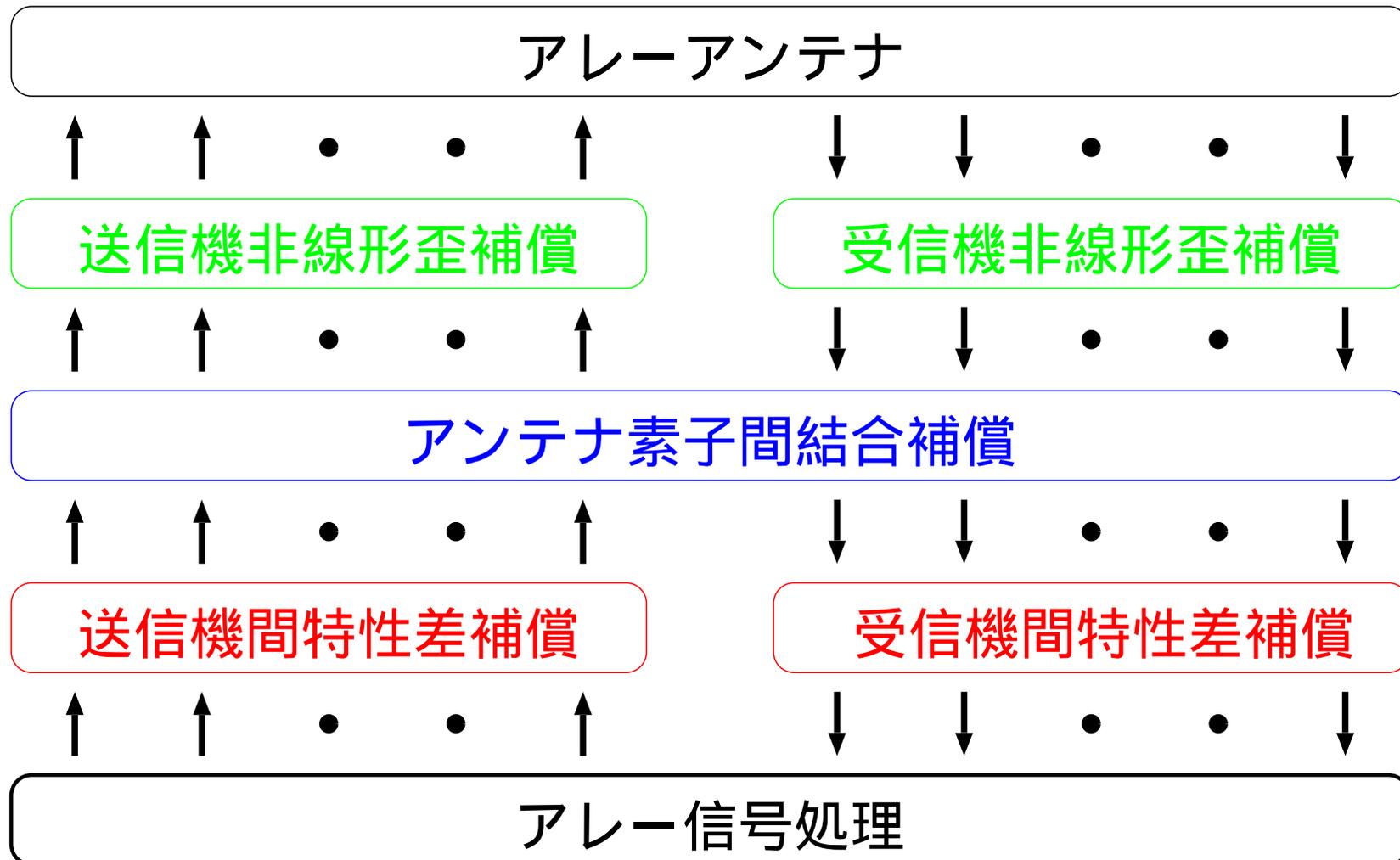
TIT, Mobile Communication Research Group

到来方向推定誤差(ESPRIT法)



トータルキャリブレーション

TIT, Mobile Communication Research Group



まとめ

TIT, Mobile Communication Research Group

- MIMOシステムの**トータルキャリブレーション**を提案
 - ・ **アンテナ素子間結合とポート間特性差**の同時補償
 - ・ **オンサイトでリアルタイム**なキャリブレーション
 - ・ **アクティブキャリブレーション**法の導入
- 計算機シミュレーションによりその**効果を確認**
- 今後の課題
 - ・ **アクティブキャリブレーション**のハードウェア実装
 - ・ **FDDシステム**におけるアルゴリズムの確立