

# MC-CDMA方式の送信電力制御を用いた 下り回線における干渉キャンセラ

東京工業大学

秋田 憲二, 須山 聡, 府川 和彦, 鈴木 博

# 発表の流れ

◇ 研究背景

◇ MC-CDMAの概要

◇ 提案方式

- マルチステージ形干渉キャンセラ
- 厳密な最小2乗合成による線形干渉キャンセラ

◇ 計算機シミュレーション

◇ まとめ

# 研究背景

高速パケット伝送方式 ⇒ MC-CDMA

下りリンクにおいて各ユーザのサービスに応じた所望SINRを満たすために送信電力制御(TPC)を行うシステムを想定

**問題点:** 周波数選択性フェージングにより各ユーザの直交性が崩れ, 基地局に近いユーザが他ユーザからの同一チャネル間干渉(CCI)により特性が大幅に劣化

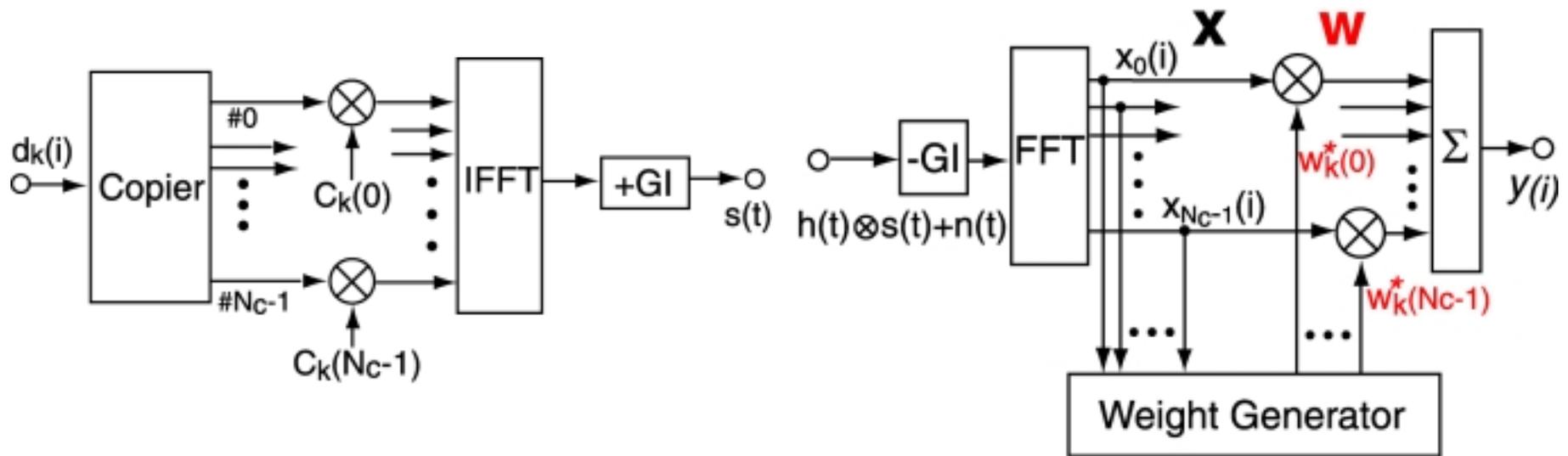
## 対策

⇒ CCIを抑圧する

- マルチステージ形干渉キャンセラ

- 厳密な最小2乗合成による線形干渉キャンセラ

# MC-CDMAの送受信機構成



送信機構成

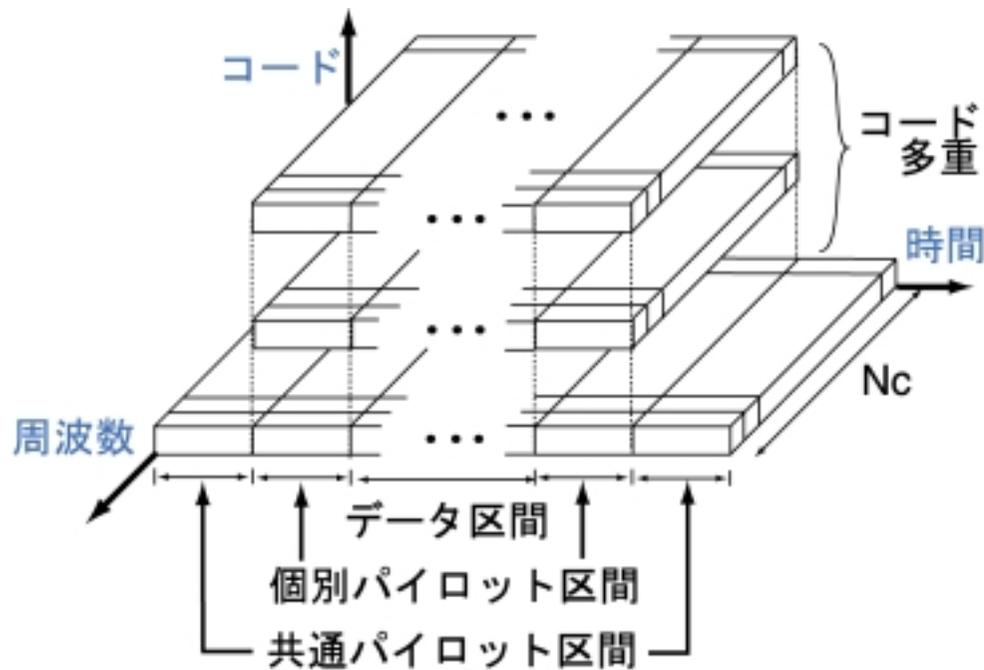
受信機構成

$$\text{受信信号: } x_\ell(i) = \sum_{k=1}^K \sqrt{P_k} H(\ell) c_k(\ell) d_k(i) + n_\ell(i)$$

$P_k$  : 第 $k$ ユーザの信号電力  
 $c_k(\ell)$  : 第 $k$ ユーザの拡散符号  
 $d_k(i)$  : 第 $k$ ユーザの変調信号

$H(\ell)$  : 第 $\ell$ サブキャリアの伝達関数  
 $n_\ell(i)$  : 第 $\ell$ サブキャリアの雑音

# パケット構成



送信パケット構成

- 共通パイロット区間  
全ユーザ同一の  
変調信号, 拡散符号, 信号電力  
⇒ チャンネル, 雑音電力推定
- 個別パイロット区間  
各ユーザ個別の  
変調信号, 拡散符号, 信号電力  
⇒ 各ユーザの電力推定
- データ区間  
各ユーザ個別の  
変調信号, 拡散符号, 信号電力

# 線形干渉キャンセラ

$$\text{合成信号: } y(i) = \mathbf{w}_k^H \mathbf{x}(i)$$

$$\text{重み係数ベクトル: } \mathbf{w}_k^H = [w_k^*(0) \quad w_k^*(1) \quad \cdots \quad w_k^*(N_c - 1)]$$

$$\text{受信信号ベクトル: } \mathbf{x}^H(i) = [x_0^*(i) \quad x_1^*(i) \quad \cdots \quad x_{N_c-1}^*(i)]$$

$$\text{誤差: } e(i) = d(i) - y(i)$$

$$\text{評価関数: } J(i) = E[|e(i)|^2] = E[|d(i) - y(i)|^2]$$

$$\text{ウィナー解} \Rightarrow \hat{\mathbf{w}} = \underline{\mathbf{R}}_{xx}^{-1} \underline{\mathbf{r}}_{xd}$$

受信信号の相関行列      受信信号と変調信号の  
相関ベクトル

MMSE規範に基づき、送信信号と合成信号の誤差を最小にする重み係数を求め、合成する

# 重み係数

## ▶ 厳密な最小2乗合成における重み係数

$$\mathbf{W}_{k'} = \left( \sum_{k=1}^K P_k \mathbf{H} \mathbf{c}_k \mathbf{c}_k^H \mathbf{H}^H + \sigma_n^2 \mathbf{I} \right)^{-1} \sqrt{P_{k'}} \mathbf{H} \mathbf{c}_{k'}$$

$$\mathbf{c}_k^H(i) = [c_k^*(0) \quad \cdots \quad c_k^*(N_c - 1)] \quad \mathbf{H} = \text{diag}[H(0) \quad \cdots \quad H(N_c - 1)]$$

**利点:** 各ユーザの直交化能力が優れている

**問題点:** 重み係数を求める過程に逆行列の計算が必要となり、重み係数導出の際に演算量が増大する

## ▶ 簡略化最小2乗合成における重み係数

$$w_{k'}(\ell) = \frac{\sqrt{P_{k'}} H(\ell) c_{k'}(\ell)}{\sum_{k=1}^K P_k |H(\ell)|^2 + \sigma_n^2} \quad \sigma_n^2 : \text{雑音電力}$$

# チャンネル推定

重み係数の導出に伝達関数が必要である

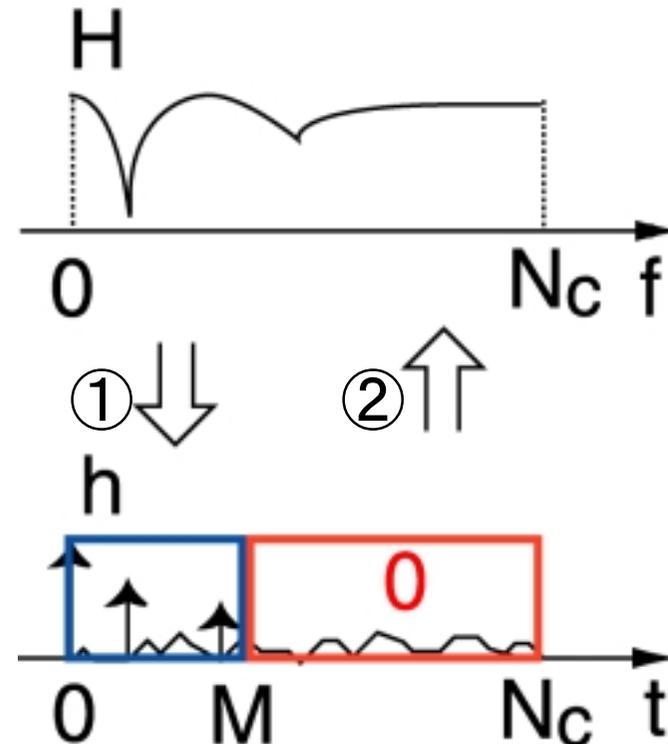
(i) 受信信号から拡散符号と変調信号を取り除く

$$\sqrt{P_s} \hat{H}(\ell) = x_\ell(i) c^*(\ell) d^*(i) \quad P_s: \text{送信電力の総和}$$

(ii) 雑音を除去

① 時間領域に変換(IFFT)

② 周波数領域に変換(FFT)



# 信号電力, 雑音電力推定

重み係数の導出の際, 伝達関数の他に**信号電力**, **雑音電力**が必要

## 雑音電力推定 (共通パイロット区間)

- ① 受信信号レプリカを生成

$$\hat{x}_\ell(i) = \sqrt{P_s} \tilde{H}(\ell) c(\ell) d(i)$$

- ② 受信信号との差から推定

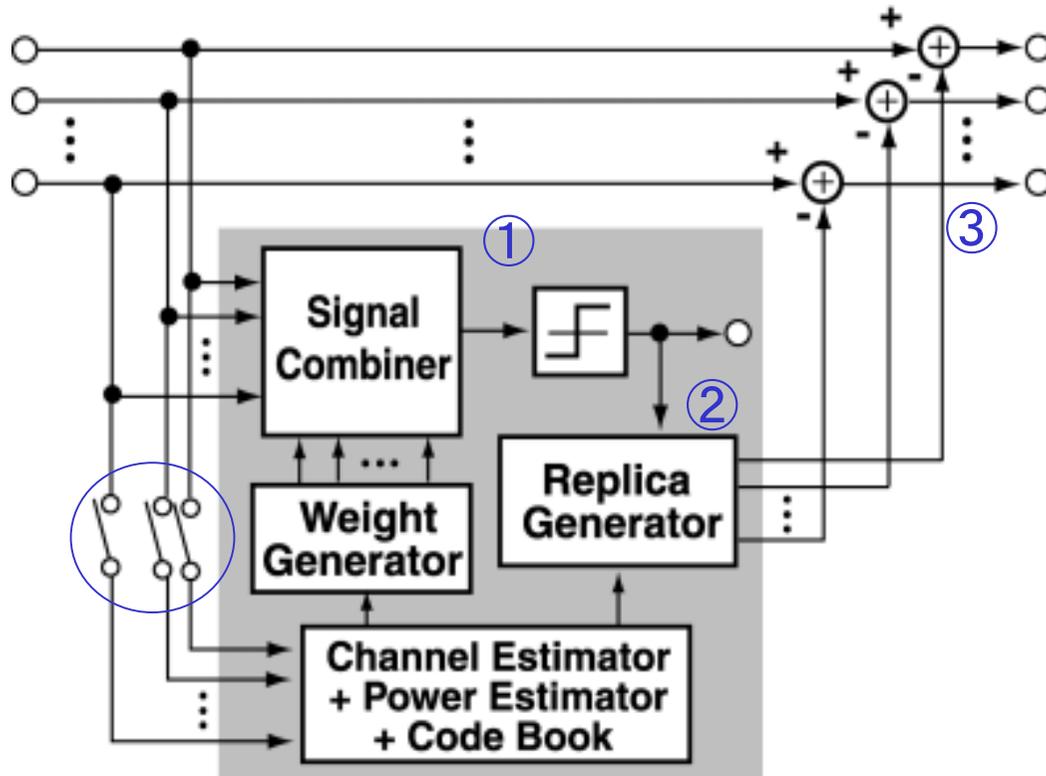
$$\hat{\sigma}_n^2 = (N_c)^{-1} \sum_{\ell=0}^{N_c-1} |x_\ell(i) - \hat{x}_\ell(i)|^2$$

## 信号電力推定 (個別パイロット区間)

受信信号から各ユーザの信号電力の比を抽出

$$\frac{\hat{P}_k}{\sqrt{P_s}} = (N_c)^{-1} \sum_{\ell=0}^{N_c-1} \frac{x_\ell(i) c_k^*(\ell) d_k^*(i) \sqrt{P_s} \tilde{H}^*(\ell)}{P_s |\tilde{H}(\ell)|^2}$$

# マルチステージ形干渉キャンセラ



構成

## ①他ユーザ信号の仮検波

$$y_{k'} = \mathbf{w}_{k'}^H \mathbf{x}_{k'}(i)$$

計算量削減のために  
簡略化最小2乗合成で検波

## ②受信信号レプリカを作成

$$\hat{\mathbf{x}}_{k'}(i) = \sqrt{P_{k'}} \tilde{\mathbf{H}} \mathbf{c}_{k'} \hat{d}_{k'}(i)$$

## ③干渉抑圧

$$\mathbf{x}_{k'-1}(i) = \mathbf{x}_{k'}(i) - \hat{\mathbf{x}}_{k'}(i)$$

大きな信号電力を持つユーザから、この操作を逐次的に行うことで他ユーザからの干渉を低減

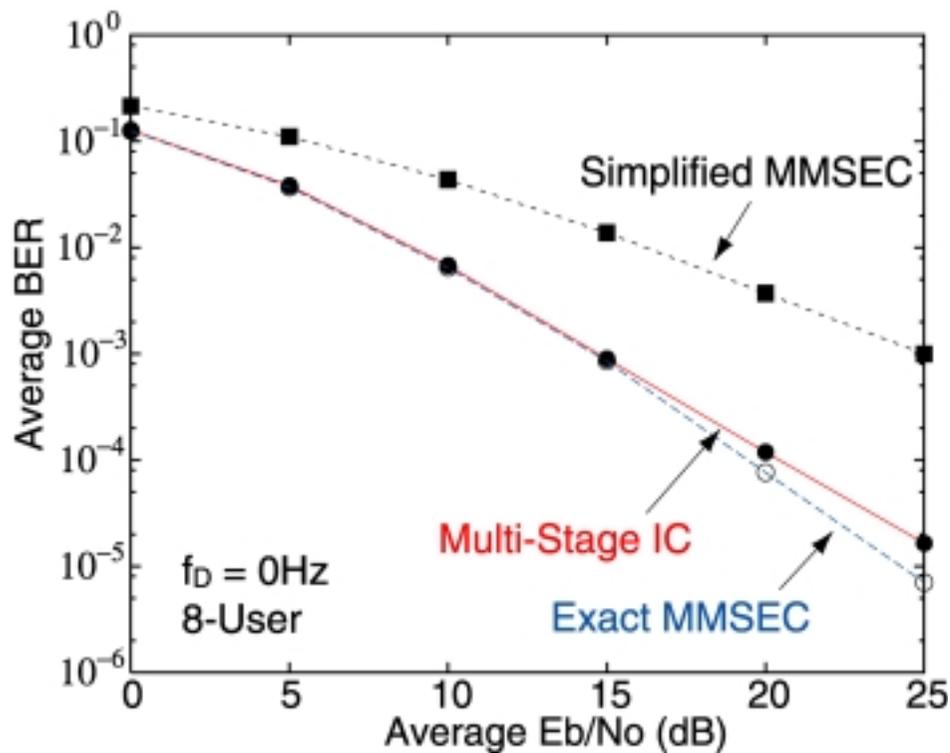
# 計算機シミュレーション条件

---

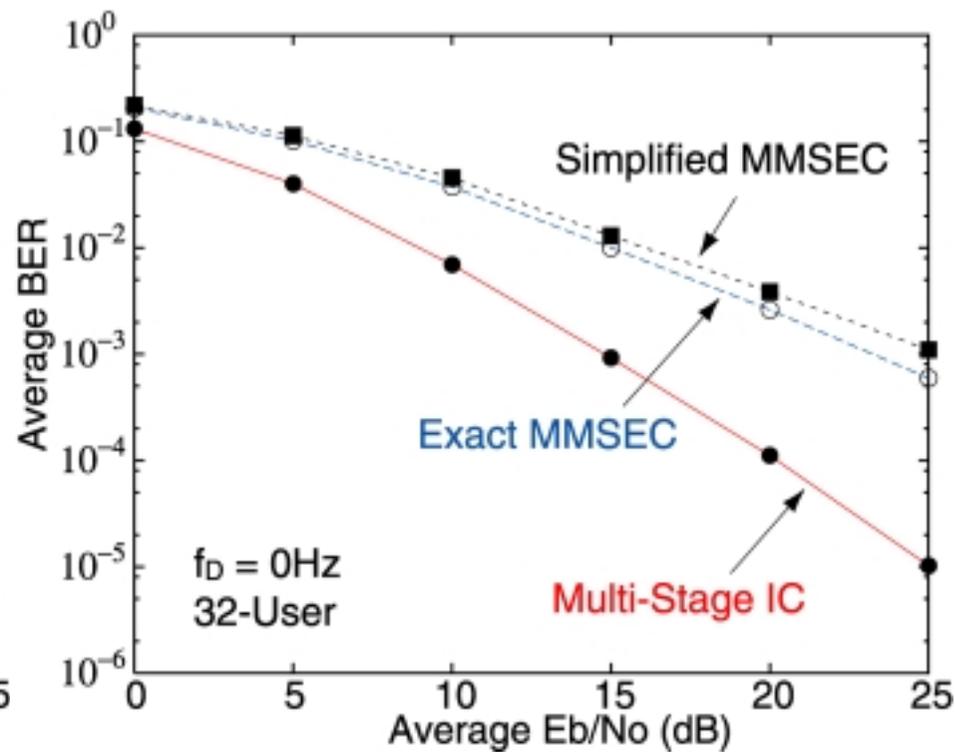
1 パケットのシンボル数	64 シンボル
共通パイロットシンボル数	前後 1 シンボル (計 2 シンボル)
個別パイロットシンボル数	前後 1 シンボル (計 2 シンボル)
変調方式	QPSK
拡散符号長	32
送信電力制御	距離減衰及びシャドーイングに追従
伝送路モデル	等レベル 2 パスレイリー
遅延波の遅延量	100 ポイント (ガードインターバル 128 ポイント)
ドップラー周波数 $f_D$	0 Hz

---

# 誤り率特性(所望ユーザが基地局に近い場合)

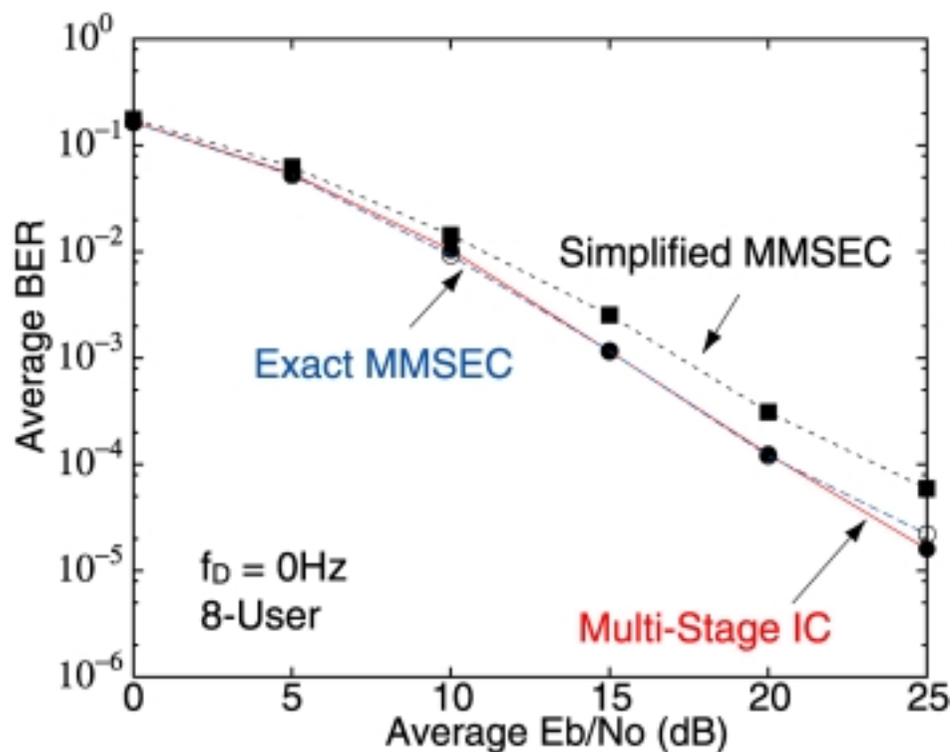


8ユーザ多重

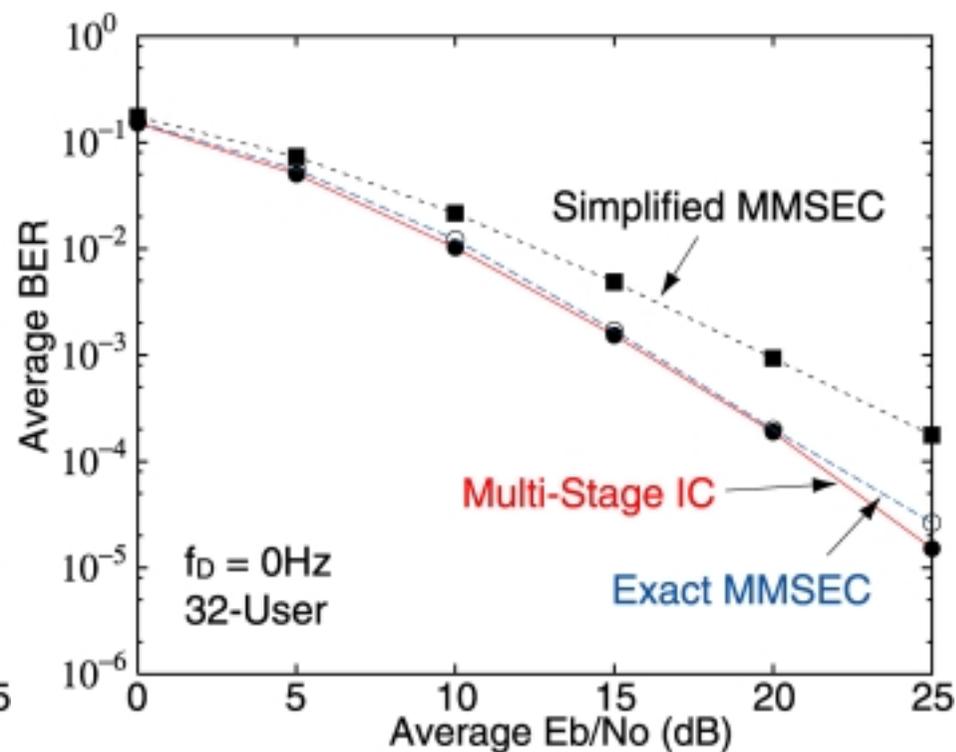


32ユーザ多重

# 誤り率特性(所望ユーザが基地局から遠い場合)

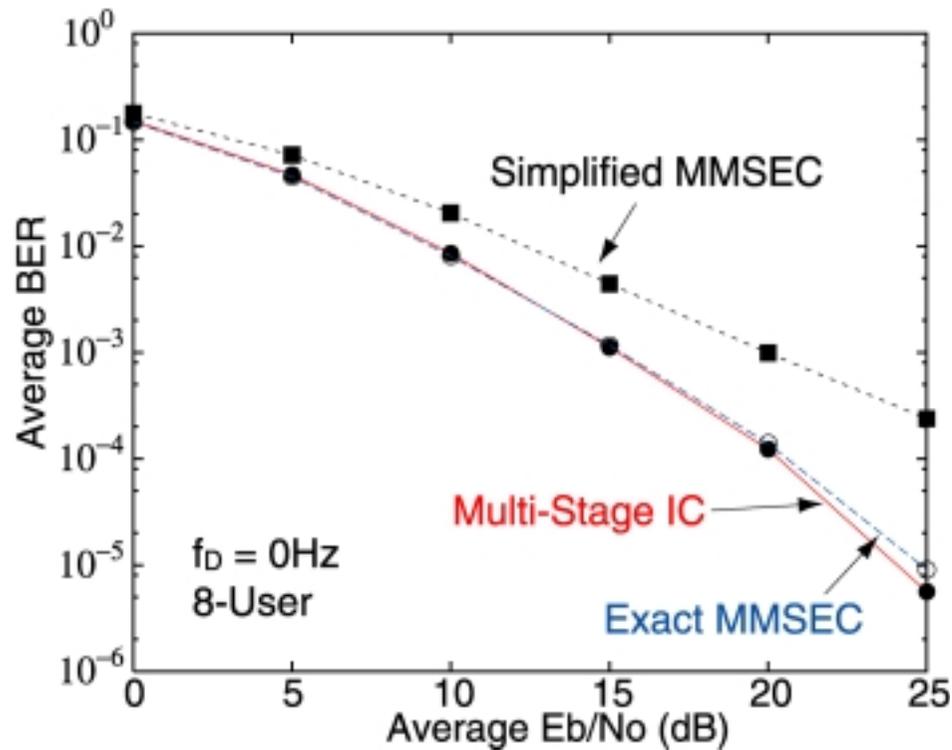


8ユーザ多重

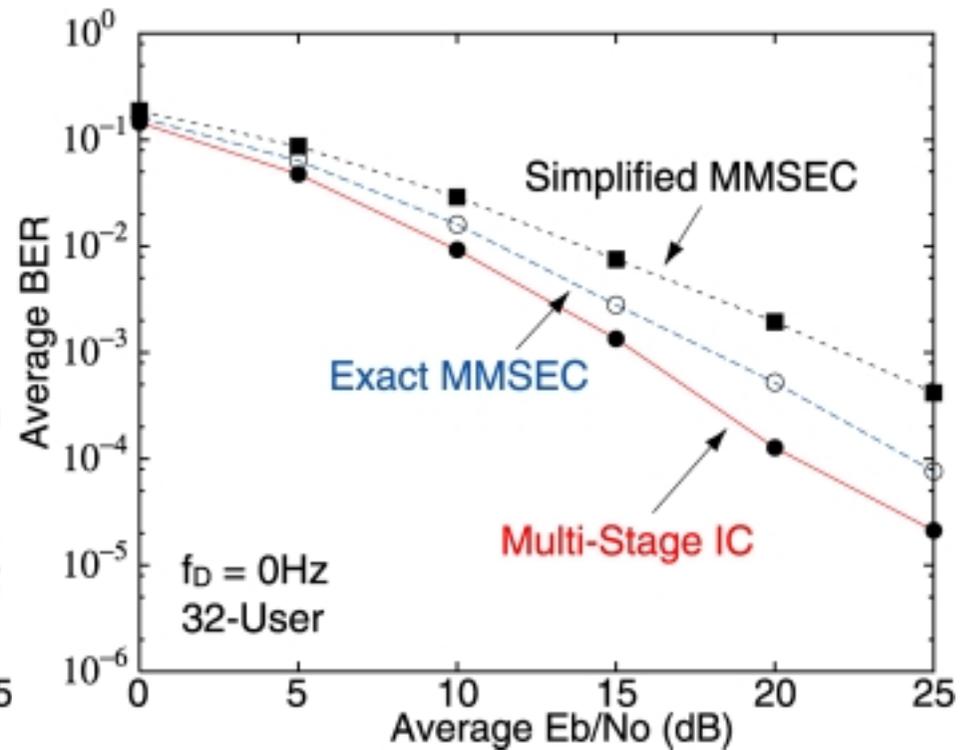


32ユーザ多重

# 誤り率特性(セル内で一様分布)



8ユーザ多重



32ユーザ多重

# 演算量の比較

演算量: 合成を行うために必要な乗算回数  
多重ユーザ数:  $K$     サブキャリア数:  $N_c$

## ▶ 簡略化最小2乗合成による干渉キャンセラ

重み係数導出:  $O(N_c)$      $\Rightarrow$   $O(N_c)$

## ▶ 厳密な最小2乗合成による干渉キャンセラ

逆行列の補助定理を用いて逆行列を更新:  $O(N_c^2)$   
必要な更新回数:  $K$  回     $\Rightarrow$   $O(K N_c^2)$

## ▶ マルチステージ形干渉キャンセラ

簡略化最小2乗合成の重み係数導出:  $O(N_c)$   
差し引くユーザ数:  $K$      $\Rightarrow$   $O(K N_c)$

## まとめ

◇ 提案方式によりTPCによってCCIが大きな環境における特性が改善された

### 提案方式

✓ マルチステージ形干渉キャンセラ

✓ 厳密な最小2乗合成による干渉キャンセラ

● マルチステージ形干渉キャンセラは演算量のオーダを削減でき、優れた特性を得ることができる

● セル内全体のスループットの向上が見込まれる

## 今後の課題

◇ 厳密な最小2乗合成を用いた

マルチステージ形干渉キャンセラ

◇ 他セルからの干渉を考慮