

# 高速フェージング変動環境における スカッタードパイロットOFDM信号の 判定指向形チャネル推定法

鈴木・府川研究室

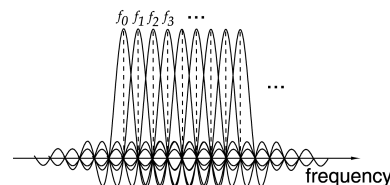
伊藤 雅文, 須山 聡, 府川 和彦, 鈴木 博

## 研究背景

### OFDM(直交周波数分割多重)

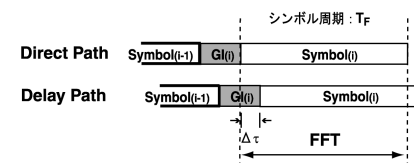
マルチパス遅延スプレッドの影響を軽減  
高信頼な高速無線伝送が可能

フーリエ変換による  
直交マルチキャリア化



マルチパスフェージングに強い

ガードインターバル(GI)の挿入



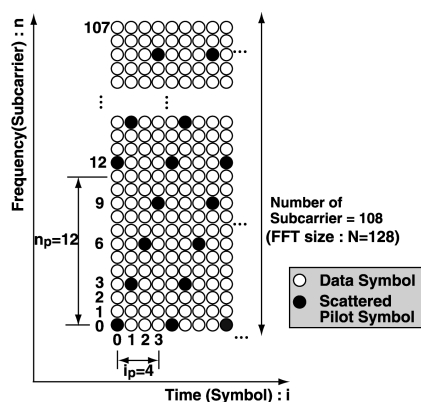
遅延の影響を軽減

## OFDM方式における移動受信

### OFDMを採用している分野

- 5GHz帯無線LAN  
今後は屋外でも利用可能
- 次世代移動通信方式  
MC-CDMA
- 地上波デジタルTV放送  
(スカッタードパイロット方式を採用)  
移動受信が可能

### スカッタードパイロット方式



## 高速フェージング環境におけるOFDM

### 問題点

シングルキャリア伝送に比べ  
狭帯域であるため  
高速なフェージング変動の  
影響を受けやすい

### 今後

限られた周波数帯域で  
高速伝送を行うためには  
多値変調(QAM)が有効

### 遅延検波

変動に対する  
追従性

○

多値化

×

### 同期検波

△  
チャネル推定の  
性能次第

○

高速フェージング環境において  
良好に動作する同期検波方式が重要な課題

# 高速フェージング環境におけるチャネル推定

## スキッタードパイロットOFDM方式におけるチャネル推定法

- ✦ 離散的に配置されたパイロット信号を元に 二次元補間する方式  
固定受信用のチャネル推定であり追従性が明らかにされていない

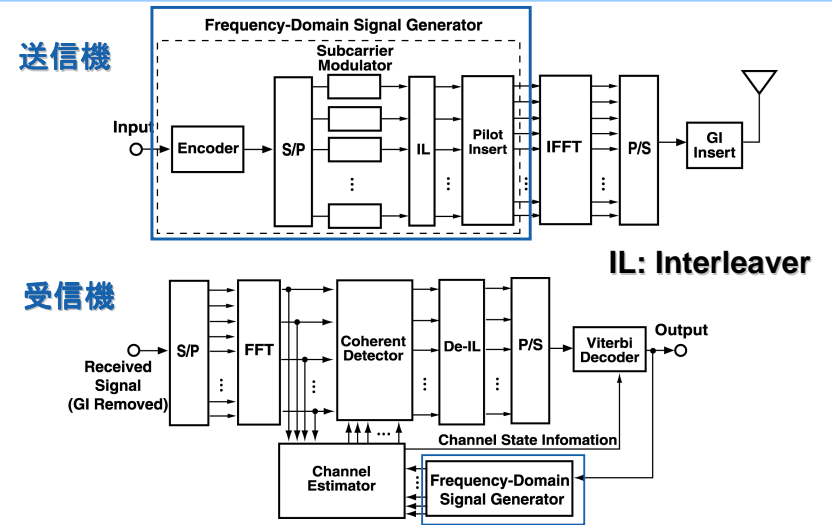
## ✦ MMSE規範によるRLSアルゴリズムを用いた逐次推定法 (宇佐美他, RCS, 2001.1)

離散的に配置されたスキッタードパイロット信号だけでは  
チャネル推定の収束速度が遅い

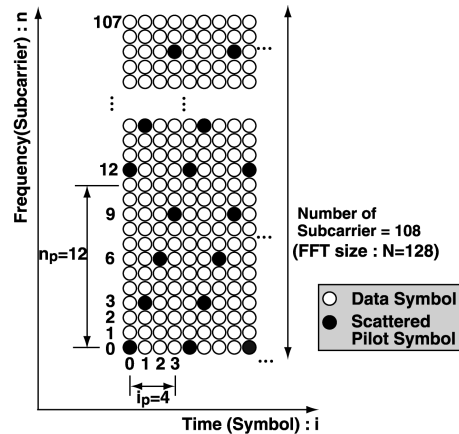


判定指向形を取り入れることによって  
収束速度を速くしたチャネル推定法を提案する

# OFDM送受信機構成



# 受信信号モデル



## 送信信号

$$s(t) = \sum_{n=0}^{N-1} z_{i,n} \exp(j2\pi f_n t)$$

$$z_{i,n} = \begin{cases} \text{スキッタードパイロット信号} \\ z_p(n), & n = i(\text{mod } i_p) \times \frac{n_p}{i_p} + n_p \\ z(n), & \text{その他} \\ \text{データ信号} \end{cases}$$

# 受信信号モデル

## 時間領域

伝搬路のインパルス応答  
(サンプリング間隔で離散化できると仮定)

$$h(t) = \sum_{d=0}^D h_d \delta(t - d\Delta_t)$$

$h_d$  : パスdにおける複素振幅  
 $D+1$  : パス数

## 受信信号

$$r(t) = \sum_{d=0}^D h_d s(t - d\Delta_t) + n(t)$$

$n(t)$  : 雑音信号

## 周波数領域

第  $m$  サブキャリアにおけるFFT後の受信信号

$$R(m) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} r(k\Delta_t) \exp\left(-j\frac{2\pi m}{N}k\right)$$

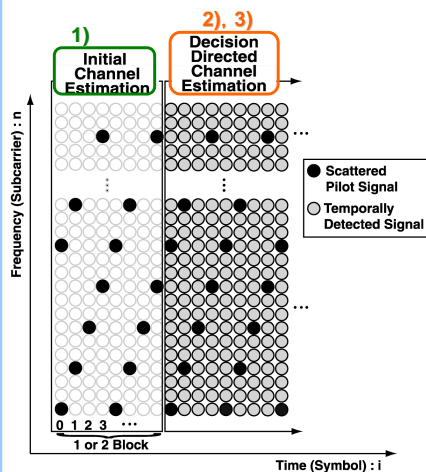
$$= H(m) z_{i,m} + N(m) + \epsilon_m$$

$$H(m) = \sum_{d=0}^D h_d \exp\left(-j\frac{2\pi md}{N}\right)$$

$$N(m) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} n(k\Delta_t) \exp\left(-j\frac{2\pi m}{N}k\right)$$

$\epsilon_m$  : キャリア間干渉(ICI)量

## チャンネル推定(提案方式)



### RLSアルゴリズムを用いた逐次推定

1) 初期推定(従来方式)  
パイロット信号のみで推定

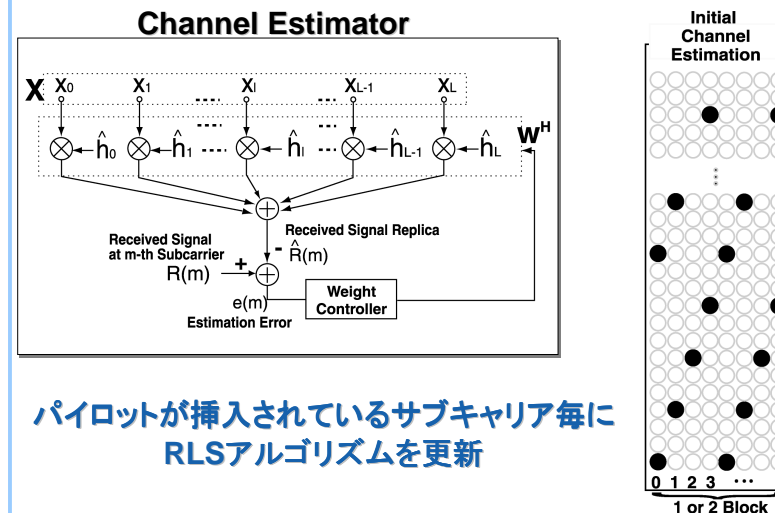
#### 判定指向形

データ+パイロット信号で推定

2) 2次推定

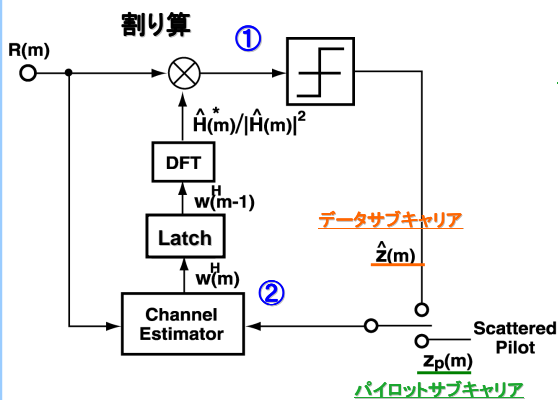
3) 誤り訂正能力を利用した  
繰り返しチャンネル推定

## 初期推定(従来方式)



パイロットが挿入されているサブキャリア毎に  
RLSアルゴリズムを更新

## 判定指向形チャンネル推定(2次推定)



### パイロットサブキャリア

初期推定と同様な処理

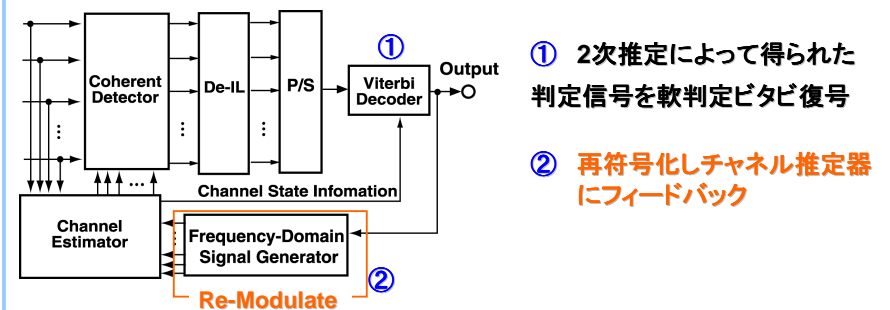
### データサブキャリア

① その時点における  
チャンネル推定値で仮判定

② 仮判定値を用いて  
チャンネル推定値を更新

全てのサブキャリアにおいて  
RLSアルゴリズムを更新

## 誤り訂正を利用した繰り返しチャンネル推定



① 2次推定によって得られた  
判定信号を軟判定ビタビ復号

② 再符号化しチャンネル推定器  
にフィードバック

データサブキャリアにおける仮判定値の信頼度が向上

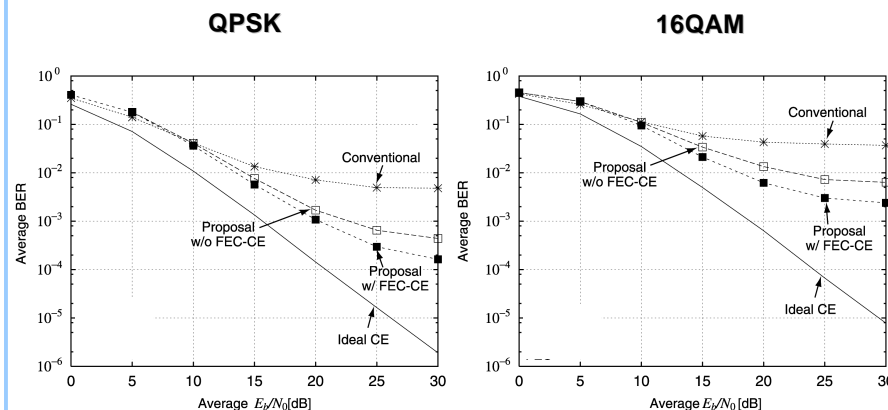
判定指向形チャンネル推定の精度が増す

# シミュレーション条件

## 地上波デジタルTV放送の信号フォーマットに準拠

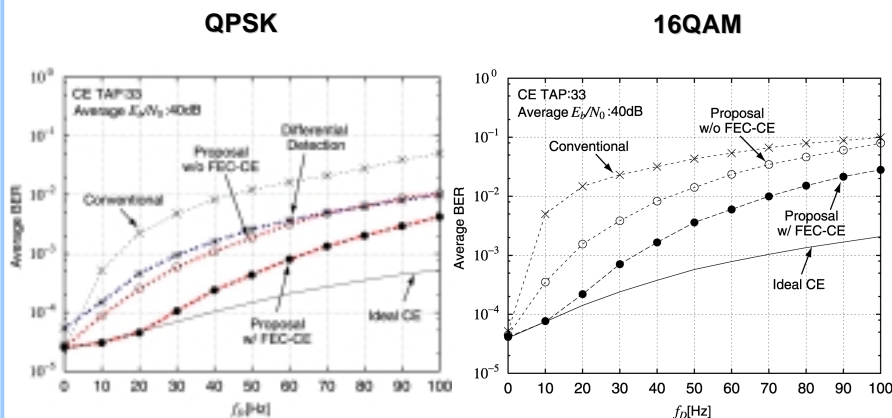
変調方式	DQPSK, QPSK, 16QAM
FFT ポイント数 N	128
有効サブキャリア数	108
キャリア間隔 $\Delta f$	4 kHz
有効シンボル長 $T_F$	250 $\mu s$ ( $128\Delta f$ )
ガードインターバル長 $T_G$	62.5 $\mu s$ ( $\frac{T_F}{4} = 32\Delta f$ )
シンボル間隔 $T_S$	312.5 $\mu s$ ( $T_G + T_F$ )
インタリーブ	キャリアインタリーブ
誤り訂正	畳込み符号 (FEC=1/2, K=7)
伝搬路モデル	等レベル 2 パスレイリー
最大遅延量 $D$	32 $\Delta f$
チャンネル推定タップ数 $L + 1$	33

# 平均誤り率特性 (誤り訂正復号後)



Ideal CE : チャンネル推定が理想的  
最大ドップラー周波数 : 40 Hz

# 最大ドップラー周波数特性 (誤り訂正復号前)



青 : 遅延検波 赤 : 提案方式による同期検波

# まとめ

- ✦ 高速フェージング環境においても追従性能が高い  
スキャッタードパイロットOFDM方式用チャンネル推定法を提案した
  - RLSアルゴリズムによる逐次推定
  - データサブキャリアにおいて判定指向形チャンネル推定
  - 誤り訂正復号後の判定信号を用いた繰り返しチャンネル推定
- ✦ 計算機シミュレーションにより提案方式が良好に動作することを示した
  - 提案したチャンネル推定によるQPSK同期検波は遅延検波より追従性能が優れていることを示した
  - 16QAMにおいても提案方式は従来方式より特性が大幅に改善することを示した