

ガードインターバルを超える遅延プロファイルの マルチパス環境に対するOFDM受信方式

東京工業大学

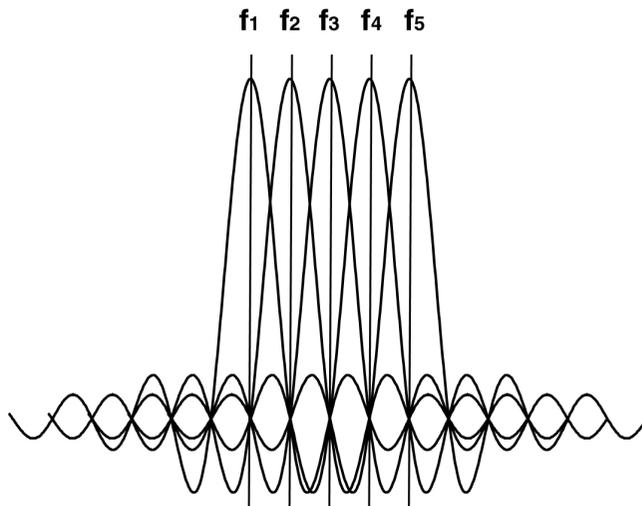
須山 聡, 鈴木 博, 府川 和彦

研究背景

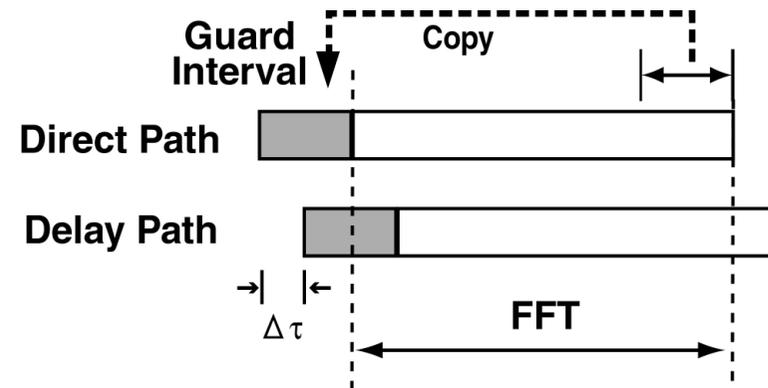
マルチパス環境に強い伝送方式として
OFDM方式が盛んに研究されている

- 無線LAN
- 地上波TV放送
- 移動通信

フーリエ変換による
直交マルチキャリア化



ガードインターバル(GI)の挿入

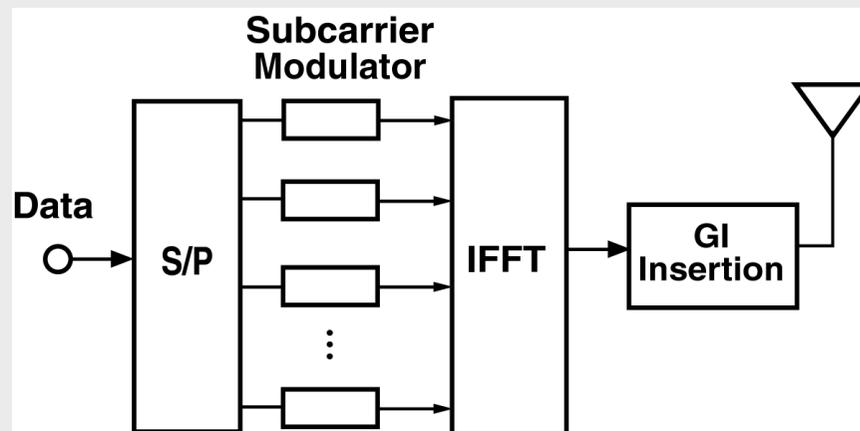


受信信号にマルチパスによる
遅延時間差があっても遅延を等化できる

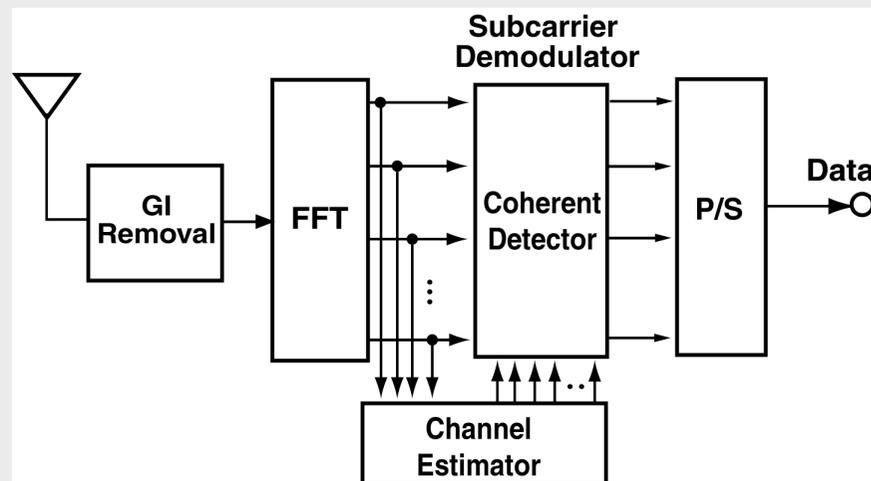
ガードインターバルを超える遅延スプレッドが
存在する環境では？

OFDM送受信機の構成

送信機

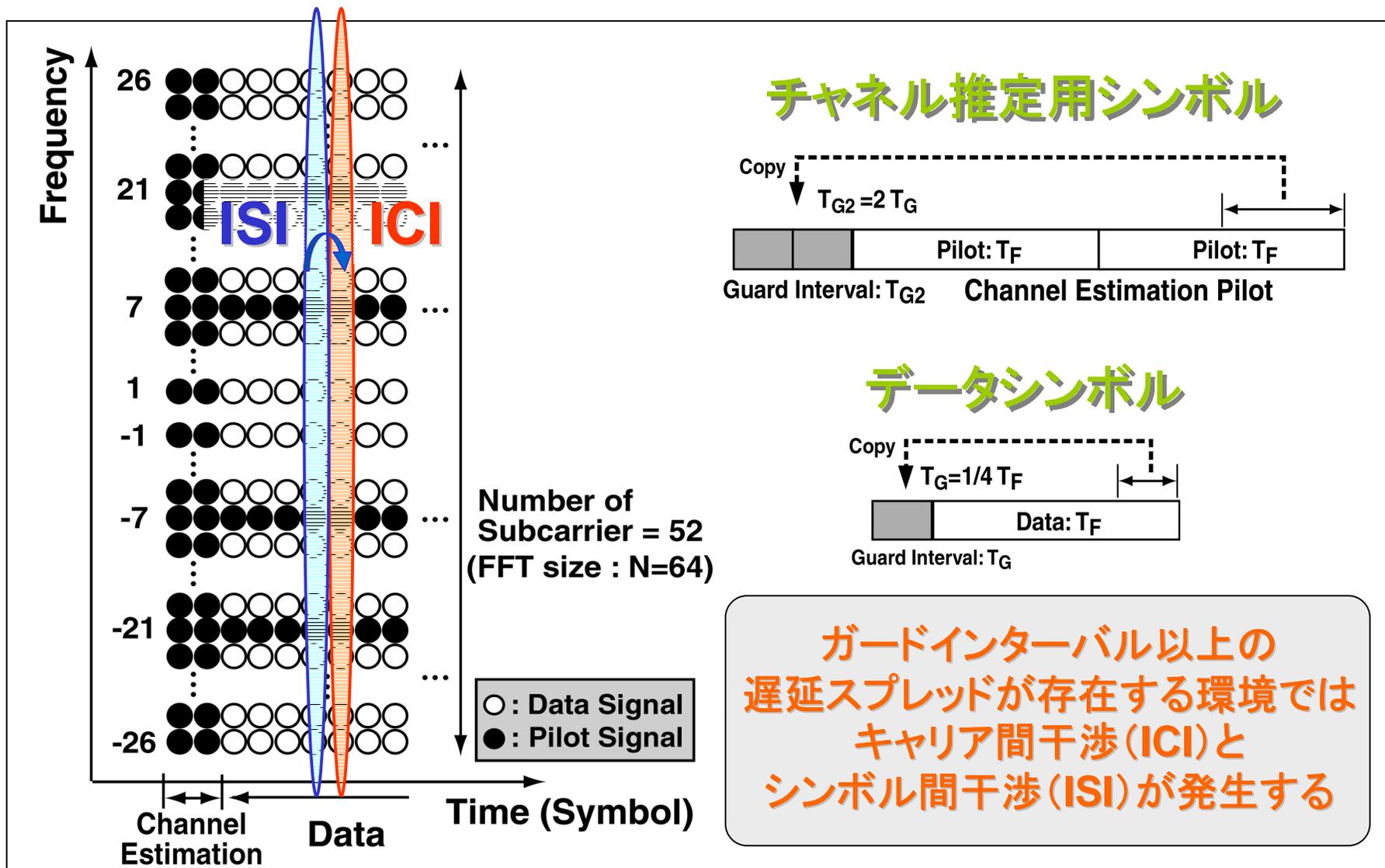


受信機



パケットの最初に入っているパイロット信号を用いて
チャネル推定を行ない、同期検波を行う

5GHz帯無線LANのパケット構成



発表の流れ

- 受信信号のモデル化
- 提案したOFDM受信機の構成
 - ・窓関数を用いたフーリエ変換の効果
 - ・ISIを抑圧する適応等化処理
 - => 判定帰還型適応等化器
 - ・ICIを抑圧する適応等化処理
 - => 最尤系列推定型適応等化器
 - => 遅延判定帰還系列推定型適応等化器
 - ・チャネル推定器
- 計算機シミュレーション

時間領域での受信信号

シンボル*i*の送信信号

$$s_i(t) = \sum_{n=-N/2}^{N/2} z_{i,n} \exp [j2\pi n\Delta_f(t - T_G)]$$

$z_{i,n}$: サブキャリア*n*における変調信号 ($T_G = G\Delta_t$)

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)

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

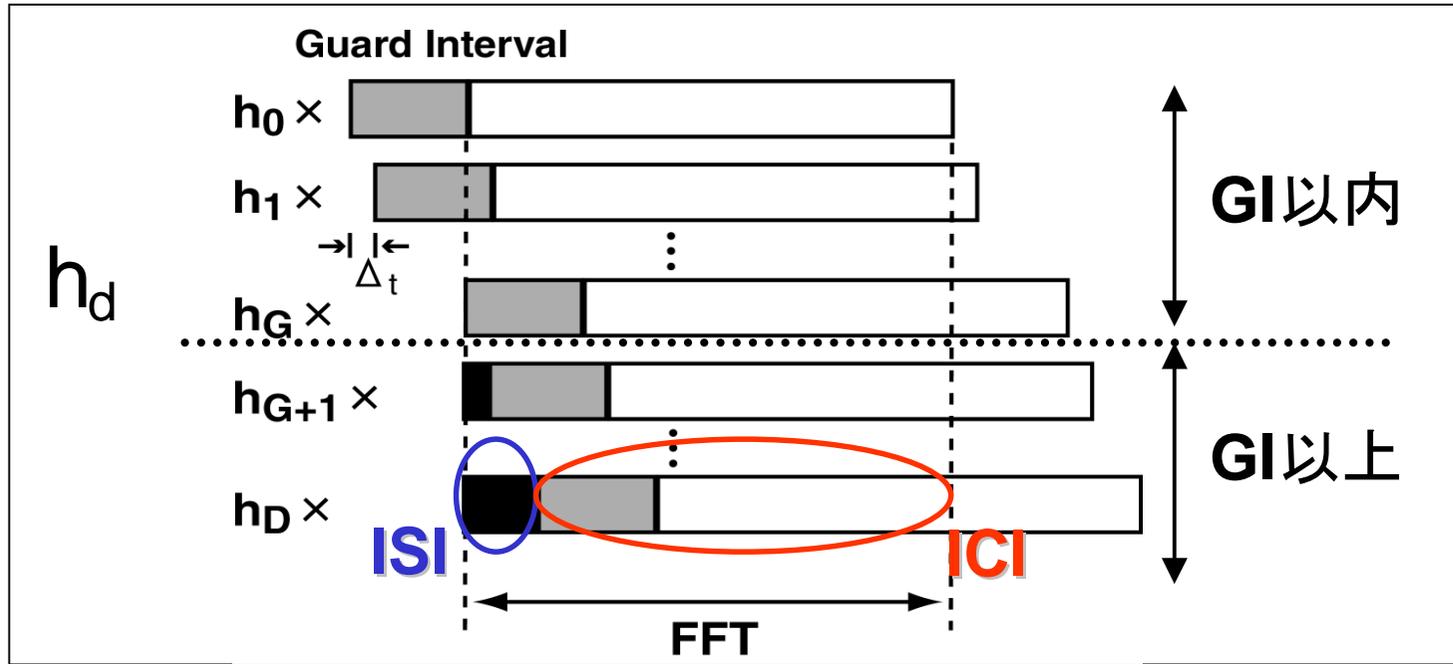
D : パス数 ($D \geq G$)

シンボル*i*の受信信号

$$r_i(t) = \sum_{d=0}^G h_d s_i(t - d\Delta_t) + \underbrace{\sum_{d=G}^D h_d s_i(t - d\Delta_t)}_{\text{ICI}} + \underbrace{\sum_{d=G}^D h_d s_{i-1}(t - d\Delta_t)}_{\text{ISI}} + n(t)$$

$n(t)$: ガウス雑音

周波数領域での受信信号



$$\begin{aligned}
 R_i(m) &= \sum_{d=0}^G h_d \sum_{n=-N/2}^{N/2} z_{i,n} \exp\left(-\frac{j2\pi nd}{N}\right) W_n(m) \\
 &+ \sum_{d=G}^D h_d \sum_{n=-N/2}^{N/2} z_{i,n} \exp\left(-\frac{j2\pi nd}{N}\right) W_{0,d,n}(m) \\
 &+ \sum_{d=G}^D h_d \sum_{n=-N/2}^{N/2} z_{i-1,n} \exp\left[-\frac{j2\pi n(d-G)}{N}\right] W_{-1,d,n}(m)
 \end{aligned}$$

漏れ込み係数

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

$p_w(k\Delta_t)$: 離散化された窓関数

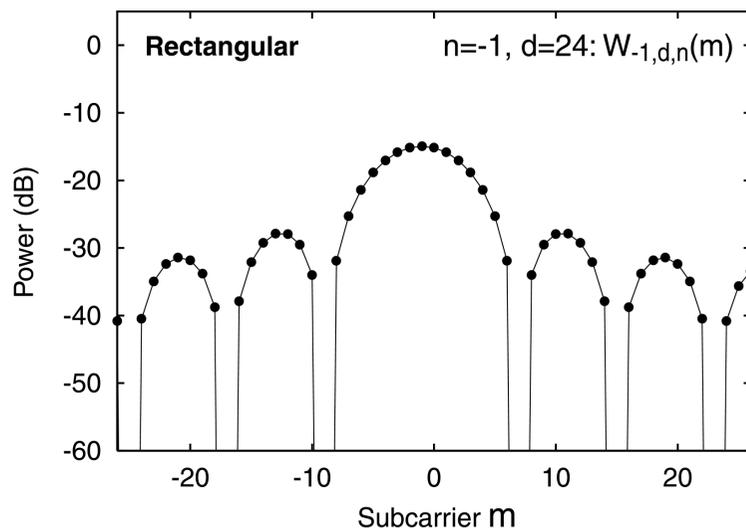
$$W_{0,d,n}(m) = \frac{1}{N} \sum_{k=d-G}^{N-1} p_w(k\Delta_t) \exp \left[-j \frac{2\pi(m-n)k}{N} \right]$$

$$W_{-1,d,n}(m) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{d-G} p_w(k\Delta_t) \exp \left[-j \frac{2\pi(m-n)k}{N} \right]$$

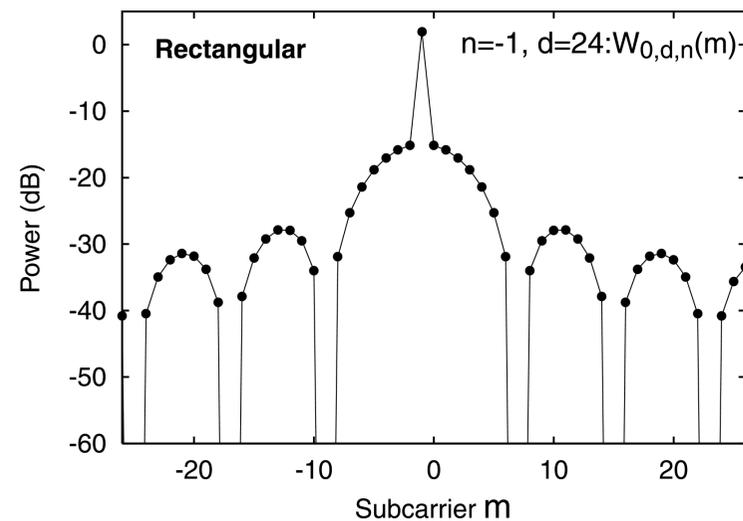
遅延スプレッドが
ガードインターバル以内では
窓関数として矩形波を用いて

$$W_n(m) = \delta_{m,n}$$

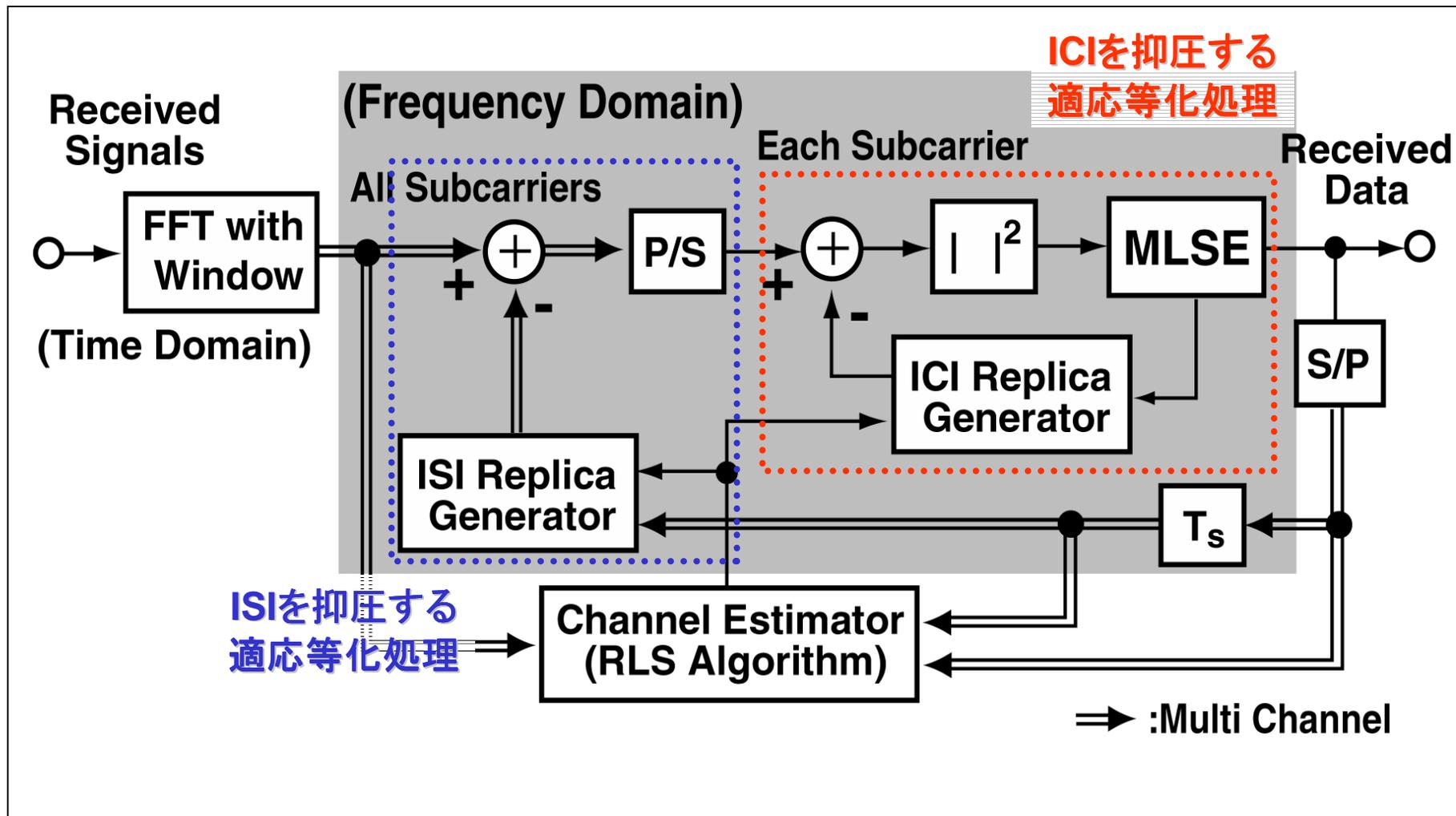
ISIの漏れ込み係数: $W_{-1,d,n}(m)$



ICIの漏れ込み係数: $W_{0,d,n}(m)$

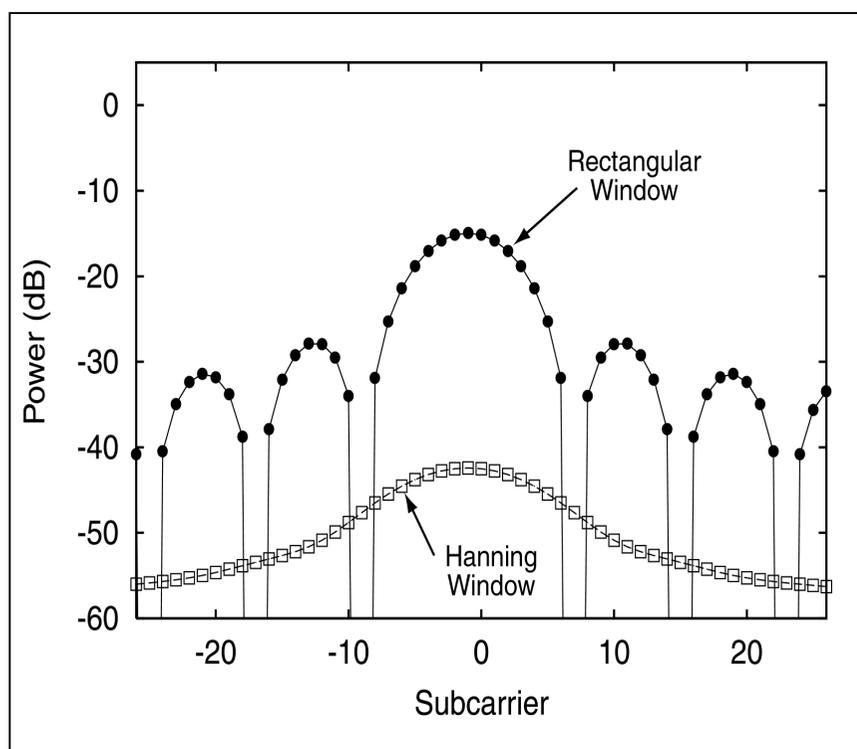


提案OFDM受信方式の構成

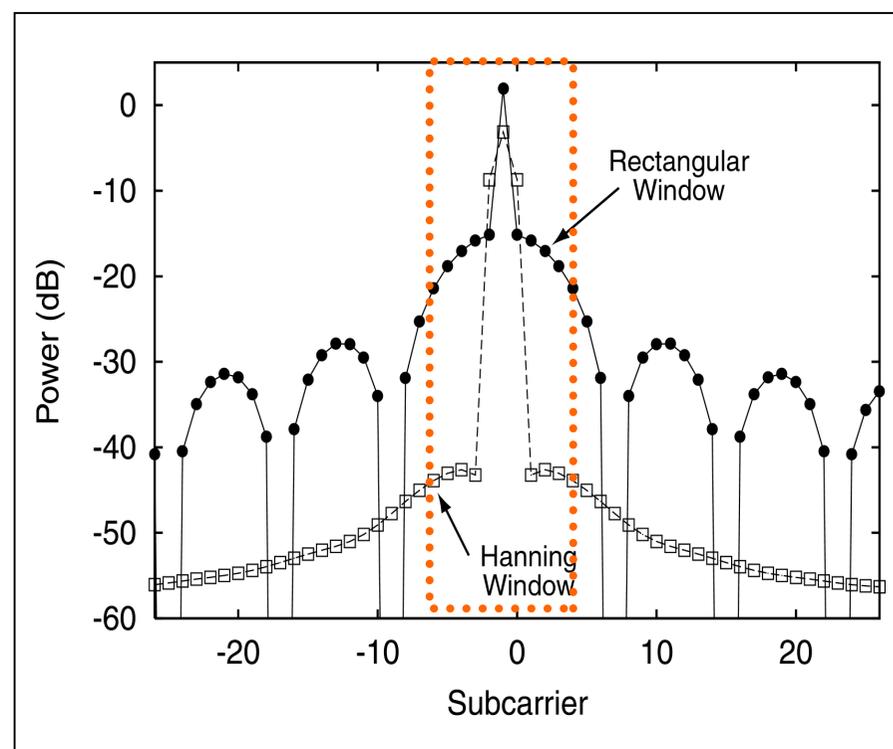


窓関数を用いたフーリエ変換の効果

受信信号におけるISI成分

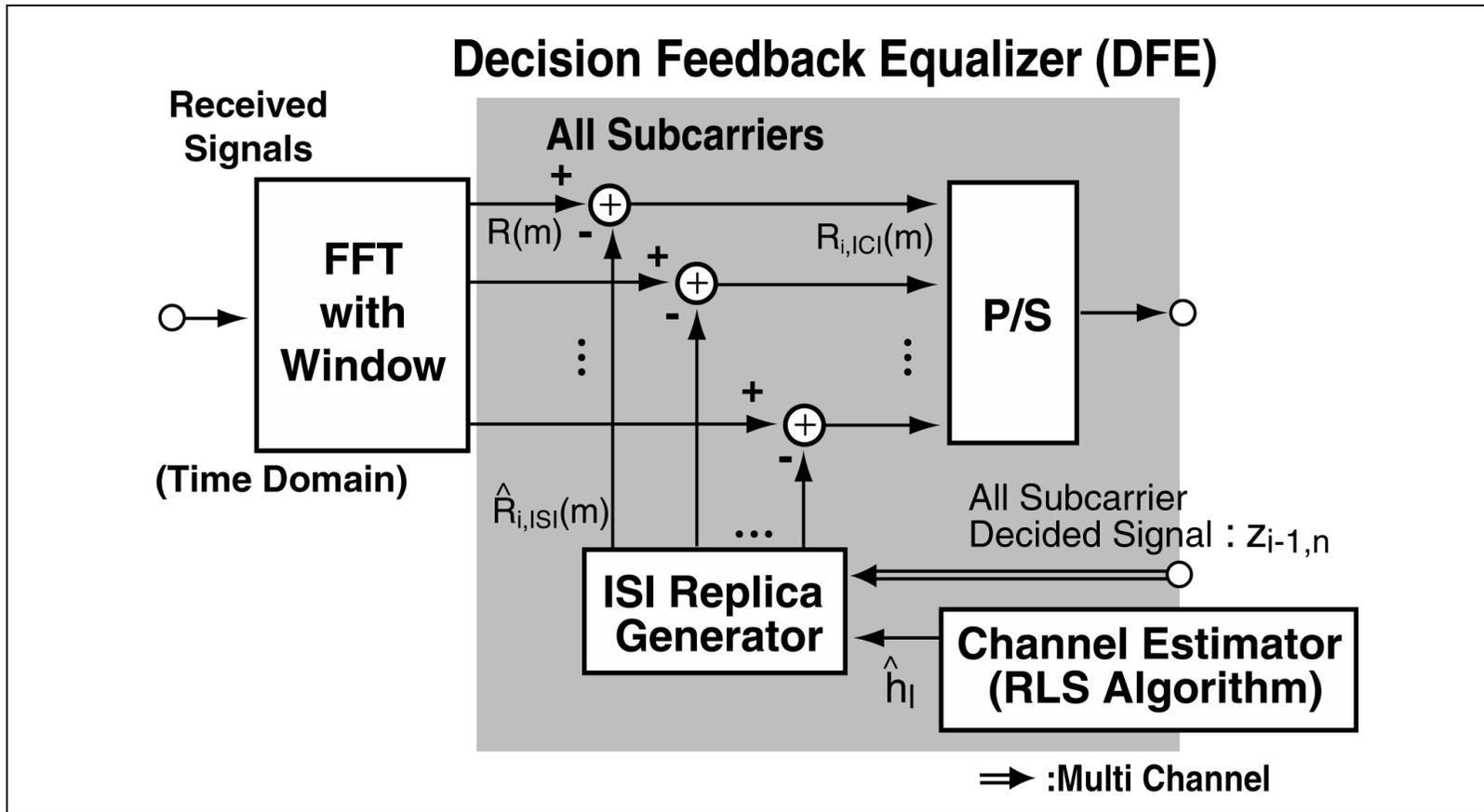


受信信号におけるICI成分



キャリア間干渉(ICI)を隣接サブキャリアのみに限定できる

判定帰還型適応等化器 (DFE)



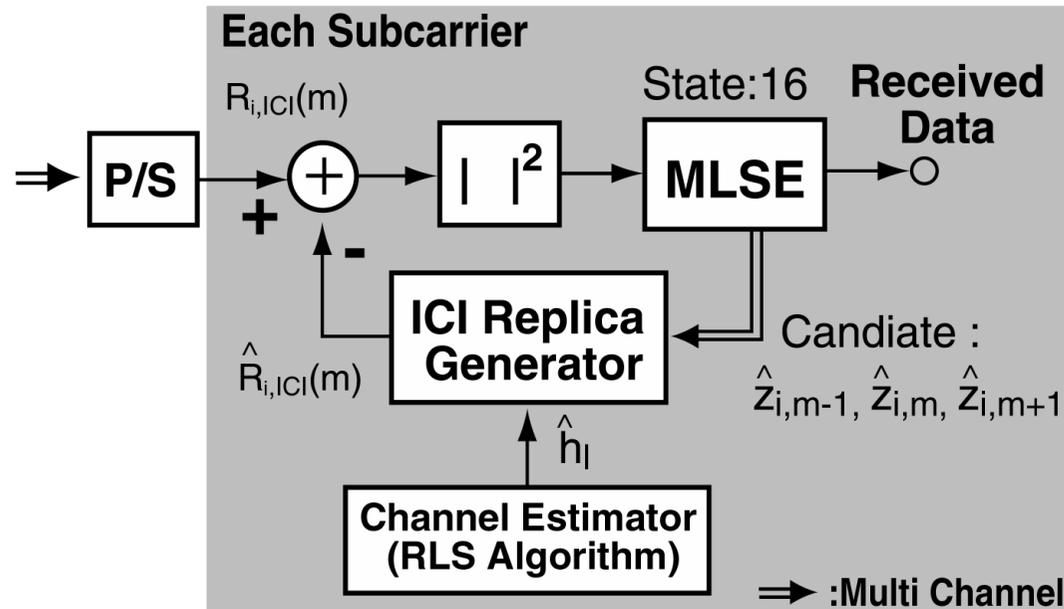
ISIレプリカ

$$\hat{R}_{i,ISI}(m) = \sum_{l=G}^L \hat{h}_l \sum_{n=-N/2}^{N/2} z_{i-1,n} \exp\left(-\frac{j2\pi n(l-G)}{N}\right) W_{-1,l,n}(m)$$

最尤系列推定型適応等化器 (MLSE)

QPSKの場合

Maximum Likelihood Sequence Estimation type Equalizer (MLSE)



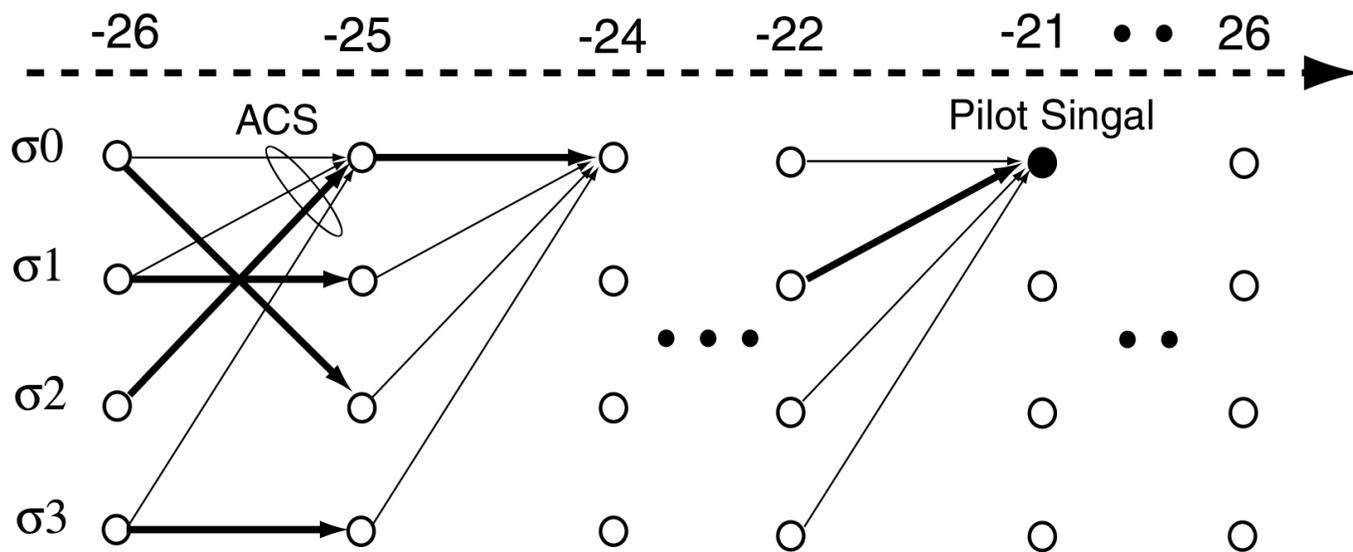
ICIレプリカ

$$\hat{R}_{i,ICI}(m) = \sum_{l=0}^{G} \hat{h}_l \sum_{n=m-1}^{m+1} \hat{z}_{i,n} \exp\left(-\frac{j2\pi nl}{N}\right) W_n(m) + \sum_{l=G}^{L} \hat{h}_l \sum_{n=m-1}^{m+1} \hat{z}_{i,n} \exp\left(-\frac{j2\pi nl}{N}\right) W_{0,l,n}(m)$$

遅延判定帰還系列推定型適応等化器 (DDFSE)

QPSKの場合

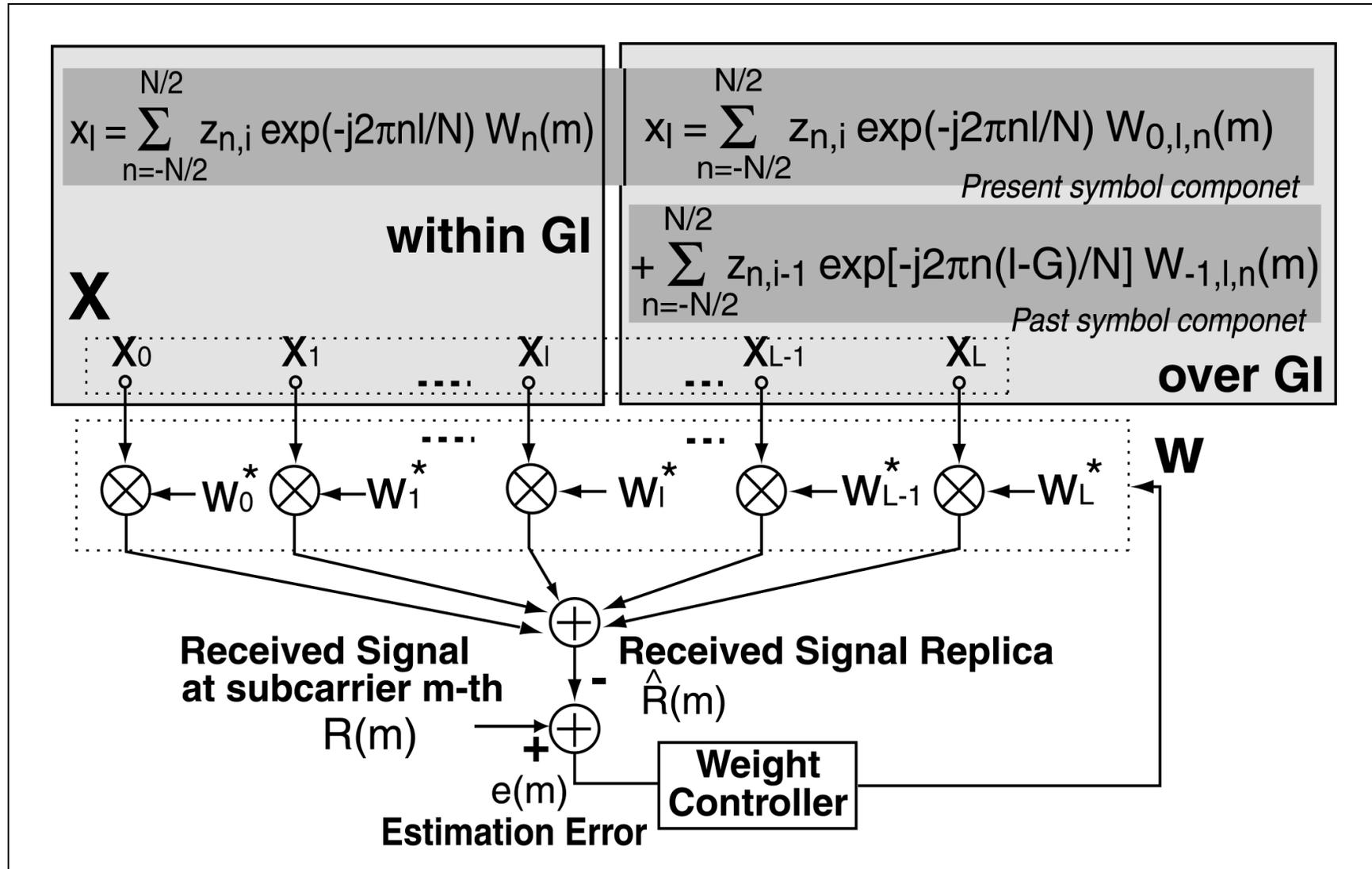
Subcarrier (Frequency Domain)



サブキャリア-26における ICIレプリカを生成 サブキャリア-25における ICIレプリカを生成

状態数16のMLSEを状態数4のDDFSEに置き換えることが可能

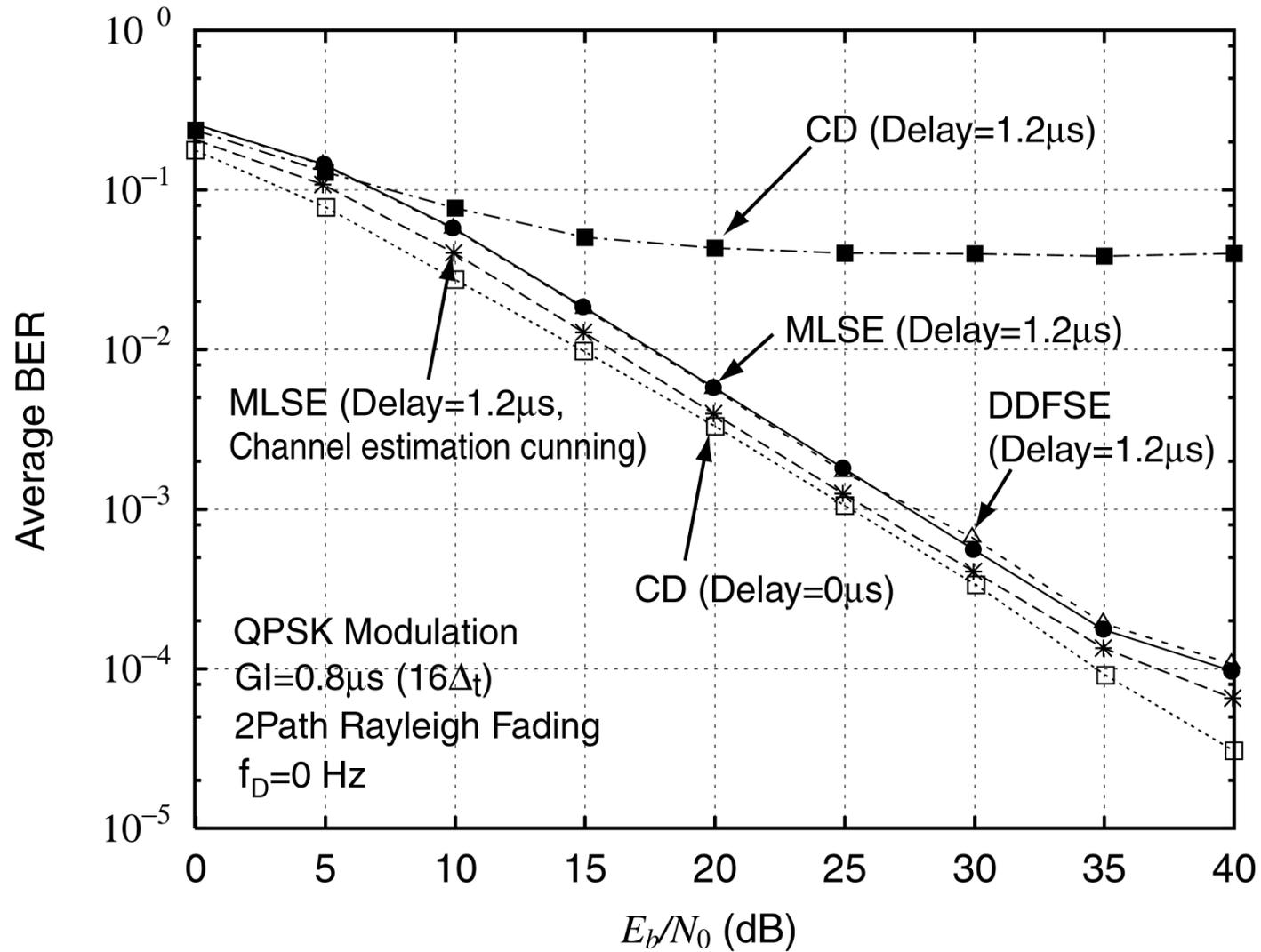
チャンネル推定器の構成



シミュレーション条件

変調方式	QPSK
伝送レート	24 Mb/s
サンプリング周波数 Δ_t	20 MHz
FFT ポイント数 N	64
有効キャリア数	52 (pilot: 4, data: 48)
キャリア間隔 Δ_f	312.5 kHz
チャンネル推定用シンボル数	2
チャンネル推定用 GI 長 T_{G2}	$1.6 \mu\text{s} (T_F/2)$
データシンボル GI 長 T_G	$0.8 \mu\text{s} (T_F/4)$
IFFT/FFT 周期 T_F	$3.2 \mu\text{s}$
シンボル間隔 T_s	$4.0 \mu\text{s} (T_G + T_F)$
伝搬路モデル	等レベル 2 パスレイリー
チャンネル推定タップ数	25
窓関数	ハニング窓

平均誤り率特性



まとめ

- マルチパス遅延がガードインターバルを超える伝搬環境においても良好に動作するOFDM受信方式を提案した

- 受信FFT処理において滑らかな窓関数
- ISIに対しては判定帰還形適応等化器
- ICIに対しては最尤系列推定形適応等化器

- 5GHz帯無線LANのIEEE802.11aフォーマットにおいて計算機シミュレーションを行った

- ISI,ICIを抑圧できることを確認した
- DDFSEを用いてもほとんど劣化せず、計算量を大幅に削減できることを示した