

2011年前期 無線通信システム

第10回 スペクトル拡散通信

荒木 純道 <araki@mobile.ee.>

2011年6月15日

講義スケジュール(後半)

	日付	教科書	内容
第9回	6月 1日	4.6	誤り訂正符号
第10回	6月15日	3.6、4.5	スペクトル拡散とRAKE受信
第11回	6月22日	3.7	直交周波数分割多重 (OFDM)
第12回	6月25日(土)	6	アクセス制御
第13回	6月29日	7	IEEE802.11a WLAN
第14回	7月 6日		予備日
第15回	7月13日		期末試験

2011年6月15日

スペクトル拡散通信

2

復習

■ 遅延分散のあるマルチパス伝搬路

$$x(k) = \sum_{i=0}^{\infty} h_i s(k-i) + n(k)$$

■ 線形等化 (ZF, MMSE)

$$y(k) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} w_i^* x(k-i)$$

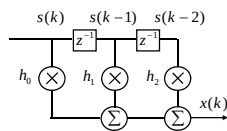
$$\text{ZF: } \mathbf{w}^* = \tilde{\mathbf{H}}^{-1} \mathbf{e}_0 \quad \text{MMSE: } \mathbf{w} = \mathbf{R}_x^{-1} \mathbf{h}$$

■ 最尤系列推定 (MLSE)

$$\hat{s}(k), \hat{s}(k-1), \hat{s}(k-2) = \arg \min_{\tilde{s}(k), \tilde{s}(k-1), \tilde{s}(k-2)} \left| x(k) - \sum_{i=0}^{\infty} h_i \tilde{s}(k-i) \right|^2$$

■ 周波数領域等化 (FDE)

$$\mathbf{y} = \mathbf{F}^{-1} \mathbf{W} \mathbf{F} \mathbf{x} \quad \tilde{\mathbf{W}} = \text{diag} [1/\tilde{h}_0 \quad 1/\tilde{h}_1 \quad \dots \quad 1/\tilde{h}_{N-1}]$$



2011年6月15日

スペクトル拡散通信

3

講義内容

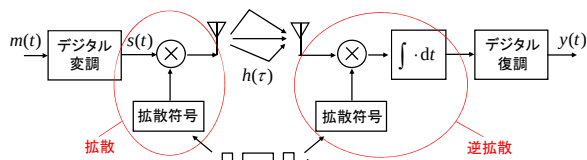
- スペクトル拡散通信の構成
- 直接拡散 (DSSS) と逆拡散
- 拡散符号の特徴
- スペクトル拡散通信のアプリケーション
 - RAKE受信
 - マクロダイバーシチ
 - 符号分割多重 (CDMA)
- 周波数ホッピング拡散 (FHSS) 通信
- デモ

2011年6月15日

スペクトル拡散通信

4

スペクトル拡散通信の構成



- 送信と受信で共通の拡散符号を用いる通信方式
- 拡散符号の自己相関特性を利用したマルチパス遅延波の分離合成
- 拡散符号の相互相関特性を利用した符号分割多重通信 (CDMA)

2011年6月15日

スペクトル拡散通信

5

直接拡散 (DSSS) と逆拡散

	拡散(送信)	逆拡散(受信)
構成	$s(t) \times c(t) \rightarrow s_{ss}(t)$	$y_{ss}(t) \times c(t) \rightarrow \tilde{y}(t) \xrightarrow{\int_0^{T_B} \cdot dt} y(t)$
数式	$s_{ss}(t) = c(t)s(t)$	$y(kT_B) = \int_0^{T_B} c(t)y_{ss}(t)dt$
時間	$s(t)$ (duration T_B) $\rightarrow$ $s_{ss}(t)$ (duration T_B)	$y_{ss}(t)$ (duration T_B) $\rightarrow$ $\tilde{y}(t)$ (duration T_B)
周波数	$\frac{1}{T_B}$ (bandwidth) $\rightarrow$ $\frac{1}{T_C}$ (bandwidth)	$\frac{1}{T_C}$ (bandwidth) $\rightarrow$ $\frac{1}{T_B}$ (bandwidth)

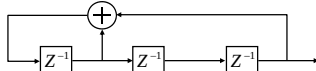
2011年6月15日

スペクトル拡散通信

6

拡散符号(M系列)

Nタップフィードバックシフトレジスタ



最大系列長

$$M = 2^N - 1$$

・バランス

1の数 = 0の数 + 1

・連続発生確率(ランダム性)

$$0, 1 \rightarrow 1/2$$

$$00 \rightarrow 1/4$$

$$111 \rightarrow 1/4$$

	レジスタ1	レジスタ2	レジスタ3
#1	1	0	0
#2	1	1	0
#3	1	1	1
#4	0	1	1
#5	1	0	1
#6	0	1	0
#7	0	0	1
#8	1	0	0

2011年6月15日

スペクトル拡散通信

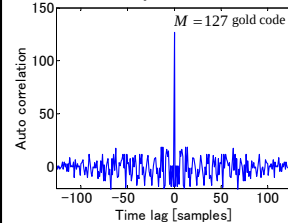
7

拡散符号の特徴(相関特性)

- ・拡散符号には自己相関特性が鋭く相互相関が小さい系列を選択

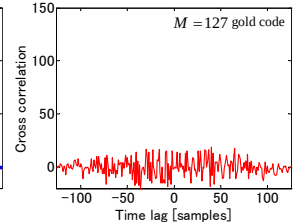
自己相関特性

$$R_c(\tau) = \int c(t)c(t+\tau)dt$$



相互相関特性

$$R_c(\tau) = \int c_1(t)c_2(t+\tau)dt$$



2011年6月15日

スペクトル拡散通信

8

遅延波と逆拡散

受信信号モデル

$$y_{ss}(t) = \int h(\tau)c(t-\tau)dt + n(t)$$

2波モデル

$$y_{ss}(t) = h(0)c(t) + h(\Delta\tau)c(t-\Delta\tau) + n(t)$$

逆拡散

$$\begin{aligned} y(\Delta\tau) &= \int_0^{T_b} y_{ss}(t)c(t-\Delta\tau)dt \\ &= h(0)R_s(\Delta\tau) + h(\Delta\tau)R_s(0) + \tilde{n} \\ &\cong Mh(\Delta\tau) \end{aligned}$$

拡散符号の自己相関特性

逆拡散によりマルチパス波の分離が可能

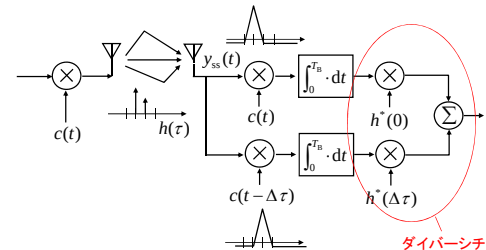
2011年6月15日

スペクトル拡散通信

9

RAKE受信

- ・拡散符号の自己相関特性を用いてマルチパス遅延波を分離
- ・逆拡散後にそれぞれのマルチパスをダイバーシチ合成



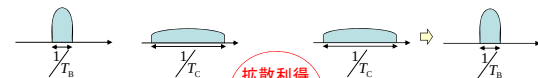
2011年6月15日

スペクトル拡散通信

10

スペクトル拡散通信の特性

拡散



信号電力

$$\text{電力密度 } \frac{P}{T_b} \rightarrow \frac{P}{T_c}$$

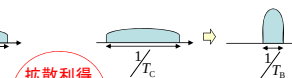
雑音電力

$$\frac{N_0}{T_b} \rightarrow \frac{N_0}{T_c}$$

SNR

$$\gamma = \frac{PT_b}{N_0}$$

逆拡散



$$M = \frac{T_b}{T_c}$$

信号電力

$$P \rightarrow M^2 P$$

雑音電力

$$\frac{N_0}{T_c} \rightarrow M \frac{N_0}{T_c}$$

SNR

$$\gamma = \frac{M^2 PT_c}{MN_0} = \frac{PT_b}{N_0}$$

SNRIは拡散によって変わらない

2011年6月15日

スペクトル拡散通信

11

RAKE受信の特性

自己相関特性

$$R_s(\tau) = \int c(t)c(t+\tau)dt \quad R_s(0) = M$$

2波モデル

$$y_{ss}(t) = h(0)c(t)s + h(\Delta\tau)c(t-\Delta\tau)s + n(t)$$

各ブランチのSINR

$$\gamma(0) = \frac{P|R_s(0)h(0)|^2}{P|R_s(\Delta\tau)h(\Delta\tau)|^2 + R_s(0)\sigma^2} \quad \gamma(\Delta\tau) = \frac{P|R_s(0)h(\Delta\tau)|^2}{P|R_s(\Delta\tau)h(0)|^2 + R_s(0)\sigma^2}$$

RAKE合成後SINR

$$\gamma = \gamma(0) + \gamma(\Delta\tau) \approx \frac{PR_s(0)(|h(0)|^2 + |h(\Delta\tau)|^2)}{\sigma^2} = \frac{PT_b(|h(0)|^2 + |h(\Delta\tau)|^2)}{N_0}$$

ダイバーシチ合成

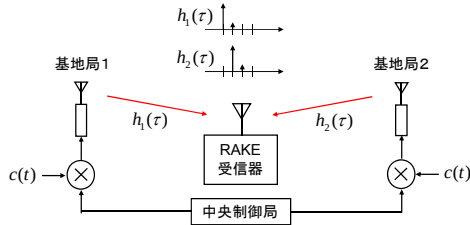
2011年6月15日

スペクトル拡散通信

12

マクロダイバーシチ

- 基地局エリア端における他局間干渉を逆拡散により分離
- 異なる基地局より同一ユーザ向け信号を同一拡散符号により送信
- RAKEダイバーシチ合成により基地局エリア端でのSNRを改善



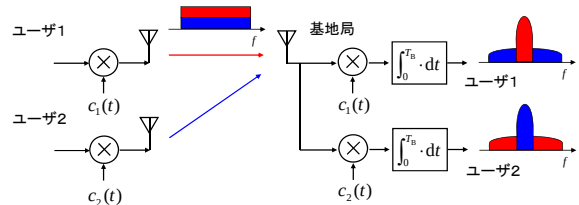
2011年6月15日

スペクトル拡散通信

13

符号分割多重(CDMA)

- 異なる拡散符号を用いたユーザが同一メディアに多重アクセス
- 基地局では各ユーザの拡散符号を用いて逆拡散
- 所望信号対干渉電力比を拡散利得倍に改善

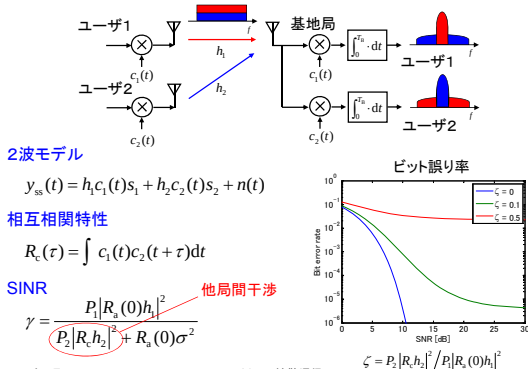


2011年6月15日

スペクトル拡散通信

14

CDMAの特性



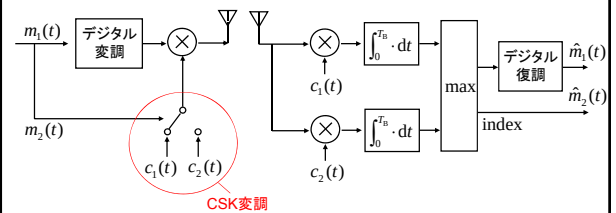
2011年6月15日

スペクトル拡散通信

15

CCK通信方式

- 拡散符号を送信メッセージ $m_2(t)$ により選択
- スペクトル帯域幅を変えずにデータレートの高速化が可能



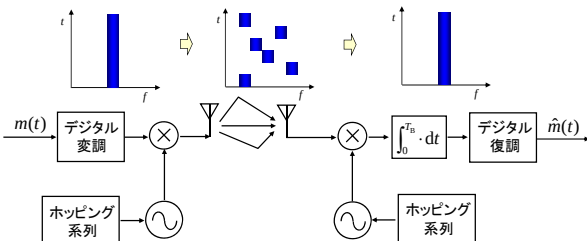
2011年6月15日

スペクトル拡散通信

16

周波数ホッピング拡散(FHSS)通信

- 時間的に周波数をホッピングさせる拡散方式
- 他局干渉信号の周波数が固定の場合
ホッピングパターンにより干渉回避が可能



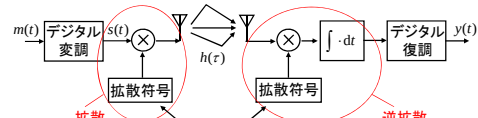
2011年6月15日

スペクトル拡散通信

17

まとめ

■ スペクトル拡散通信



■ RAKE受信

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2$$

$$\gamma_i = \frac{P |R_a(0) h_i|^2}{P |R_a(\Delta \tau) h_i|^2 + R_a(0) \sigma^2}$$

■ 符号分割多重 (CDMA)

$$\gamma = \frac{P |R_a(0) h_i|^2}{P |R_a h_2|^2 + R_a(0) \sigma^2}$$

他局間干渉

2011年6月15日

スペクトル拡散通信

18

デモ (DSSS)



デモ (FHSS)

