

適応変調とターボ符号化を用いる上りリンク SC 協調 DF リレーのスループット特性に関する一検討

Adaptive Modulation Assignment for Uplink SC Cooperative DF Relay Using Turbo Coding

木村和裕 宮崎寛之 小原辰徳 安達文幸
Kazuhiro Kimura Hiroyuki Miyazaki Tatsunori Obara Fumiuyuki Adachi

東北大学大学院 工学研究科 通信工学専攻

Department of Communication Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University

1. まえがき

伝搬損失およびシャドウイング損失の影響を軽減可能な協調 DF リレー通信は、セル端ユーザのスループットを向上できる。適応変調およびチャネル符号化を用いればスループットをさらに向上できる。本論文では、直接リンクの影響を無視した適応変調とターボ符号化を用いる 2 タイムスロット協調 DF リレーの上りリンクスループット特性について検討している。

2. システムモデル

図 1 に示すように、単一セルのシングルユーザ環境を仮定し、6つのRSを基地局(BS)から正規化距離0.5の位置に同心円状に配置する。正規化総送信電力 \bar{P} を端末(MT)およびリレー局(RS)に等配分する。端末は N_c シンボルからなる送信ブロックの後尾 N_g シンボルをサイクリックプレフィックス(CP)としてコピーし、ブロック先頭のガードインターバル(GI)に挿入して送信する。リレー局は端末からの受信信号に周波数領域等化(FDE)を行い、ターボ復号を行った後に再変調し、基地局へ送信する。基地局は端末およびリレー局からの信号を合成する。このとき、端末とリレー局の変調が同じであればMMSE合成[1]後にターボ復号を行い、そうでなければFDEの後にLLR合成してターボ復号を行う[2]。

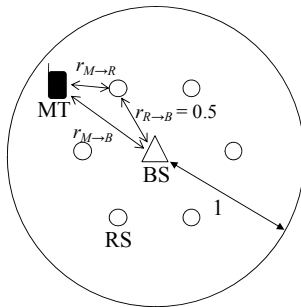


図1 システムモデル

3. 適応変調

端末がセル端付近にいるとき、端末・基地局間リンク(MT-BS, 直接リンク)の貢献が非常に小さいことに着目し、端末・リレー局間リンク(MT-RS)とリレー局・基地局間リンク(RS-BS)のチャネル状態のみを考慮して(直接リンクを無視して)変調選択を行う。基地局はMT-RSとRS-BSのチャネル状態をもとに各リンクの変調をそれぞれ決定し、端末とリレー局に指示を行う。事前の計算機シミュレーションにより求めた、変調選択におけるBERしきい値とSINR(信号対干渉+雑音電力比)の関係を表1に示す。等化後のSINR γ が与えられたとき、表1に従い各リンクのBERをしきい値以下とする変調(複数存在する場合は最も多値数の大きい変調)を選択する。

表1. 変調選択におけるBERしきい値とSINRの関係

BER	BPSK	QPSK	16QAM
10^{-2}	$\gamma < 4.7$ (dB)	$4.4 \leq \gamma < 9.8$ (dB)	$9.8 \leq \gamma$ (dB)
10^{-3}	$\gamma < 4.7$ (dB)	$4.7 \leq \gamma < 10.5$ (dB)	$10.5 \leq \gamma$ (dB)

4. 計算機シミュレーション

計算機シミュレーションにより、適応変調とターボ符号化を用いる協調 DF リレーの上りリンクスループット特性を求める。パケットサイズ $N_p=1024$ (bits), $N_c=512$, $N_g=16$

とし、 $L=16$ パスの等電力遅延プロファイルを有する周波数選択性ブロックレイレーフェージングチャネルを仮定する。伝搬損失指数 $\alpha=3.5$ とし、シャドウイング損失は標準偏差 $\sigma=7.0$ (dB)の対数正規分布に従うものとする。2つの(13,15)再帰的畳込み符号器からなるターボ符号を用い、符号化率は $R=1/2$ 、符号語長は2048(bits)としている。データ変調にはBPSK, QPSKおよび16QAMを用いる。変調組み合わせは9通り存在する。 $a(=0, \dots, 8)$ 番目の変調組み合わせが選ばれる確率 p_a と a 番目の変調組み合わせのケット誤り率 PER_a を用いて、協調DFリレーの平均スループットは次のように表せる[3]。

$$S = \frac{R}{(1 + N_g/N_c)} \sum_{a=0}^8 p_a \left\{ \frac{m_{a,1} m_{a,2}}{m_{a,1} + m_{a,2}} (1 - PER_a) \right\} [\text{bps/Hz}] \quad (1)$$

ここで、 $m_{a,1}$, $m_{a,2}$ はそれぞれ a 番目の変調組み合わせにおける第1および第2タイムスロットの1シンボルあたりのビット数である。図2にスループットの累積分布10%値(10%アウトエージスループット)を示す。BERしきい値を 10^{-3} とする適応変調の場合、送信SNRが高い領域では、16QAM-16QAMを用いる固定変調よりスループットがわずかに劣化しているが、正規化総送信SNR($=\bar{P}/N$, N は雑音電力)が4dB以下の領域では、BERしきい値が 10^{-2} と 10^{-3} のいずれの場合でも、直接リンクの影響を無視した適応変調は固定変調より高いスループットを得ることができる。

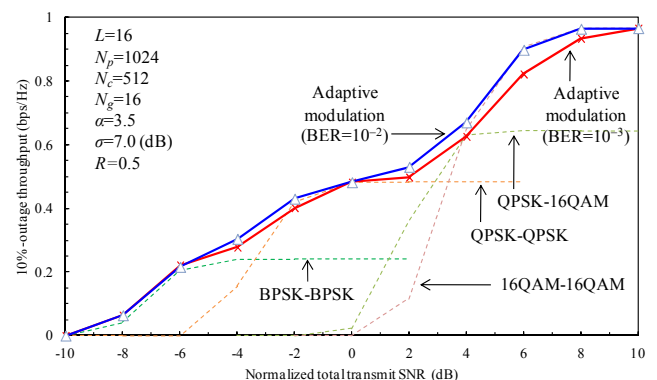


図2 10%アウトエージスループット特性

5. まとめ

本論文では、直接リンクの影響を無視した適応変調とターボ符号化を用いる協調 DF リレーのスループット特性を計算機シミュレーションにより求め、直接リンクの影響を無視した適応変調でも固定変調よりも高いスループットを達成できることを示した。

参考文献

- [1] F. Adachi and T. Sao, IEICE Trans. Commun., vol. E86-B, No. 11, pp. 3217-3224, Nov. 2003
- [2] A. Stefanov and T. Duman, Proc. IEEE VTC99-Fall, pp. 1565-1569, Netherland, Sept. 1999.
- [3] 木村ら, 信学技報, RCS2011-367, pp. 305-310, 2012年3月.