

AWGN 通信路における空間結合 RA 符号の特性評価

A Study on Performance of Spatially Coupled RA Code on AWGN Channel

小島 力¹
Chikara Kojima

李 聡¹
Cong Li

雨澤 泰治¹
Yasuharu Amezawa

小金井 洋平²
Yohei Koganei

株式会社モバイルテクノ¹
Mobile Techno Corp.,

富士通株式会社²
FUJITSU LIMITED

1. まえがき

空間結合 LDPC (Low-density parity-check) 符号は LDPC ブロック符号を結合することで構成される LDPC 畳み込み符号の一種であり、多くの通信路に対してシャノン限界に近い復号性能を達成できることが報告され、大きな注目を集めている [1]。近年、符号化処理が容易な RA (Repeat-Accumulate) 符号を用いた空間結合 RA 符号が提案され、消失通信路において高い誤り訂正能力を有することが報告されている [2]。本稿では、AWGN 通信路に対して、空間結合 RA 符号の BER 特性評価を行なう。

2. 空間結合 RA 符号の構成

図 1(a) に示すように、 (q, a) 正則 RA 符号のプロトグラフは、情報ビットノード、チェックノード、パリティビットノードで構成される。RA 符号の基本構成は図 1(b) に示すように、アキュムレーターでパリティビットを逐次的に生成できるため、符号化が容易である。空間結合 RA 符号は L 個の正則プロトグラフを M 倍に拡張し、図 1(c) のように結合することによって構成することができる。なお、一定の列重みを維持するために、それぞれ $2(q-1)$ 個のチェックノードとパリティビットを追加している。空間結合構成により、符号長は $LM(a/q) + (L+q-1)M$ となる。ただし、 $LM(a/q)$ は情報ビット数であり、 $(L+q-1)M$ はパリティビット数である。よって、符号化率 r_{SC-RA} は以下の式で表すことができる。

$$r_{SC-RA} = \frac{LMa}{LMa + (L+q-1)Mq}$$

上式から、空間結合数 L が無限大になる場合、符号化率 r_{SC-RA} は正則 RA 符号の符号化率 $a/(a+q)$ に収束する。

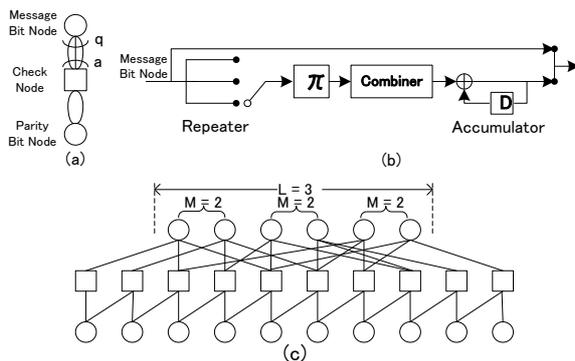


図 1 空間結合 RA 符号の構成例 ($q=3, a=3, L=3, M=2$)

3. 性能評価

AWGN 通信路において、ターゲット符号化率を $1/2, 5/6$ とし、符号長 N を約 10000 に固定し、表 1 に示すように列重み q を 3.5、空間結合数 L を 5~80 に変えてシミュレーション評価を行った。変調方式を QPSK、復号方法を BP (Belief Propagation) 法 (繰り返し数 100 回) とした。

図 2 に E_b/N_0 対 BER 特性を示す。比較のため同等の符号長、符号化率、列重みを有する正則 LDPC 符号の特性も示す。 L が小さくなるに従い BER 特性がよくなる傾向にあるが、 L が小さくなると符号化率も低くなるため、一概に性能がよいとは言えない。実際の符号化率におけるシャノン限界との比較を表 2 に示す。表から $L=10\sim 40$ において差が小さく、今回の条件では L に最適値があることが分かる。列重み $q=3, 5$ を比較すると、重み 5 の方がシャノン限界との差が小さい。これは正則 LDPC 符号と逆の傾向にあり、空間結合効果によるものと考えられる。

表 1 シミュレーションパラメータ

空間結合数 L	5, 10, 20, 30, 40, 60, 80
$q=3, a=3$, 拡張数 M	832, 454, 238, 161, 121, 81, 49
$q=3, a=15$, 拡張数 M	312, 161, 81, 54, 41, 27, 16
$q=5, a=5$, 拡張数 M	714, 416, 238, 156, 119, 80, 49
$q=5, a=25$, 拡張数 M	294, 156, 80, 54, 40, 27, 16

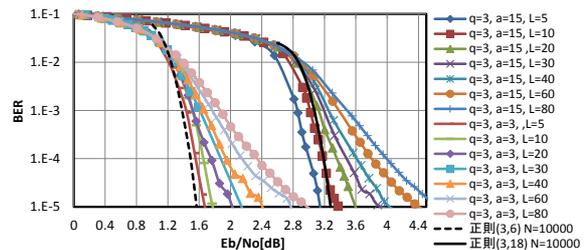


図 2(a) BER 特性 ($q=3$)

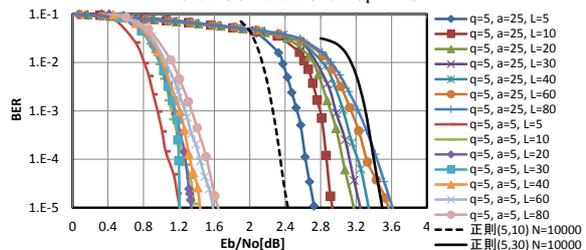


図 2(b) BER 特性 ($q=5$)

表 2 BER= 10^{-5} における E_b/N_0 とシャノン限界との差 [dB]

L	$q=3, a=3$	$q=3, a=15$	$q=5, a=5$	$q=5, a=25$
5	1.84	1.26	1.61	1.19
10	1.78	1.27	1.57	1.04
20	1.94	1.21	1.42	1.06
30	2.01	1.61	1.39	1.05
40	2.26	1.74	1.37	1.10
60	2.6	2.02	1.47	1.26
80	2.84	2.31	1.50	1.29
正則 LDPC	(3,6) 1.37	(3,18) 0.92	(5,10) 2.27	(5,30) 1.12

参考文献

[1] S. Kudekar, T. Richardson, and R. Urbanke, "Threshold saturation via spatial coupling: Why convolutional LDPC ensembles perform so well over the BEC," IEEE Trans. Theory, vol. 57, no. 2, pp. 803-834, Feb. 2011.

[2] Sarah Johnson and Gottfried Lechner, "Spatially Coupled Repeat-Accumulate Code," IEEE COMMUNICATIONS LETTERS, VOL. 17, NO. 2, FEBRUARY 2013.