

Sum-Product 復号法におけるチェックノード処理の削減

松尾 茂樹*, 和田山 正, 内匠 逸 (名古屋工業大学)

A Modified Sum-Product Algorithm for Reducing the Number of Checknode Operations
Shigeki Matsuo, Tadashi Wadayama, Ichi Takumi (Nagoya Institute of Technology)

1. 研究の背景

近年, LDPC 符号の実用化への検討が活発になってきている. 実用上, 特に重要な問題として Sum-Product 復号法の計算コストの削減が挙げられる.

本稿では Sum-Product 復号中にチェックノード処理数を減らす新たな計算コスト削減の手法を提案する.

2. チェックノード処理の削減

LDPC 符号はチェックノードとメッセージノードからなる 2 部グラフで表現できる. Sum-Product 復号法は, その 2 部グラフ上で受信値を元にノード間でメッセージの交換を行いながら繰り返し復号を行う復号法である.

計算コスト削減の手法として, 対数領域 Sum-Product 復号法においてチェックノード処理を削減する方法を提案する. チェックノード処理とは, チェックノード上で行われるメッセージの更新計算である. これを式 (1) に示す. 式 (1) において, λ_n は n ビット目の対数尤度比, β_{mn} はメッセージノード n からチェックノード m へ送られる対数事前値比, α_{mn} はチェックノード m からメッセージノード n へ送られる対数外部値比, $A(m)$ はチェックノード m において枝で接続されたメッセージノードの集合を表す. 関数 $f(x)$ は式 (2) で与えられる.

$$\alpha_{mn} = \left(\prod_{n' \in A(m) \setminus n} \text{sign}(\lambda_{n'} + \beta_{mn'}) \right) \times f \left(\sum_{n' \in A(m) \setminus n} f(|\lambda_{n'} + \beta_{mn'}|) \right), \quad (1)$$

$$f(x) = \ln \frac{\exp(x) + 1}{\exp(x) - 1}. \quad (2)$$

チェックノード処理の削減のアイデアは次の通りである. あるチェックノードにおいて定められた停止条件が満たされた時, そのチェックノードから出力されるメッセージの値を全て固定し, 次回の反復ラウンドからはチェックノード処理を行わない. この処理によりチェックノード処理数が減少するため復号計算コストの削減が可能となる. 停止条件を式 (3)(4) に示す. T は閾値として定めた実数値である. 式 (3) はパリティ条件に対応し, 式 (4) はチェックノードに入力されたメッセージが全て閾値 T より大きいことを保証する. すなわち, チェックノードに入力されたメッセージの信頼度が高い状況を表している.

$$\prod_{n \in A(m)} \text{sign}(\lambda_n + \beta_{mn}) = 1, \quad (3)$$

$$f \left(\sum_{n \in A(m)} f(|\lambda_n + \beta_{mn}|) \right) > T. \quad (4)$$

3. 提案手法の特性

ビット誤り率特性と計算コストに関して対数領域 Sum-Product 復号法と提案手法を用いた復号法を比較する.

Fig.1 に各復号法でのビット誤り率特性を示す. シミュレーション条件を Table 1 にまとめる. 図を見ると, (b)(c) の誤り率は, SN 比が約 2.5 dB までは (a) の誤り率に近い. しかし, (b) の誤り率は SN 比が約 2.8 dB 以上の範囲で (a) の誤り率

Table 1: Simulation Condition

符号	正則 LDPC 符号 (列重み 3, 行重み 6, 符号長 981, 検査記号数 500)
通信路	AWGN 通信路
反復回数	20 回 (途中パリティ検査によるループの停止は行っていない)
復号法	(a) 対数領域 Sum-Product 復号法, 提案手法を用いた復号法 ((b) $T = 5$, (c) $T = 10$)

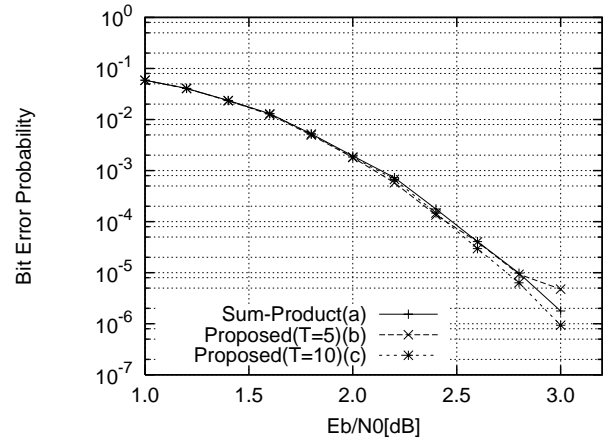


Fig. 1: Comparison on Bit Error Probabilities

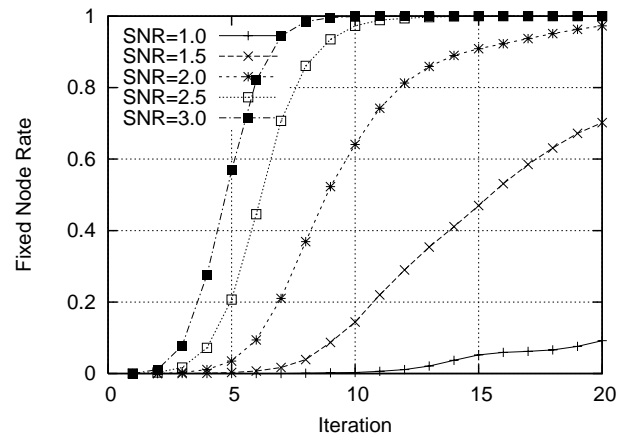


Fig. 2: Relation between Fixed Node Rate and Number of Iteration ($T = 5$)

より大きくなっている. また, (c) の誤り率は SN 比が約 2.6 dB 以上の範囲で (a) の誤り率より小さかった.

Fig.2 に提案手法を用いた復号法 (閾値 $T = 5$) の全チェックノード数に対するチェックノード処理が止められたチェックノード数の割合を反復回数ごとに示す. SN 比が大きい程度固定ノードの割合が高くなっていることが分かる. ここで固定ノードとはチェックノード処理が止められたチェックノードを意味する.