

Title	線形ブロック符号のトレリス復号法の移動通信データ 伝送への適用法とその特性
Author(s)	松本, 正
Citation	電子情報通信学会論文誌 B, J70-B(11): 1430-1432
Issue Date	1987-11-20
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/4707
Rights	Copyright (C)1987 IEICE. 松本 正, 電子情報通信学 会論文誌 B, J70-B(11), 1987, 1430-1432. http://www.ieice.org/jpn/trans_online/
Description	

ショートノート

線形ブロック符号のトレリス復号法の移動通信データ
伝送への適用法とその特性

正員 松本 正†

Trellis Decoding of Linear Block Codes in Mobile Data Transmission
Tadashi MATSUMOTO†, Member

†NNTT 電気通信研究所, 横須賀市

NTT Electrical Communications Laboratories, Yokosuka-shi, 238 Japan

あらまし 線形ブロック符号に対する逐次的な軟判定復号法であるトレリス復号法の、移動通信データ伝送への適用法とその特性、および受信レベルの量子化の影響について述べている。

1. まえがき

移動通信におけるデータ伝送では、マルチパスフェージングによる符号誤りに対処するため誤り制御が不可欠であり⁽¹⁾, BCH 符号などのブロック符号がよく用いられている⁽²⁾. ブロック符号の復号法として、ビットごとの識別結果を用いる最小距離復号法よりもワード誤り率特性の改善が可能な軟判定復号法が最近検討されているが^{(3)~(5)}, 復号の最尤(ゆう)性を厳密に守ろうとすると処理量が膨大になる欠点がある。

トレリス復号法は、線形ブロック符号に対する軟判定アルゴリズムの一つで、ビットごとの硬判定結果が得られるごとに復号処理を進めることか ける逐次的アルゴリズムであるという特徴を持つ⁽⁶⁾. 本論文では、各ビットを硬判定した時点における受信レベルを用いることにより、トレリス復号法が移動通信データ伝送へ効果的に適用できることを示し、その特性および受信レベルの量子化の影響について述べる。

2. 受信レベルを用いたトレリス復号法

線形 (N, K) 符号を考え、そのパリティ検査行列を $H=(h_1, h_2, \dots, h_N)$ とする。但し、 h_j は H の第 j 列ベクトルである。符号語 $X_j=(X_{j1} \dots X_{jN})$ (但し、 X_{ji} はガロア体 $GF(q)$ の要素)に対し、

$$S_k = \sum_{j=1}^k X_{ji} h_i, \quad k=1 \sim N$$

$$S_0 = (00 \dots 0)^t \quad (1)$$

で与えられる S_k を k に対する軌跡として描き、これをすべての符号語について求めたものをトレリスという。また、 S_k を状態点という。図1にハミング(7,4)符号のトレリスの例を示す[†]。

符号語 X_j の状態点 S_k における対数尤度比は、

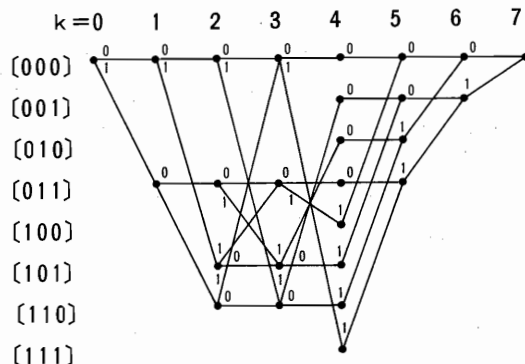


図1 ハミング(7,4)符号のトレリス
Fig. 1 Trellis of Hamming(7,4) code.

$$L_k = \sum_{i=1}^k \log f_i, \quad k=1 \sim N \quad (2)$$

により計算できる。ここに、 f_i は第 i ビットの硬判定に対する尤度比で、 p_i を第 i ビットのビット誤り率として、

$$f_i = \begin{cases} p_i/(1-p_i) \dots Y_i \neq X_{ji} \\ (1-p_i)/p_i \dots Y_i = X_{ji} \end{cases} \quad (3)$$

で与えられる⁽⁶⁾。但し、 Y_i は第 i ビットの硬判定の結果である。すなわち、符号語 X_j の第 k ビット目が硬判定の結果と一致するとき、対数尤度比 L_k は L_{k-1} より $\log\{(1-p_k)/p_k\}$ だけ増加し、一致しないときは同じだけ減少する。ビット誤り率は受信 $CNR \gamma_i$ の関数で表されるので(例えば、非同期FSKおよび差動同期PSKは指数関数で、同期FSKは誤差関数で表される⁽⁷⁾)、受信レベルの測定値から f_i の近似値が求められる。ビットごとの硬判定結果が得られるごとにすべての符号語について対応する状態点の対数尤度比を計算し、トレリスの合流点で対数尤度比の小さい方の符号語を棄却してゆけば、最終的に唯一の符号語に受信語を復号できる。

3. ワード誤り率特性

符号長が短く、復号のための処理量が比較的少ないハミング(7,4)符号(符号間距離=3)を対象に、受信 CNR が測定できることを仮定して計算機シミュレーションによりワード誤り率特性を求めた。ビット誤り率が受信 $CNR \gamma$ に対して $(1/2)\exp(-\gamma)$ で表される場合を考え、文献(8)に示された方法⁽⁶⁾により、レイリーフェージングによる受信波の変動とそれによる誤りパターンを発生した。

受信レベルの変動がビット間で有相関になると、誤りの発生がランダムでなくなり、また、トレリスが合

†パリティ検査行列の列ベクトルの並べ方は任意なので線形 (N, K) 符号のトレリスは唯一ではない。

流する符号語どうしで対数尤度比に差が生じにくくなる。このため、トレリス復号法によるワード誤り率の改善量が減少する。これを避けるための方法として、ビットインタリーブが有効である。このことを考慮して、シミュレーションでは $f_D T$ ($T = MT_b$, $1/T_b =$ ビットレート, $7 \times M =$ インタリーブサイズ, $f_D =$ 最大ドップラー周波数) をパラメータとし、必要なインタリーブサイズを求めた。シミュレーション結果を図2に示す。比較のため、最小距離復号法による1ビット誤り訂正の場合も示した。 $f_D T = 1$ のとき、トレリス復号法は最小距離復号法よりもワード誤り率 $= 10^{-3}$ を得る CNR で約 5 dB の改善が得られる。図3は $f_D T$ とワード誤り率 10^{-2} を得る受信 CNR の関係で、 $f_D T =$

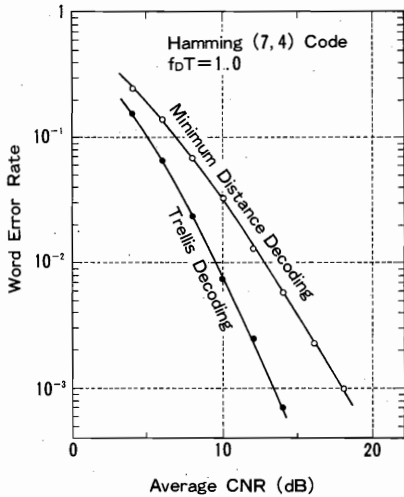


図2 ワード誤り特性
Fig.2 Word error rate.

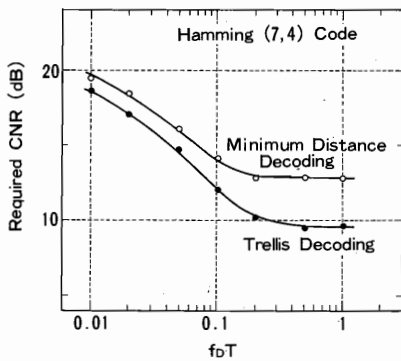


図3 $f_D T$ とワード誤り率 10^{-2} を得る所要 CNR の関係
Fig.3 Normalized doppler frequency vs. required CNR for obtaining WER $= 10^{-2}$.

0.3 とすれば $f_D T = 1$ のときのワード誤り率からの劣化は無視できることがわかる。これは、 $f_D = 40$ Hz の場合(搬送波周波数 900 MHz, 移動体走行速度約 50 km/s に相当), 2.4 kb/s の伝送を行うものとする $M = 18$ のインタリーブに相当する。

4. 受信 CNR の量子化の影響

トレリス復号法を具体的に装置化する場合、受信レベルを量子化して処理する必要が生じる。移動通信では、レイリーフェージングのため受信レベル変動のダイナミックレンジは数 10 dB におよぶ。このため、受信機では対数圧縮した受信レベルを検出していることが多い。このことを考慮して、対数圧縮した受信 CNR を量子化して復号処理を行う場合のワード誤り率特性をシミュレーションにより求め、量子化の影響を評価した。ハミング(7,4)符号を例とし、0 dB から 24 dB の間の受信 CNR を等間隔で量子化した。これは、符号付 8 ビットで指数部を表現する浮動小数演算を行ったとき、 $(1/2)\exp(-\gamma)$ がオーバーフローしない範囲の受信 CNR に相当する。これにより、24 dB を越える受信 CNR は 24 dB とみなされる。また、トレリスの合流点において比較する対数尤度比が等しい場合には、両者の符号語に対する復号処理を継続し、最終的な復号結果が複数個生じた場合にはワード誤りとした。図4に受信 CNR = 10 dB における量子化ビット数とワード誤り率の関係を示す。 $f_D T = 0.1$, および 1 の場合、3 ビット以上の量子化を行えば量子化によるワード誤り率の劣化はほとんど無くなる。

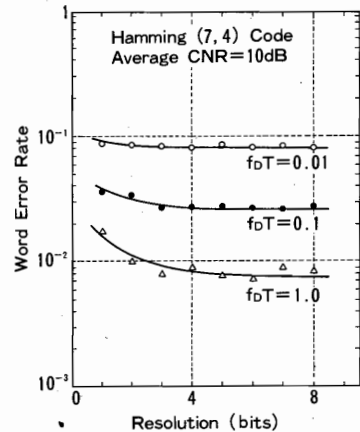


図4 受信 CNR の量子化の影響
Fig.4 Effect of quantizing received CNR.

5. むすび

トレリス復号法の、移動通信データ伝送への適用法とその特性、および受信レベルの量子化の影響について述べた。ハミング(7,4)符号の場合、 $f_d T=1$ のときトレリス復号法は最小距離復号法よりもワード誤り率 $=10^{-3}$ を得る CNR で約 5 dB の改善が得られる。また、受信 CNR を 3 ビットで量子化すればワード誤り率の劣化はほとんど無視できる。本論文では受信 CNR が測定できることを仮定してワード誤り率を求めたが、実際には信号と雑音の合成波の振幅が測定される。しかしながら、3 ビットの量子化により特性劣化がほとんど無くなることから予想できるように、受信レベル測定が厳密でないことの影響はわずかであると考えられる。今後は、装置化により特性確認を行うと同時に受信波のランダム位相による誤りの影響を含めた評価を行う。

謝辞 有効な助言を下された無線伝送技術研究部安達主幹研究員、ならびに移動体通信事業部システム開発部倉本部長、渡辺担当部長、堀川主幹研究員に感謝

する。また、討論に参加された関係各位にも感謝する。

文 献

- (1) P. J. Mably: "Mobile radio data transmission—Coding for error control", IEEE Trans. Veh. Technol., VT-27, 3, pp. 99-109 (Aug. 1978).
- (2) 桑原監修: "自動車電話", 電子通信学会, p. 319 (昭 60).
- (3) G. D. Forney, Jr.: "Generalized minimum distance decoding", IEEE Trans. Inf. Theory, IT-12, 4, pp. 125-131 (April 1966).
- (4) D. Chase: "A class of algorithms for decoding block codes with channel measurement information", IEEE Trans. Inf. Theory, IT-18, 1, pp. 170-182 (Jan. 1972).
- (5) J. K. Wolf: "Efficient maximum likelihood decoding of linear block codes using a trellis", IEEE Trans. Inf. Theory, IT-24, 1, pp. 76-80 (Jan. 1978).
- (6) 鷲尾, 森本: "数理統計学", 白水社, p. 146 (昭 47).
- (7) S. Stein and J. J. Jones, 関監訳: "現代の通信回線理論", 森北出版, pp. 222-258 (昭 45).
- (8) 松本正: "移動通信における受信波包絡線レベルを用いたチェイス第 2 アルゴリズムによるブロック符号の復号法", 信学論(B), 63 年 1 月号掲載予定.

(昭和 62 年 4 月 15 日受付, 6 月 24 日再受付)