研究速報

TMCC パリティの不一致数を用いた ISDB-T 緊急自動起動信号の低消費電力受信方法

A Low Consumption Power Reception Method with TMCC Parity Disagreements for Determining ISDB-T Emergency Automatic Wake-Up Signals

正会員 高橋 賢†

Satoshi Takahashi†

あらまし ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial) 地上デジタルテレビ方式では、緊急時に放送局が送信する特別な信号により、その受信機を自動的にオンにできる。この自動起動信号が伝送される伝送制御 (TMCC: Transmission and Multiplexing Configure Control) 情報にはパリティを含むが、このパリティを利用することでより高信頼に自動起動信号を判定する方法が提案されている。本速報では、このパリティを用いる方法において、受信した TMCC 情報ビット列と自動起動信号の状態により決定される TMCC 情報ビット列とを比較して、その不一致数により自動起動信号状態の確からしさを判定することを提案し、さらにこの確からしさから消費電力を削減する受信方法を検討する。

キーワード：地上デジタルテレビ放送, ISDB-T, 緊急信号, TMCC 信号

1. ま え が き

緊急時において、テレビ放送局はその放送信号に特別な信号を重畳することがある。不活性状態にあるテレビ受信機に対して、この自動起動信号により活性状態にして、ニュース番組を表示できるようにするためである。この自動起動の根本原理は、不活性状態のテレビ受信機であってもチューナ部は動作を続け、放送局からの自動起動信号を待機受信することにある。日本やブラジルなどで採用されている ISDB-T 地上デジタルテレビ方式では、この自動起動信号をデジタル形式の制御信号により伝送することに特徴があり、低消費電力にて待機受信できる可能性がある。ISDB-T では、固定受信向け放送と移動受信向け放送とを同時に伝達できるので、移動体に対しても緊急情報を提供することができる。

ISDB-T は OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) を用い、その信号帯域幅を 13 のセグメントに分割して、さらに最大 3 階層にグループ化して映像情報を伝送する。この階層構成や各階層伝送パラメータは、OFDM サブキャリアの一部を利用した TMCC 信号により

受信機に伝達される。その TMCC 情報は 204 ビット長の情報ビットで構成され、情報伝送レートが 992 ビット/秒の DBPSK (differential bi-phase shift keying) 変調にて約 0.2 秒ごとに巡回的に送出される。この TMCC 情報が伝送されるフレーム内の間欠受信により平均的な消費電力を削減する自動起動信号受信機が提案されている¹⁾。また、緊急警報放送の前後で自動起動ビット以外の TMCC 情報に変更されないことを仮定して、TMCC 情報に含まれるパリティを用いてより高信頼に自動起動信号の有無を判定する方法が提案されている²⁾。本稿では、パリティを用いた自動起動信号の検出方法において、その消費電力を低減する方法を検討する。

2. TMCC パリティを用いた自動起動信号の検出方法

2.1 移動受信機における TMCC ビット誤り率

TMCC 信号は、ワンセグ帯域幅内において 4 サブキャリアが割り当てられ (図 1)、各サブキャリアの TMCC 信号は同一内容が送信されている。このため、サブキャリアダイバシチ受信により受信ビット誤りの低減が可能である。

移動受信を想定したレイリーフェージング下において、DBPSK のビット誤り率 P_e は、

$$P_e = \frac{1}{2} \left[\frac{1 + \gamma(1 - \rho_C)}{1 + \gamma} \right] \quad (1)$$

であることが知られている³⁾。ここで、 γ は雑音の電力密度

2017 年 8 月、映像情報メディア学会年次大会で発表
2017 年 10 月 5 日受付、2018 年 4 月 15 日再受付、2018 年 5 月 5 日採録

† 広島市立大学
(〒731-3194 広島市安佐南区大塚東 3-4-1, TEL 082-830-1500)

図 1 ワンセグ帯域における TMCC サブキャリア配置.

図 2 γ に対する P_e (レイリーフェージング, 中心周波数 600 MHz, 移動速度 10 m/s).

に対する 1 ビットのエネルギー (E_b/N_0) であり, 電波強度に比例する値である. ρ_C はシンボル間隔 T_s [s] の間の自己相関関数であり, 受信機が一様散乱体に囲まれたときの ρ_C は最大ドップラ周波数 f_D [Hz] を用いて

$$\rho_C = J_0(2\pi f_D T_s) \quad (2)$$

と書ける. ここで, $J_0(\cdot)$ は第 1 種 0 次ベッセル関数である. f_D は波長 λ [m] と移動速度 v [m/s] を用いて $f_D = v/\lambda$ にて表せるので, レイリーフェージング下の P_e は, 情報伝送レート (の逆数 T_s), 周波数 f , そして移動速度 v の関数である. サブキャリア (ブランチ) 数 4 にて最大比合成ダイバシチを行うときのビット誤り率 P_{e4} もまた

$$P_{e4} = \frac{1}{2} \left[\frac{1 + \gamma(1 - \rho_C)}{1 + \gamma} \right]^4 \quad (3)$$

にて表わせる. 移動速度 10 m/s, 周波数 600 MHz を仮定したとき, サブキャリアダイバシチを行わないとき (1 br.) のビット誤り率と 4 サブキャリアダイバシチ (4 br.) のビット誤り率を図 2 に比較する. γ の増加により P_e は減少し, またサブキャリアダイバシチは P_e を低減させた. また, γ の増加により, サブキャリアダイバシチの有無による P_e の差が大きくなった.

2.2 間欠受信による自動起動信号判定

文献¹⁾の著者は TMCC フレームの先頭から自動起動信号の含まれる (DBPSK 位相基準を除く) 26 ビット目までチューナ部を動作させ, その後にチューナ部の動作を停止

図 3 自動起動信号により変化する TMCC パリティ変化の概念図.

表 1 自動起動信号の有無に対する TMCC 情報ビット値.

ビット	自動起動信号		156	1	0
	なし	あり			
26	0	1	158	1	0
122	0	1	160	1	0
124	1	0	163	1	0
127	0	1	164	1	0
128	1	0	165	1	0
130	1	0	169	0	1
132	1	0	170	1	0
133	0	1	171	1	0
135	0	1	173	1	0
138	0	1	177	1	0
139	0	1	178	1	0
140	0	1	182	1	0
142	1	0	183	0	1
144	0	1	187	1	0
148	0	1	194	1	0
149	0	1	200	0	1
150	1	0	201	1	0
			202	1	0

する間欠受信により消費電力を削減することを提案している. さらに, ワンセグ帯域にある 4 つの TMCC 信号に対して, サブキャリアダイバシチを行うことでビット誤りによる誤動作を軽減している.

消費電力が受信サブキャリア数に比例し, 正確なタイミングで間欠受信できることを仮定すると, 1 サブキャリア連続受信の消費電力と比較したこの方法の消費電力は

$$4 \text{ サブキャリア} \times \frac{27}{204} \approx 0.53 \text{ 倍}$$

である.

2.3 TMCC パリティを用いる自動起動信号判定

一方, 文献²⁾では, 自動起動信号の変化の前後でそれ以外の TMCC 情報が変化しないことを仮定して, 自動起動信号の変化により TMCC パリティの一部も変化することを利用している (図 3).

この方法による自動起動信号の受信ブロックを図 4 に示す. ここで, TMCC 情報の 26 ビット目にある自動起動信号がオフからオンになると, 表 1 の合計 36 ビットの値が変化する.

しかし, 受信ビット誤りのために, 自動起動信号の変化

図4 パリティを用いた自動起動信号判定方法の受信ブロック図。

によって必ずしも表1の通りに変化するとは限らない。そのため、ビット状態の多数決により自動起動信号の状態を推定している（図4）。

この方法は、そのままではTMCCフレーム内での間欠受信を適用できない一方、より高信頼に自動起動信号を判断できるのと考えられるので、ここではサブキャリアダイバシチを行わないことにした。このとき、1サブキャリア連続受信の消費電力と比較して、この方法の消費電力は

$$1 \text{ サブキャリア} \times \frac{204}{204} = 1 \text{ 倍}$$

である。間欠受信による方法は、このTMCCパリティを用いる方法の約0.53倍の消費電力で自動起動信号を判定できると考えられる。

3. 自動起動信号の誤警報確率と見逃し確率

この2つの方法に対して、誤って自動起動信号が検出される確率（誤警報確率：false alarm probability） P_{fa} を比較する。間欠受信を行う方法（single 4 br. にて示す）の P_{fa} は

$$P_{fa}^{\text{single}} = (1 - P_{e4})^{16} P_e \quad (4)$$

である一方、TMCCパリティを用いる方法（parity 1 br. にて示す）の P_{fa} は

$$P_{fa}^{\text{parity}} = (1 - P_e)^{16} \cdot \left\{ \sum_{k=0}^{17} {}^{36}C_k (1 - P_e)^{36-k} P_e^k \right\} \quad (5)$$

である。 E_b/N_0 に対する両者の P_{fa} を図5に比較する。同図より、 P_{fa} の点において、TMCCパリティを用いる方法は、間欠受信を用いる方法よりも低い値を示した。

次に、自動起動信号を見逃す確率（見逃し確率：mis-detection probability） P_{md} について比較する。間欠受信を行う方法の P_{md} は

$$P_{md}^{\text{single}} = 1 - (1 - P_{e4})^{17} \quad (6)$$

である一方、TMCCパリティを用いる方法（parity 1 br.）では、

$$P_{md}^{\text{parity}} = 1 - (1 - P_e)^{16} \cdot \left\{ \sum_{k=0}^{18} {}^{36}C_k (1 - P_e)^{36-k} P_e^k \right\} \quad (7)$$

である。両者を図6に比較する。 P_{md} に関しては、間欠受信を行う方法の方が、TMCCパリティを用いる方法よりも低い値を示した。

誤警報確率 P_{fa} と見逃し確率 P_{md} とは異なる特性を示した。TMCC信号は1秒間に約5フレーム送信されるの

図5 γ に対する P_{fa} （レイリーフェージング，中心周波数 600 MHz，移動速度 10 m/s）。

図6 γ に対する P_{md} （レイリーフェージング，中心周波数 600 MHz，移動速度 10 m/s）。

で、例えばTMCCパリティを誤検出しないとみなせる条件を「 P_{fa} が 10^{-1} 以下（2秒以内に検出）、かつ P_{md} が 3.16×10^{-8} 以下（1年に1回）」と仮定する。このとき、TMCCパリティを用いる方法の所用 E_b/N_0 は20.3 dBであった。

4. TMCCパリティ不一致数による受信制御

受信誤りの多いときには、誤った結果を出力するよりもむしろ、受信機を休眠させた方がよいと考えられる。TMCCパリティを用いる方法において、受信誤りの少ないときには受信ビット列と表1の自動起動信号の有無欄のいずれか一方に記述されたビット列との不一致ビットが少なくなり、受信誤りの多いときにはその不一致数が大きくなる特徴がある。

P_e に対するその不一致ビット数の期待値 $D(P_e)$ は

図 7 γ に対する D (レイリーフェージング, 中心周波数 600 MHz, 移動速度 10 m/s) .

図 8 D に対する P_{fa} (レイリーフェージング, 中心周波数 600 MHz, 移動速度 10 m/s).

$$D(P_e) = \sum_{k=1}^{36} k \cdot {}_{36}C_k (1 - P_e)^{36-k} P_e^k \quad (8)$$

である. 式 (1) と式 (8) から γ に対する D を計算した結果を図 7 に示す. D は γ に対して単調減少するので, D から γ を推定できる. また, 式 (5) と図 7 から, D に対する P_{fa} が求められ, その結果を図 8 にプロットする. 同図より, 例えば D が 7 であれば, P_{fa} が 10^{-6} 程度となり 2 日に 1 回程度の誤警報が予想されるため, 受信機を一定期間休眠させることが考えられる.

レイリーフェージングは受信電波強度を大きく変動させるが, この不一致数から瞬時 E_b/N_0 を推定できるので, 平均 E_b/N_0 に対して瞬時 E_b/N_0 が一定値以上, 低い値を観測した時には次の TMCC フレームの時間だけ休眠することも考えられる. 観測した平均 E_b/N_0 が $\bar{\gamma}$, 瞬時 E_b/N_0 が γ であるとき, γ が γ_0 以下のときに休眠するときの時間

率 P_{sleep} は,

$$\begin{aligned} P_{\text{sleep}} &= p(\gamma < \gamma_0) = \int_0^{\gamma_0} \frac{1}{\bar{\gamma}} \exp\left(-\frac{\gamma}{\bar{\gamma}}\right) d\gamma \\ &= 1 - \exp\left(-\frac{\gamma_0}{\bar{\gamma}}\right) \\ \frac{\bar{\gamma}}{\gamma_0} &= -1/\log(1 - P_{\text{sleep}}) \end{aligned} \quad (9)$$

である. 式 (9) の右辺をデシベル表記すると,

$$-10 \log_{10}\{-\log_e(1 - P_{\text{sleep}})\}[\text{dB}]$$

である. 間欠受信による方法と同程度の消費電力を達成するために $P_{\text{sleep}} = 0.53$ を代入すると, この値は 1.2 dB である. γ が $\bar{\gamma}$ よりも 1.2 dB 以上, 低い時に受信機を休眠させればよい. これは 1TMCC フレーム受信した後に 1 フレーム休眠することに相当するので, その休眠時間は約 0.2 秒である.

しかしながら, 受信機を休眠させると, 自動起動信号も受信できなくなるため, P_{md} の増加をもたらす. 誤った結果を出力することによる情報の欠落と受信機の休眠による情報の欠落とのトレードオフや, 誤警報がもたらす消費電力の増加に対する解析は, 今後の検討課題である.

5. む す び

ISDB-T デジタルテレビ方式において, 緊急時に放送局が放送する自動起動信号を移動待機受信する方法を検討した. TMCC パリティを用いる方法において, 不一致数が大きいときには, 誤った結果を出力する可能性が高いと判断して, 一定期間だけ休眠させることにより, 受信機の消費電力を削減することを提案した.

謝辞 本研究の一部は科研費 (課題番号 17K06436) および広島市立大学特定研究費 (先端学術研究費) により実施した.

〔文 献〕

- 1) 田口 誠, 濱住啓之, 伊藤泰宏, 渋谷一彦, “緊急警報放送によるワンセグ端末の自動起動の検討,” 信学技報, EMCJ2006-120 (March 2007)
- 2) S. Takahashi, “A novel method of determining EWS wake-up trigger for ISDB-T digital television receivers,” IEEE WiMob 2014 Workshop on Emergency Networks for Public Protection and Disaster Relief (EN4PPDR 2014), pp.407-412, Larnaca (Oct. 2014)
- 3) A. Goldsmith, Wireless Communications, Cambridge University Press, New York (2005)

たかはし 高橋 賢 1992 年, 東京電機大学工学研究科修士課程修了. 同年, (株) 日立製作所入社. 1996 年から 1999 年まで (株) ワイ・アール・ビー移動通信基盤技術研究所出向. 2002 年, 通信総合研究所 (現在, 情報通信研究機構) 入所. 2005 年, 広島市立大学准教授. 博士 (工学). 移動無線通信の電波伝搬や伝送方法, 衛星測位方法, 緊急警報放送受信方法などの研究に従事. 正会員.