ディザ法を用いた静止画無線伝送装置

正会員 坪 井 邦 明[†], 石 塚 満[†]
正会員 安 田 靖 彦[†], 正会員 尾 上 守 夫[†]

あらまし 災害時などでの遠隔監視を目的とした静止画無線伝送装置を開発した。このような装置で重要となる可搬性を、装置の小形・軽量化および無線伝送機能によって実現している。静止画の符号化にはディザ法を活用し、ハードウェア規模および伝送データ量の削減をはかっている。また、音声帯域での伝送のため、大略情報から先に伝送する階層的伝送法を採用し、通常のスロースキャンで問題となる受信者の心理的負担を緩和した。無線伝送には、受信側での高利得アンテナの使用などの配慮をしたうえで微弱電波を用いた。微弱電波は雑音に弱いのでデータ圧縮は行わないが、階層的伝送において伝送を途中で打ち切ることで伝送の効率化をはかっている。

1. ま え が き

災害時などに、画像による遠隔監視を無線によって行いたい場合がしばしばある。その際、実時間で動画を送る必要はなく、ある時間間隔で静止画を次々に伝送するだけでよい場合も少なくない。したがって、広帯域の画像伝送回線および装置を用いなくても、電話回線程度の狭帯域の簡易な機器で充分役に立つ。また、無線伝送を微弱電波によって行えるようにしておけば、電波法に制約されることなく使用でき、緊急の事態に有効である。そこで筆者らは、微弱電波を使った携帯用の静止画伝送装置を製作した。

ところで、狭帯域静止画伝送は、通常スロースキャンによって行われるが、これは受信者にとっては、画像の内容を把握するまでに時間がかかり、心理的負担が大きい。これに対して筆者らはすでに、まず大略の画面を送り、時間の経過とともにそれを次第に精細化していく階層的伝送法を有線回線に適用して、良い結果を収めている¹⁾。

ここでは、この伝送法を無線伝送に適用して、前述の装置を試作し、実験を行

って、ほぼ満足できる結果を得たので報告する。

2. 装置の構成

試作した静止画無線伝送装置の、全体の構成を図1に示す。

送信側は、ITVカメラ、符号器、無線送信機、およびそれらの電源からなっており、可搬性に重きをおいて、カメラとアンテナ以外は手提げカバン2個に収納されている。写真1に送信側の外観を示す。しかしこれは、モデム、送信機および電源として市販の製品を利用しているので、すべて専用に設計すれば現在の

図1 静止画無線伝送装置の構成
Configuration of still-picture radio transmission equipment.

[†] 東京大学 生産技術研究所
“Still-pictures Radio Transmission Using Dither Method” by
Kuniharu Tsuboi, Mitsuru Ishizuka, Yasuhiko Yasuda and Morio
Onoe (Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Tokyo)

写真1 送信側装置
Transmitting equipment.

大きさの半分程度になると思われる。

送信側の小形・軽量化，ならびに伝送時間の圧縮をはかるために，静止画の表示にはディザ法を活用して， 512×512 (有効画面 512×480) の2値ディザ画像，または 256×256 (有効画面 256×240) の16値ディザ画像²⁾を，切り換えて使用できるよう構成した。

符号器では，符号化命令により1フレーム期間でカメラ出力のディザ符号化が行われ，フレームメモリに格納される。このとき参照するディザマトリクスの各エレメントの閾値は，プログラムにより可変となっているため，後で述べるように，必要に応じてディザパターンを選択することができる。また，ディザマトリクスの基準値を自動調整するために，白黒画素数を計測するカウンターを設けている。

フレームメモリに格納された画像データは，モデムを介して，既設の音声回線，あるいは装置に内蔵する無線機による微弱電波にのせて伝送される。伝送速度は，音声帯域のため2400 bpsとしている。したがって，1画面の伝送には約2分を要する。

伝送において，現在，誤り訂正は行っていないが，データを64バイトのパケットにし，各パケット毎に同期用の符号と画面上のアドレスを先頭アドレスとして付しているのので，誤りは1パケット内でおさまる。また，前報告の有線伝送の際は大幅なデータ圧縮が可能であったが，無線伝送，ことに微弱電波を利用する場合は雑音に弱いので，とくに圧縮は行っていない。

送受信機は，タクシー無線機を改造することにより，周波数を415 MHzに設定し，送信出力を下げて微弱電波にしたものである。送信アンテナには，タクシー無線用の $\lambda/4$ ホイップアンテナを使用している。微弱電波を使用しているのので，受信側では感度を高める必要があり，受信アンテナとして結合共振器構造の高利得アンテナ(+14 dB)³⁾⁴⁾を用い，さらに空洞共振

写真2 受信側装置 (無線伝送実験中)
Receiving equipment.

形フィルターとRFアンプ (利得13 dB，NF 2 dB) を介して受信機の入力としている。以上の組合せにより，電波法の制約のない微弱電波で500~1000 mの伝送が可能である。写真2に，野外に設定した受信側の外観を示す (右側が高利得アンテナ)。

受信側では，受信データに対して，4章で述べる予測補間を行い，フレームメモリを逐次更新しながらテレビモニターに画像を出力する。あるいは，前伝送で完成している画像を表示することもできる。

ディザマトリクスの閾値の設定，伝送モード・伝送手順等の制御のために，送信側・受信側各々にマイクロプロセッサを用いた。

3. 静止画表示方式

伝送する静止画として，次の2種類を切り換えて使用できる。

- (1) 512×512 の2値ディザ画像
- (2) 256×256 の多値ディザ画像 (16値)

当初，(1)の2値ディザ画像を中心に考えていたが，それは次の理由による。

- (a) 2値であるが，中間調も表現できる。
- (b) 画像メモリおよび伝送ビット数が少なくすむ。
- (c) 符号化ハードウェアが簡単である。

中間調を表示できること(a)は必須の条件であるが，(b)，(c)は本装置の条件によく適している。

一方，(1)と同じメモリ容量で，解像度を $1/2 \times 1/2$ にすれば1画素に4ビットあてられることから，(2)の機能も含めた。(2)の多値画像においてディザをかけた効果は，画像の性質でかなり異なるが，特に階調がなめらかに変化する部分では有効である。

通常の情景を表示する場合には，人間の視覚にとって自然である多値画像の方が良い印象を与えている。

0	8	2	10
12	4	14	6
3	11	1	9
15	7	13	5

0	12	3	15
8	4	11	7
2	14	1	13
10	6	9	5

(a) Bayer's pattern, (b) Transposed pattern.

図 2 4×4 のディザマトリクス
4×4 dither matrices.

一方、細部に注目する、例えば文字等を含む場合には、2 値ディザ画像が有効である。そこで本装置では、目的あるいは伝送画像の性質によって、2 値ディザと 16 値ディザとを自由に選択できるようにしている。

組織的ディザ法におけるディザマトリクスとして、Bayer のパターン⁵⁾が一般的である。これは 4×4 の場合、図 2(a) のようになる。本装置においても、多値ディザではこのパターンを用いているが、2 値ディザでは図 2(b) のように転置したものを用いる。これはインタレースに起因するフリッカーに対処するものであるが、受信側で用いるモニターによっては、依然としてフリッカーが解消されない場合もあり、それについては 5 章で述べる。

4. 階層的伝送方式

4.1 2 値ディザ画像の伝送

2 値ディザ画像における階層的伝送方式として、前報告では次の方式を使用した¹⁾。

各々の 4×4 のディザマトリクスにおいて、順次階調がはっきりするように伝送するために、輝度レンジを閾値で順に 2 等分するエレメントを送る (図 3)。受信側では未受信のエレメントは同一マトリクス内で閾値の最も近い既受信のエレメントの値を予測値として用いる。

しかしこの方法は、伝送が終了するまでの中間段階において、2 値ディザ法の長所である解像度の良さを充分利用しておらず、また、各段階での伝送順序として閾値レベルの順を用いると、受信者に関心のある情

図 3 2 値ディザの伝送順序¹⁾
Transmission sequence for binary dither pattern.

表 1 伝送エレメントと受信側での処理
Transmission elements and processing at receiving end.

伝送順序	各画素の閾値レベル															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	9	9	9	9	9	9	9	9	9	⑨	9	9	9	9	9	9
2	6	•	6	•	6	•	⑥	•	6	•	6	•	6	•	6	•
3	12	•	•	•	12	•	•	•	12	•	•	•	⑫	•	•	•
4	•	•	•	③	•	•	•	3	•	•	•	3	•	•	•	3
5	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	⑩	•	•	•	10	•
6	•	5	•	•	•	⑤	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
7	⑩	•	•	•	0	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
8	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	15	•	•	•	⑮
9	•	①	1	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
10	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	⑬	13	•
11	•	•	•	•	•	•	•	⑦	•	•	•	•	•	•	•	•
12	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	⑪	•	•	•	•
13	•	•	•	•	•	•	•	•	⑧	•	•	•	•	•	•	•
14	•	•	•	•	④	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
15	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	⑭	•
16	•	•	②	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

報が、明るい、あるいは暗い所にかたよっている場合、もどかしさが残る。

そこで、本装置では表 1 に示すような伝送を行った。各伝送順序における○印が、伝送されるエレメントを示し、数字は閾値レベルに対応している。伝送エレメントと同じ数字の書きこまれている所は、受信側において、このとき受信した値を予測値として書き換えるエレメントを示している。なお、ディザマトリクスは図 2(b) を用いる。

この伝送順序および予測補間は、初めの 1/4 が受信された段階で、2×2 画素を 1 画素とみなした 2×2 の 2 値ディザ画像 (解像度は 1/2×1/2) が近似的に表示され、その後の精細化の段階では、伝送エレメントの閾値あるいは幾何的位置ができるだけ連続しないように、実験に基づいて選定した。これによって、伝送の早期に良い解像度が得られ、また、文献 1) の手法に残っていた上述のもどかしさも解消される。

写真 3 は、この方式で伝送した場合の、各段階での受信側出力画面を示している。T は 1 画面の全伝送量で、時間にして約 2 分である。

なお、このような階層的伝送法では、全伝送のうち、初めの 1/4 の伝送で画面はほぼ完成され、残り 3/4 の精細化による改善はわずかであるため、必ずしも全伝送を行うことはない。そこで現在、連続する 4 画面中、3 画面は 1/4 (約 30 秒) の伝送で打ち切って次の画面に移り、残り 1 画面だけを最後まで伝送している。これは、次に述べる 16 値ディザ画像の場合も同様で、これによって伝送の効率化がはかられている。

(a) $\frac{1}{8}T$

(b) $\frac{1}{4}T$

(c) $\frac{1}{1}T$

写真 3 2値ディザ画像の伝送
Transmission of binary dither picture.

(a) $\frac{1}{8}T$

(b) $\frac{1}{4}T$

(c) $\frac{1}{1}T$

写真 4 16値ディザ画像の伝送
Transmission of 16-level dither picture.

る。

4.2 16値ディザ画像の伝送

多値の静止画に対する階層的な伝送方式は各種提案されている⁹⁾が、本装置での目的と考えあわせてみると、ランダム走査方式のように文字通り“ジワック”と浮び上ってくる必要はない。また、ハードウェアの制約および送信の実時間性の制約から、階層的アダマール変換法等を適用するのは容易ではない。同様に、ブロック化サンプリング方式の場合も、あまり大きなブロックから始めることはできない。また、ビットプレーンコーディングについては、本装置では1画素4ビットしかないので、このままではあまり効果はない。

そこで本装置では、ブロック化サンプリング方式と、ビットプレーンコーディングとを組合せた、次のような方式を用いた。

- ① 4×4 のディザマトリクスに対応する1つのブロックを 2×2 に分割し、そのひとつをサブマトリクスとして、1つのサブマトリクスに1つのサンプル画素を設定し、それをビットプレーンコーディングで伝送する。
- ② 以上をブロック化サンプリング方式の1段階と考えて、次から普通のブロック化サンプリング方式として伝送する。

たとえば、図2(a)の1ブロックに対して次のような伝送順序となる(ただし、伝送エレメントをディザマトリクスの閾値をもって表す)。

- (1) 0, 2, 3, 1のMSB
- (2) 0, 2, 3, 1の2ndビット
- (3) 0, 2, 3, 1の3rdビット
- (4) 0, 2, 3, 1のLSB
- (5) 4, 6, 7, 5(各4ビット)
- (6) 8, 10, 11, 9(各4ビット)
- (7) 12, 14, 15, 13(各4ビット)

写真4は、この方式で伝送した場合の、各段階での受信側出力画面を示している。

なお、連続する4画面中、3画面は $1/4$ の伝送で打ち切っていることは前述した通りである。

5. 2値ディザ表示のフリッカー対策

2値ディザ法は、濃淡表示のできない表示器に階調を出すために考案されたものであるが、前述のように、それ以外の利点もあるため、本装置のように濃淡表示のできるテレビモニターを用いるシステムでも有効な場合がある。しかし、インタレースを行う一般のテレビモニターでは、フリッカーの発生という問題が生ずる。

組織的ディザ法で普通用いる 4×4 のBayerのパ

図 4 転置パターンでフリッカーを発する表示レベル
Display levels causing flicker even in transposed
dither pattern.

ターン (図 2 (a)) を, そのままテレビモニター
上にあてはめると, 奇/偶フィールドでの on/off
画素数が大きく異なり, 画面全体が 30 Hz のフ
リッカーを発する. これに対し, マトリクスの行
と列を入れかえた転置パターン (図 2 (b)) が用
いられている⁷⁾. この転置パターンは, 画面全体
としてのフリッカーには有効であるが, ある階調
を表わす (図 4) 領域では, やはりフィールド間に
on/off 画素数のアンバランスを生じ, 目障りな
フリッカーが依然残る.

このようなフリッカーは, ディザ成分をできる
だけ高域にもって行こうとするディザ法の本質に
も由来し, これに対処するには, インタレースを
行わないか, あるいは残光時間の長い CRT を用
いればよいが, 必ずしも一般的ではない. そこで
本装置ではディザマトリクスを工夫して, これに
対処することにした (その後, 表示時に擬似的に濃淡
画像に変換する方式も提案されている⁸⁾).

ディザ法の能力をできるだけ損わず, かつフリッ
カーの少ないディザマトリクスとして, 図 5 に示すもの
を考案し, Bayer 形パターン (転置) と本パターンと
を場合によって使い分けようとしている.

このパターンは,

- (a) 奇/偶行での閾値の和を等しくする
- (b) 連続する閾値は奇/偶行に振り分ける
- (c) 閾値の大および小の端で, 近い閾値どうし
が集まったり連続したりして, 目障りなテク
スチャを作らない

等を考慮して, 次式のようにして生成されている.

0	14	5	11
4	10	1	15
12	2	9	7
8	6	13	3

図 5 フリッカー抑止ディザパターン
Flicker-suppressed dither pattern.

(a) Bayer の転置パターンによる
By transposed Bayer's pattern.

(b) フリッカー抑止パターンによる
By flicker-suppressed pattern.

写真 5 グレイスケール
Grey scales.

(a) Bayer の転置パターンによる (b) フリッカー抑止パターンによる
By transposed Bayer's pattern. By flicker-suppressed pattern.

写真 6 表示画像の例
Examples of display picture.

$$\begin{pmatrix} 0 & 3 \\ 1 & 2 \\ 3 & 0 \\ 2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 3 \\ 2 & 1 \\ 3 & 0 \end{pmatrix} \times 4 + \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \times (0213)$$

Bayer の転置パターン (図 2 (b)) と図 5 のパタ
ーンとによる, グレイスケールと表示された濃淡画像の
例を, 各々写真 5 と写真 6 に示す (ただし, 写真 6 で
は撮像・表示器を 90° 回転して使用している). このパ
ターンは原理的にはマトリクスの列方向 (写真 6 では
水平方向) の解像度をいくぶん犠牲にしていることに
なるが, Bayer のパターンとは異なるテクスチャ
をもつということの他には, 気になるほどの画質の低
下はなく, フリッカーのほとんどない画像が得られて
いる.

6. 無線伝送実験

微弱電波による静止画無線伝送特性を把握するた
め, 本装置を使用して当所屋上で, 見通し距離約
10 m, および野外で見通し距離約 300 m の, 2 回の
無線伝送実験を行った.

屋上での実験では充分安定な伝送が可能であった
が, 野外ではオートバイ等が付近を通過すると, その
雑音によって伝送が乱される.

また、ガラス窓を通して室内-室外の伝送も可能なことを確認した。

7. む す び

災害時などに有用な、狭帯域無線による遠隔監視用の静止画伝送装置について記した。送信部の小形・軽量化および伝送時間の圧縮のためにディザ法を採用し、階層的伝送によって受信者の心理的負担を軽減した。表示画像は 512×512 の2値ディザと、 256×256 の16値ディザとを切換えて使用できるようになっているが、とくに細部に注目しない通常の情景では、後者の方が良い印象を与えている。

最後に、結合共振器構造の高利得アンテナは、現在日本大学の長谷部望助教授の設計製作によるものを使用させていただいたことを記し、感謝する。

(昭和57年11月1日受付, 昭和58年1月27日再受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 尾上, 安田, 稲本: “ディザ法を利用した静止画伝送”, 信学論誌, **63-B**, 5, pp.420-427 (May, 1980)
- 2) 上野, 小野, 岩田, 大西: “多値ディザ法とそのデータ圧縮”, 画像電子学会全大, 16 (1978)
- 3) 長谷部, 座間: “円板を用いた結合共振器構造の導波アンテナの近似理論”, 信学論誌, **59-B**, N, pp.246-253 (Apr., 1976)
- 4) N. Hasebe, T. Zama: “A Coupled Resonant Directive Antenna Consisting of a Dipole, a Reflector and Disks”, IEEE Trans., **AP-25**, 3, p. 428 (May, 1977)
- 5) B. E. Bayer: “An Optimum Method for Tow Level Rendition of Continuous-Tone Pictures”, Int. Conf. Commun., pp.26-11~26-15 (June, 1973)
- 6) 荒井: “ジワッと浮び上がる静止画伝送方式の研究が盛ん”, 日経エレクトロニクス (Oct. 2, 1978)
- 7) 吹抜: “画像の信号処理”, 日刊工業新聞社 (1981)
- 8) A. N. Netravali, E. G. Bowen: “Display of Dithered Images”, Proc. SID, **22**, 3 (1981)

Still-Pictures Radio Transmission Using Dither Method

*by Kuniharu Tsuboi, Mitsuru Ishizuka,
Yoshihiko Yasuda, Morio Onoe*

A still-picture radio transmission equipment, which is portable and used for remote observation, has been developed. Dither coding of half-tone pictures and progressive transmission of from coarse to fine resolution pictures has been effectively adopted to reduce the equipment memory size and to improve subjective transmission speed through the 2400 bps radio link. In the equipment, bi-level and multi-level dither codings are selectable with 512×512 and 256×256 resolutions, respectively. The 400 MHz radio-frequency band is used and a high-gain receiving antenna permits a lower radio radiation power than the range controlled by regulations.

J. Inst. TV Engrs. of Japan, Vol. 37, No. 5 (1983) 395~400

Self-Sharpening Effect on Resolution in Camera Tubes

by Mitsuhiro Kurashige

In order to clarify the self-sharpening effect on the resolution capability for camera tubes operated on a low-velocity electron beam landing, three major factors, storage capacitance, signal current and scanning line pitch, were investigated experimentally.

The theoretical method established by the author was also applied. It is concluded that theoretical results well agree with the measurements in regard to the following guiding principle for the camera tubes design:

(i) The self-sharpening effect enhances by several tens of percent the resolving power of widely used camera tubes with target storage capacitance of several hundred picofarads.

(ii) The enhancement disappears below a few 10 nA signal current.

(iii) The larger scanning line density results in a more enhanced vertical resolution capability, for example in the HDTV system because on effective vertical beam cross section is reduced due to "beam overlapping" adjacent scanning lines on each other.

J. Inst. TV Engrs. of Japan, Vol. 37, No. 5 (1983) 401~407