ディジタル画像信号の簡易形光ファイバ伝送システムと そのレーザカッタの動作状態監視への応用

正員	浅田 英之	(静岡日本電気株式会社)
非会員	ナビルアブドラボウ	(ヘルワン大学)
正員	池田 弘明	(静岡大学)
正員	下平 美文	(静岡大学)
非会員	吉田 博文	(静岡大学)

Compact Digital NTSC TV Signal Transmission System Using SM Optical Fibers And Its Application to Operating Status Monitoring For Laser Cutting Machine.

Hideyuki Asada, (NEC SHIZUOKA, Ltd)

Nabil Abd Rabou (UNIVERSITY OF HELWAN, EGYPT)

Hiroaki Ikeda, Yoshifumi Shimodaira, and Hirofumi Yoshida, (SHIZUOKA UNIVERSITY)

This paper describes a compact bandwidth-compressed digital NTSC picture code transmission system in which circuit configurations are simplified and made inexpensive. The bandwidth of digital NTSC picture codes is compressed in accordance with subjective evaluation, and so the sampling rate is set at 8.13 MHz ($2.28 \times \text{fsc}$) and the quantizing level at 5 bits. The frame bits for detecting the frames of picture elements are generated by alternately generating 1 and 0 when the frames are specified. The proposed system is constructed using edge-emitting LED's (ELED's) and single-mode (SM) fibers for transmitting digital NTSC picture codes so as to easily distribute video signals from a video camera to video monitors. The transmitter was $80 \times 100\text{mm}$ in size, 120 g in weight, and 1000mw in power dissipation. The receiver was $55 \times 120\text{mm}$ in size, 100g in weight, and 800mw in power dissipation. Using the compact bandwidth-compressed digital NTSC picture code transmission system, a shot of the working piece in the laser cutting machine, as an example, was satisfactorily transmitted via SM optical fibers without noises.

キーワード：光ファイバ通信システム, デジタル画像, 帯域圧縮, SM光ファイバ, 端面発光型LED (ELED), NTSC方式, 状態監視, レーザカッタ

1. まえがき

近年、画像の伝送は、アナログ伝送方式からディジタル伝送方式に移り、ディジタル画像の伝送方式もメタルケーブル伝送から光ファイバケーブル伝送へと移ってきている⁽¹⁾⁻⁽³⁾。しかしながら、これら光ファイバを用いたディジタル画像伝送システムでは、一般に複雑で高価な回路やデバイスが使用されている。従って、中小企業等でこのような複雑な伝送システムを採用しようとしても、メンテナンスや経済的な問題があるため、採用が困難であり、この点からも比較的簡易なシステムが望ましい。

ディジタル画像生成方式には、MPEG2を始めとする情報処理を使った帯域圧縮画像生成方式、並びにNTSC, PAL, SECAMなどの従来からテレビジョンで採用されてきた画像生成方式がよく知られて

いる⁽⁴⁾。しかし、MPEG2はエンコーダが高価であり、現在のところ、簡易な状態監視用には経済性を満足しない。一方、NTSCは従来からディジタル化が進められ、コスト・パフォーマンスのトレードオフを満足しやすい。更に、MPEG2では帯域を数MHzに圧縮するため画像処理を実施して、みかけ上不要な情報は取り除いている⁽⁴⁾。マルチメディアのようなエンターテイメントを中心とした画像の提供ならば、このような情報処理は許される。しかし、例えば状態監視の際に、或る特定の1フレームだけを静止画として取り出して、その画面の詳細をチェックしたりすることは、一般に困難であると考えられる。

現在、我国ではNTSC方式がテレビジョンの標準方式として採用されているが、NTSC方式のディジタル画像信号を遠隔地まで光ファイバ伝送しようとし

た時、伝送方式には大きく分けてパラレル伝送方式とシリアル伝送方式が考えられる^{(8)~(10)}。

まず、デジタル画像のパラレル伝送方式では、8ビットのパラレル画像データと、1ビットのサンプリング周波数データ ($14.32\text{ MHz} = 4 \times f_{sc}$: 色副搬送波周波数 3.58 MHz の4倍) とから成る9種類のデータをそれぞれ光ファイバで伝送すればよい^{(1) (2)}。この時には、9本の光ファイバが必要となる。この伝送方式の場合、データ伝送速度は 14.32 Mbps ($4 \times f_{sc}$) であるため、十分に低速であり、低速度のTTLやCMOS-ICなどが使用できる。また、不安定になりがちな同期検出回路を受信器側に置く必要がない。しかし、伝送線を9本用意しなければならない、不経済である。

次に、デジタル画像のシリアル伝送方式では、8ビットのシリアル画像データと、シリアル画像データを受信器側でビット単位に読み出すためのビットクロックと、シリアル画像データのフレームタイミング (8ビット構成) を与え、受信器側でシリアル画像データをPAM画像信号に変換するためのロードタイミングとの3種類のデータを伝送することが必要である。この場合には、3本の光ファイバが必要となる⁽⁷⁾。後者の伝送方式の場合、データ伝送線路として使用する光ファイバは3本でよいと、経済性は改善される。しかし、データ伝送速度がサンプリング周波数 (14.32 MHz) の8倍となり、 114 Mbps の高速クロックを使用しなければならない。このため、後者のシステムでは、必然的に使用デバイスも高速になり、高価なものとなる。

一方、NTSC方式のデジタル画像の主観評価を利用し、最小サンプリング周波数を低くし、量子化ビット数を少なく設定すれば、前述の問題を解決できる^{(9) (10)}。サンプリング周波数及び量子化ビット数を削減させて帯域を圧縮する方式は、モノクローム静止画についてT. S. Huangらによって実験されている^{(11) (12)}。しかし、同氏によるものはモノクロームでの静止画像について評価を与えているにすぎない。また、動画のショットについては評価の対象としていない。そこで、本研究では著者らの結果を採用することとした⁽⁹⁾。つまり、著者らの考え方に基いて画像データの帯域を圧縮すれば、画像の情報量を従来の約37%に削減できる。従って、この方式によって作られた画像データを伝送すれば、前述の2つのデジタル画像伝送方式に比べ、データ伝送速度が低速化でき、伝送線路としての光ファイバの本数も最小限に押さえることができると考えられる。一方、使用デバイスに関しても、一般に市販されているCMOSやTTLのような比較的低電力のデバイスで十分にシステムを設計することが

できると考えられる。

メタルケーブルによりアナログ画像を伝送していたシステムに、本論文で取り扱うようなデジタル画像光伝送用の小型送受信器を取り付ければ、伝送線をSM光ファイバ (single-mode optical fibers) に置き換えることができる⁽¹³⁾。これによって、アナログ画像伝送の場合のような画像品質の劣化を懸念せずに、遠隔地での映像をより鮮明に伝送することが可能となる。

本論文では、最初に、デジタル画像伝送用の簡易型光ファイバ伝送システム概念と、その有用性について記述する。続いて、画像の主観評価結果に基づいたデジタル画像の新しい伝送方式について記述する。最後に、状態監視への適応例として、レーザカッタの動作状況をリアルタイムに監視できる監視システムの例について記述する。

2. システムの概念と本研究の有用性

図1は、本システムの構成を示す系統図である。本系統図では、ビデオカメラは監視部のセンサーとして動作している。

図1. デジタル画像信号伝送システムの概略図

Fig. 1 System configuration of the video code transmission system.

本システムでは、このビデオカメラから得られたNTSC方式の画像信号を、従来よりも低いサンプリングレートと、同じく従来よりも低い階調のビット数とでデジタル化し、前述のように、従来のデジタル画像の約37%の情報量のデジタル画像を伝送する。送信器からの伝送データは、SM光ファイバを介して受信器に伝送される。受信器では、簡易なデジタルコード同期回路により容易に再生画像が得られる。なお、送信側でデジタル画像の情報量を約37%に削減できるので、監視部のセンサーとしてこのシステムを利用し、静止画を取り出したり、或いは特定対象物体のみを抽出したりして観察する場合、監視画像を一時的に記憶するための記憶媒体も、従来の約37%に

節約できる特徴がある。

従来の画像伝送システムには、前述のまえがきで述べた通りに、種々の問題がある。これらの問題を解決し、システム設計者やユーザにとって経済性や、取扱いやすさに優れ、有用性の高い画像伝送システムを実現するためには、「回路の複雑さ」、「回路規模の大きさ」、「コスト高」であるという3点を解決しなければならない。そこで、本システムでは、これら3点に着眼し、①回路の簡易化、②システムの小型化、③低コスト化を図った。

① 回路の簡易化と安定化

N T S C方式デジタル画像信号の再生画像を用いた主観評価に基づき、従来のデジタル画像に比較し、約37%の情報量でも、一般人達には違和感無く画像を認識できることがわかった⁽⁹⁾。この結果を、データ伝送に応用すれば、単位時間あたりに伝送できる画像情報量を従来の約37%に削減できる。従って、伝送システムに用いられる送受信器では、従来8ビットの構成であった単体画素を5ビットの構成に削減し、従来14.32MHzが必要であったサンプリング周波数を、8.33MHzへと低速化している。これにより、回路構成を簡易、且つ低廉にできる。

また、本システムの伝送媒体には光ファイバを用いているが、光ファイバの光源にはE L E Dを用いているため、L Dに比べて著しく簡易な回路構成で伝送機能を実現できる。通常、光ファイバの光源にはL Dが使用されているが、L Dの駆動回路には温度保証回路や過電流保護回路などが必要であり、L E Dの駆動回路のように簡易な構成ではない。このため、光ファイバ長が10km以下の場合には、L E Dの方が回路設計や扱い易さの点で優れている⁽¹⁴⁾。一方、伝送性能においては、10km以下の伝送距離であれば、L DとL E Dには差異は認められず、L E Dを使って良好な受信データ品質が得られる。この考え方は、既にデータ伝送には使用されているが、本研究ではデジタル画像の伝送に利用した⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾。

② システムの小型化

上述のように回路を簡易化することにより、回路を構成するためのデバイスの点数を従来より少なくすることができる。特筆すべき点は、伝送路の光ファイバの本数を2本としても、同軸ケーブルのようにケーブルの直径を極端に太くせずに、伝送路を構築できる点である。伝送路だけに着眼すれば、1本であることが最も理想的であるが、一本化することにより受信器側でビットクロックを再生するための同期回路が必要となり、かえって受信器の回路構成が複雑になり、部品

点数も増加してしまう問題が生じる。

③ 低コスト化

上述①②の回路の簡易化、小型化により、従来必要とされていた部品点数が削減でき、更にE C Lや高周波の水晶発振子、L D光源用駆動回路などの高価な部品が不必要になる。その結果、従来のシステムに比べ設計も容易になり、廉価な部品でシステムを構築することができる。

伝送媒体として選んだS M光ファイバは、マルチモード光ファイバ(multimode optical fiber)と比較し、伝送路中における光の減衰量が格段に低く、ほぼ0.1dB/m(光波長:1300nm)であり、より遠距離へ無中継でデータを伝送することが可能である。E L E DとS M光ファイバとを組み合わせ、比較的狭帯域の低速データ伝送に使用した事例では、ほぼ、12kmの距離へ満足にデータを伝送している⁽¹⁷⁾。

通常、S M光ファイバは、L Dと共に使用されるが、本システムのように産業現場での状態監視にデジタル画像伝送システムを使用する場合には、光ファイバの長さを10km以上にすることはほとんど考えなくてよい。一方、光ファイバ長が2~3km、或いはそれ以下の長さの場合には、マルチモード光ファイバの使用が考えられる。しかし、最近ではS M光ファイバが既設回線に布設されていることが多いため、本論文では、E L E Dの光源とS M光ファイバの組み合わせによりシステムを構成する。

3. N T S C方式に基づいた新しいデジタル画像伝送方式におけるパラメータの決定

本システムでは、広帯域伝送媒体としての光ファイバを専用線路として使用している。従って、無線伝送系を伝送媒体として使用した場合のような帯域制限は存在しない。しかし、回路構成の簡易性、大きさ、経済性の観点からデジタル画像コード送受信器を見ると、送受信器を簡易化、小型軽量化、低コスト化するためには、前述のように、帯域圧縮が必要不可欠である。そこで、本システムでは、主観評価により得られた帯域圧縮の結果を伝送に利用することにした⁽⁹⁾。本伝送システムの設計上、主観評価結果については簡単に述べておく必要があると考えられるので、以下にその結果の概要を記述する。

評価では、アナログ画像を量子化するにあたり、サンプリング周波数を $2.0 \times f_{sc}$ から $8.00 \times f_{sc}$ の範囲、量子化レベルを3ビットから8ビットの範囲にそれぞれ設定した。複数の被験者がモニタ上に写さ

れた画像について、5つのカテゴリー（悪い、少し悪い、普通、少し良い、良い）に基づいて主観評価する実験を行った。試験の結果、評価結果のばらつきを考慮しても、サンプリング周波数を $2.28 \times f_{sc}$ 、量子化レベルを5ビットに設定すれば、被験者には画質が劣化して見えないという結論を得た。

前述の画像の主観評価結果より、NTSC方式のデジタル画像において、違和感なく再生画像を見ることができるパラメータの閾値は、サンプリング周波数を 8.13 MHz ($2.28 \times f_{sc}$)、量子化レベルを5ビットとしたものである。よって、これらのパラメータを考慮して伝送システムを設計した。システムの構築にあたり、データ伝送速度を 50 Mbps に選定したので、サンプリング周波数を 50 MHz の $1/6$ ($1/\text{ビット数}$)にあたる 8.33 MHz ($2.33 \times f_{sc}$)に選んだ。ここで、ビット数は量子化レベルを与える5ビットと、サンプリングされた画素単位にフレーム同期を与える1ビットとの合計6ビットとなる。データ伝送速度を 50 Mbps に設定すれば、CMOSやTTLを使用しても消費電力が小さくできるため、回路の動作速度、消費電力、発熱などが問題にならない。このため、従来方式のように消費電力の大きな電流駆動形のECLを使用する必要はない。

本システムのデジタル画像伝送に必要なサンプリング周波数、フレーム同期ビット、及び伝送速度に関するパラメータを表1に示す。

表1. NTSC方式のデジタル画像を伝送するためのパラメータ

Table 1. Parameters for digitizing NTSC video signals.

項目	パラメータ
サンプリング周波数	8.33 MHz ($2.33 \times f_{sc}$)
量子化レベル	5ビット
フレーム同期用信号	1ビット (1/0 交番)
伝送速度	49.98 MHz [$8.33 \times (5+1)$]

4. 送信器と受信器の構成

4-1. 送信器

本システムに使用しているデジタル画像コード送信器のブロック構成を図2に示す。送信器は、電磁環境の劣った産業現場や接地電位の問題になるノイズの多い現場で使用することを考慮して設計を行った。すなわち、外部からの外乱ノイズの影響をできる限り小さくするため、表面実装部品を使用するとともに、プ

リント回路基板上の配線をできる限り短くした。これによって、送信器プリント基板の大きさを $80 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ にすることができた。図3に、デジタル画像コード送信器の概観を示す。この大きさは、産業用としてはかなり小型化されていると考えられる。また、重量は約 120 g であり、十分に軽量である。

図2. デジタル画像コード送信器の系統図
Fig. 2 Schematic configuration of the transmitter.

図3. デジタル画像コード送信器の概観図
Fig. 2 Outside view of the transmitter.

デジタル画像コード送信器において、NTSC方式アナログ画像信号は、アナログ/デジタル(A/D)変換器により、 8.33 MHz ($2.33 \times f_{sc}$)のサンプリング周波数で5ビットに量子化されて、パラレルデジタル画像信号になる。前述のように、A/D変換器から出力された5ビットの画像コードと、フレーム同期を与える1ビットとの合計6ビットにより、シリアルデータを構成する。これら6ビットのシリアルデータは、電気/光(E/O)変換器で光信号に変換される。この光信号は、 50 Mbps の伝送速度を有し、SM光ファイバを通して受信器側へ伝送される。同様に、 50 MHz のビットクロックも、他の1台のE/O変換器により光信号に変換され、別のS

M光ファイバを通して受信器側へ伝送される。なお、各E/O変換器には、ELEDを使用している。

本システムでは、1本のSM光ファイバによりデジタル画像コードとフレーム同期を送り、他の1本のSM光ファイバによりビットクロックを送っている。従って、2本のSM光ファイバが使用されるが、受信器側にビットクロック再生回路を置く必要がない。一方、通常データ通信伝送システムでは、一本の光ファイバを使用し、受信されたコードからビットクロックを生成している。このような方式では、不連続なデータコードを伝送した場合、同期の確立に数msの時間を要することがまれではない。しかし、システムの対象が産業用であることを考慮し、ビットクロックを送ることにより同期回路を安定化するとともに、ビットクロックにおける同期確立時間を不要にした。産業分野でも、光ファイバは通常、数本～数十本単位でケーブルリングされることが多いので、専用線路として2本の光ファイバを使用しても差し支えないと考えられる。そこで、本システムではビットクロックを専用線路により送ることとした。

設計した送信器ユニットに5VDCを加えた時、消費電力は約1000mWであった。この消費電力であれば、他の産業用電源と共用してもトラブルは発生しないと考えられる。

4-2. 受信器

本システムに使用しているデジタル画像コード受信器のブロック構成を図4に示す。受信器も、送信器と同様に表面実装部品を使用するとともに、プリント回路基板上の配線をできる限り短くした。これによって大きさは55mm×120mm、重量は約100gにすることができた。図5に、デジタル画像コード受信器の概観を示す。

デジタル画像コード受信器において、受信器に入力された光信号は、光/電気(O/E)変換器により電気信号に変換される。デジタル画像コード受信器のデータフレーム同期検出回路を用いて、O/E変換器から得られた電気信号から、1と0とが交互に現れるフレームビットを探し出す。これにより、6ビットより構成されている画素単位のフレームのタイミングを検出できる。フレームタイミングを使って得られた5ビットのデジタル画像信号は、デジタル/アナログ(D/A)変換器を介してアナログ画像信号へと変換される。

受信器の回路は、特殊なモジュール部品を使わずに市販の廉価な部品を使い、小型軽量に実現できている。受信器ユニットに5VDCを加えた時、消費電力は約800mWであった。

図4. デジタル画像コード受信器の系統図
Fig. 4 Schematic configuration of the receiver.

図5. デジタル画像コード受信器の概観図
Fig. 5 Outside view of the receiver.

4-2-1. データフレームの同期手法

画像伝送に限らず、シリアルデータ伝送において、受信側で送信側のタイミングと同期を確立し、維持することは非常に重要なことである。本システムでは、ビットクロックを専用線路で送信器から受信器に送っているため、ビットクロックの同期を確立する必要はない。しかし、受信器では画素を検出するため、5ビットの画素と1ビットのフレーム同期信号により成るフレームを抽出しなければならない。ビットクロックの同期が確立していれば、フレーム同期は比較的単純な同期検出回路で容易に検出できる。

本システムの場合、受信器で受信されたシリアル画像コードは、D/A変換器を介してアナログ画像信号に変換され、アナログ画像として再生される。この際、D/A変換器には同期パルスを入力する必要がある。このため、送信器から伝送されるデータフレームに受信器を同期確立させておく必要がある。つまり、シリ

アル画像データの各フレームにおいて、1ビット目から5ビット目の各デジタルコードが、D/A変換器入力の最下位ビットから最上位ビットに、それぞれ合致しなければ再生画像が得られない。

本受信器において、データフレームの同期を確立するために、①フレーム選択回路と②フレームビット検出回路を使用している。これらの回路から成る同期回路については、あまり文献等には紹介されていないようなので、ここでは簡単に記述しておく。

図6にデータフレーム同期回路の系統を示す。

図6. データフレーム同期回路の系統図
Fig. 6 Block diagram of the data frame synchronization circuit.

① フレーム選択回路

フレーム選択回路は、シフトレジスタ、6入力1選択回路、及びシリアル/パラレル(S/P)変換器により構成してある。

シリアルデータと同時に送信器から伝送されてきた50MHzのビットクロックによって、受信器に入力されたデジタル画像信号は、シフトレジスタ内をシフトしている。シフトレジスタは、入力されたシリアルデータより、それぞれ1クロックから最大6クロックまで遅れた位相の異なる6種類のシリアルデータ出力、QA, QB, QC, QD, QE, QFを備えている。(図4を参照) 6入力1選択回路により、これら6種類のシリアルデータから1種類だけが選ばれる。タイミング信号発生回路で生成されたロードタイミング用クロックを用いて、S/P変換器では、6入力1選択回路で選ばれた1種類のシリアルデータをパラレルデータに変換する。

② フレームビット検出回路

フレームビット検出回路は、ラッチ、フリップフロップ、EX-NORゲート、及び2進カウンタにより構成してある。

フレーム選択回路により選択され、S/P変換器により得られたパラレルデータは、ラッチにより捕捉される。そこで、ラッチ出力の1番目のビットは、フリップフロップに入力される。ここで、EX-NORゲートはフリップフロップの入力データと出力データとを比較する。上述したように、フレームビットには1と0とが交互に現れる形式を利用しているため、フレーム同期が確立した時、ラッチの1番目のビットがフレームビットに合致していれば、EX-NORの出力は0になる。しかし、ラッチの1番目のビットにフレームビットが合致していなければ、EX-NORゲートの出力は、常に1と0とに交互に変化してしまう。

フレーム同期が確立していない時は、フレームビットの1と0との交互の変化が、2進カウンタのクロックとなって2進カウンタをカウント動作させる。2進カウンタは3ビット(A, B, C)のカウント出力を備えている。2進カウンタの3ビットの出力が6入力1選択回路の選択信号となり、6種類のシリアルデータから1種類のシリアルデータを選択する。この2進カウンタは、6まで数えると0に戻るよう設定しており、常に、6種類のシリアルデータから一つを選択できるようにしてある。この動作を続けている間に、ラッチの1番目のビットにフレームビットが合致すれば、2進カウンタが適当なカウント出力値で停止するので、それにより6入力1選択回路の選択出力も確定し、フレーム同期が確立する。

5. E/OとO/E変換器

ELEDを光源とした本システムでは、50Mbpsという低速のビットレートの実現により、E/OとO/E変換器を市販のトランジスタ等の部品を用いて容易に実現した。その回路構成と電気的特性について記述する。

図2の中に示したE/O変換器の回路構成を図7に示す。

図7. E/O変換器の回路構成
Fig. 7 Circuit configuration of the E/O converter.

TTLレベルでシリアル6ビットより成るデジタル画像コードは、トランジスタ2SC2026、2SC3652によって電流増幅される。同様に、50MHzのビットクロックも、同様のトランジスタ2SC2026、2SC3652により電流増幅される。最終段トランジスタ(2SC3652)は、ELED(OE3496G)を駆動するために使用され、通常、約100mAのコレクタ電流をオン・オフ制御できるものである。LED(OE3496G)からSM光ファイバに出力される光パワーは-15dBmであり、光波長は1300nmである。

図4の中に示したO/E変換器の回路構成を図8に示す。

図8. O/E変換器の回路構成

Fig.8 Circuit configuration of the O/E converter.

O/E変換器の最小入力光パワーは、実験の結果から-30dBmであり、-30dBm以下ではTTLレベルに到るまで増幅されない。このため、-30dBm以下では動作が不安定になる。入力光は、PIN-ホトダイオード(PIN-PD: OG3175B)で受光され、電気信号に変換される。この電気信号は、GaAs-FET(FHX04LG)と、広帯域増幅素子μPC1676とによって、TTLレベルまで増幅される。

PIN-PDの負荷に直接、広帯域増幅素子を接続する方法もあるが、ノイズが大きくなり、最低入力レベルが-20dB~-25dBまで低下してしまう。このため、本システムでは初段に低電力形GaAs-FETを使用している。

6. 実験結果とその有用性

実験では、SM光ファイバにより無中継で10kmの伝送が可能であることを確認した。しかし、最大光出力パワーが1300nmの波長で-15dBm、受光許容最小レベルが-30dBmであることから、光送受信の光パワーマージンが15dBとなり、光ファイバコネクタの接点を含んだ0.5dB/kmの損失

を仮定して計算した伝送可能長は30km以上となる。このことは、従来のメタルケーブルの能力を上回るものであり、またその実現に不可欠なE/O変換器やO/E変換器が前述した通り、簡単な回路構成で実現できることは、システム設計やメンテナンスが容易であることを示している。

50MHzのビットクロックをE/O変換器の入力端子に加え、SM光ファイバにより光信号を伝送した後、O/E変換器に加えた。図9には、E/O変換器の入力波形と、O/E変換器の出力波形とを比較して示す。本システムのE/O変換器及びO/E変換器の波形応答は、図9より3~4nsの立ち上がり時間・立ち下がり時間となることがわかった。本システムのデジタル画像コード送受信器の応答は、周波数特性がほぼ4MHz(-3dB)、微分利得が約5dB、微分位相が約5%であった。

縦軸V: 2.0V/div. 横軸H: 10ns/div.

図9. E/O変換器入力波形とO/E変換器出力波形

Fig.9 Waveforms at the input of the E/O converter and at the output of the O/E converter.

7. 状態監視システム

7-1. 高周波電磁界下での光ファイバ伝送路の高周波ノイズ低減効果

画像信号の送信器と受信器との間を同軸ケーブルによって接続するシステムでは、送受信点間の接地電位の相違により、ケーブル内にノイズ電位が発生する。同軸ケーブルを光ファイバに換えれば、このような理由によるノイズの混入は防ぐことができる。送受信点の近くに高周波発生源が存在すると、高周波電磁場によるアンテナ効果の他に、接地電位の問題が顕著になる。このような状態を調べるため、次のような実験を実施した。この実験は、金属焼入れ等に用いる工業用高周波電力発生装置の近くに設置されたモニタシステ

ムにおいて、データ伝送路の違いによってSNRがどの程度変化するかを調べたものである⁽¹⁸⁾。

周波数300kHz、出力6.3kWの高周波電力発生装置を使用した時、誘導加熱コイルから1m離れた点での電界強度は87dB μ であった。高周波電力発生装置と誘導加熱コイルを取り巻いて、同軸ケーブル、及び光ファイバをそれぞれ伝送路として設置し、伝送路の両端にFM送受信器を接続した。この時、それぞれのSNRを1kHzの信号について測定した。その結果、光ファイバではSNRが変化せず、ほぼ50dBであったのに対して、同軸ケーブルでは50dBから30dBへと、20dBの劣化が認められた。FM伝送システムは、本来、外来ノイズに対して安定度が高く、若干のノイズは除去されるため、システムの性能には影響はない。しかし、劣悪な電磁環境下では、送受信点間の接地電位差が影響したり、或いは同軸ケーブルがアンテナとして効果することなどにより、ノイズを除去できない。このような状況下でも、光ファイバを伝送路として使用すればノイズ源の影響は除去できる。

このような光ファイバの高周波ノイズの低減効果の予備データにもとづいて、本研究では工業用レーザーカッタの自動切削状態のリアルタイム監視システムを構成した。

7-2. 工業用レーザーカッタの自動切削状態監視

高周波雑音のデータ伝送路に及ぼす影響を認識した上で、工業用レーザーカッタの自動切削監視に利用した例について記述する。

図10に、工業用レーザーカッタの自動切削状態のリアルタイム監視システムの概略構成を示す。レーザーカッタは表2に示す仕様を有するものである。レーザーカッタは、ロボットにより駆動され、遠隔操作により素材を切断するものである。

図10. レーザカッタの切削状況監視システムの系統図

Fig.10 System configuration of the supervisory monitoring for automatic laser cutting.

高出力レーザを使用した切削作業において、作業者が近接してその切削状況を確認することは、非常に危険を伴う。このような条件において、離れた位置から制御できる自動切削機の切削状況を、同じく離れた位置から確認できることは、作業の安全性、及び効率性から必要不可欠である。

表2. レーザカッタの仕様

Table 2. Specifications for a laser cutter.

レーザ機能	レーザ	パルス励起Nd:YAGレーザ
	発振波長	1064nm
	最大平均出力	400W
	最大出力エネルギー	150J/P (20ms)
	最大出力ピーク	1.5kW (10ms)
	繰り返し周波数	1~300pps
光ファイバ	パルス幅	0.1~20ms
	構成	光ファイバ
	形式	G1型
	コア径	600 μ m
	NA	0.25
	最大入射エネルギー	50J
	透過率	80%
	最小曲げ半径	200mm
	最大入射パワー	200W

図11は、レーザ切削の状況をビデオカメラで近接撮影し、監視のために離れた位置で再生させた画像である。また、図12は、レーザ切削中の切削機のバイト部の動作状況を撮影した写真である。

図11. レーザカッタ切削の近接映像

Fig.11 Laser cutting process.

レーザ切削に大電力を使用するため、作業周囲に電磁波が発生する。このため、従来の伝送路に使用していたメタルケーブルでは電磁波の影響を受け、品質の良い監視画像を見ることが困難であった。しかし、光ファイバを使用することで、その影響を受けなくなった。また、デジタル画像を光ファイバにより伝送したため、送受信器間を直結したのと同様な、良好な画

質を得ることができた。回路構成上、サンプリング周波数を低い値に選んでいるとはいえ、産業用画像伝送によく見られるような、伝送による画質の劣化は認められないのが本システムの特色である。

前述のように、本システムをデジタルメモリに接続して、指定された画像フレームを静止画として抽出して記憶することができる。このようにして得られた静止画を観察すれば、画像から切削の問題点などを把握できる。なお、デジタル画像メモリについては、頁数の関係で省略する。

図 12. レーザカッターと切削状況

Fig.12 Automatic laser cutter and cutting process.

8. まとめ

システム設計者やユーザにとって経済性に優れ、扱いやすいデジタル画像伝送システムを構成した。本システムでは、回路の簡易化、システムの小型化、低コスト化を次のように実現した。

(1)、本システムに使用した送信器と受信器は、いずれも手のひらのサイズ(送信器: 80×100 mm、受信器: 55×120 mm)でコンパクトに構成してある。このため、他の機器や装置に取り付けやすい。また、表面実装部品を使用するとともに、配線の短縮に努めて、外乱ノイズの影響が少なくなるように配慮した。

(2)、送受信器を動作させている最大動作クロック周波数は、C-MOS デジタルデバイスで十分動作できる 50 MHz に選んだため、高速動作用の特殊なデバイスは全く使用していない。従って、経済的、且つ小型軽量であるにもかかわらず、本システムを用いることによって、十分な品質を備えたデジタル画像

信号の伝送が可能である。

(3)、NTSC方式の画像の主観評価を基盤とした最小サンプリング周波数(8.33 MHz ($2.33 \times f_{sc}$))と最小量子化レベル(5ビット)を用いることにより、低速の新しいデジタル画像伝送システムを実現し、十分に良好な品質のデジタル画像を再生することができた。また、状態監視システムにデジタル画像メモリを接続して、指定された画像フレームを記憶させることができる。この時、記憶媒体の容量を従来の約 37% に節約できる利点がある。

(4)、伝送実験においてSM光ファイバを用いることにより、レーザカッターを使用するような産業現場でも、ノイズの影響がないデジタル画像の伝送を実現できた。

(5)、画像監視システムの実現により、レーザカッターのみならず、無人動作させている産業機器やプラントの動作状態の監視、或いは銀行やスーパーなどの安全管理などに広く応用することができると考えられる。

(謝辞)

レーザカッターにおける監視画像伝送実験に御協力下さった静岡県工業技術センター、佐藤夏夫氏、神谷真好氏に感謝致します。

(平成9年4月25日受付, 同9年9月18日再受付)

【参考文献】

- (1) 釜江, 吹抜, "デジタル画像伝送", 産業図書, pp, (1987年, 昭和62年4月)。
- (2) 前田 光治, "電子通信学会, 画像通信方式", コロナ社, pp 45~55, (1986年, 昭和61年2月)。
- (3) 江藤 良純, 阿知葉 征彦, テレビジョン学会 (ITEJ), "テレビ信号のデジタル回路", pp 24~30, (1992年, 平成4年5月)。
- (4) A. Puri, "Video Coding Using the MPEG-1 Compression Standard", Digest of Society for Information Display, pp123-126, (1992)。
- (5) 浅田, 池田, 吉田 "デジタル画像信号における水平同期信号用簡易PLL回路", 電気学会全国大会, pp 4-18~4-19, (平成6年3月)。
- (6) 浅田, 池田, 吉田 "光ファイバを用いたデジタル画像伝送の簡易システム設計", 電気学会 電子・情報・システム部門, pp 439-440, (平成6年7月)。
- (7) H.Asada, H.Ikeda, and H.Yoshida, "Digital Picture Signal Transmission System Using Optical Fiber", IEEE ICECS'94, pp917-921, (December, 1994)。

- (8) H.Asada, H.Ikeda, and H.Yoshida, "Optical Fiber Picture And Supervisory Signal Transmission System", IEEE APCCAS'94, pp352- 357, (December 1994).
- (9) H.Asada et al., "Optimized Sampling And Bit Rates Of NTSC Digital Codes Based On Subjective Evaluation Of Reproduced Pictures." IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol. 42, pp768- 775, (1996).
- (10) 宮川 洋, テレビジョン学会 (I T E J), "テレビジョン信号の評価技術", コロナ社, (1986年, 昭和61年12月).
- (11) A. Rosenfelt, and A. C. KAK 原著, 長尾真 監訳, "ディジタル画像処理", 近代科学社, pp107-108, (1978年12月).
- (12) T. S. Huang et al, "Design considerations in PCM transmission of low resolution monochrome still pictures.", Proc. IEEE 55, pp331- 335, (1967).
- (13) J. C. Palais 原著, 佐藤 平八 訳, "ファイバ・光通信", 森北出版株式会社, pp105~122, (1992年, 平成4年8月).
- (14) H. Ikeda et al., "DBS Program Distribution Network in Local Area Through Optical Fiber", IEEE Trans. Consumer Electronics, pp372- 378, Vol. 37, No. 3, AUGUST (1994).
- (15) Y. Wu et al, "Optical Fiber Multifrequency SWFM Transmission System for Sending Low- Speed Parallel Data", IEEE IMTC '94, pp224 - 227, (1994).
- (16) J. Z. Li et al. "New Optical Audio and Video Signal Transmission System for Home Appliances", ICCE 92, pp 282- 283, (1992).
- (17) T. Nishio et al, "New type of Optical Fiber SSB Data Communication System Using Edge- Emmitting LEDs Coupled to Single Mode Optical Fibers.", IEEE IECON 96, pp625- 630, (1996).
- (18) 見上, 池田, 吉田 "高周波電磁界内での光ファイバ / 同軸ケーブル信号伝送システムの性能比較", 電気学会全国大会, pp4-10, (1994).

浅田 英之 (正員) 1985年東洋大学工学部電気電子工学科卒業。同年NEC静岡採用。1995年静岡大学大学院修士課程修了。現在、NEC静岡、及び静岡大学大学院博士課程に在籍中。専用線モデム、ISDN機器、LSI等の通信関連機器の設計開発を行い、そのかわり、光ファイバを用いたディジタル画像伝送システムに関する研究に従事。IEEE会員。

ナビルアブドラボウ (非会員) 1954年エジプト,

カイロ生まれ。ヘルワン大学電子・通信工学科にて1978年学士を取得後、1986年に修士を取得。1994年静岡大学大学院電子科学研究科にて博士を取得。現在、ヘルワン大学助教授。1996年7月~1998年3月まで通信放送機構外国人研究員として来日。研究分野はLEDを使用した光ファイバ高周波信号伝送、ディジタル画像の光ファイバ伝送。

池田 弘明 (正員) 1957年静岡大学工学部電子工学科卒業。同年NHK採用。1987年静岡大学教授、現在に至る。現在、LED光ファイバ伝送システム、MOS-FET RFインバータの研究に従事。工学博士。昭和57年東京都知事表彰、昭和63年オーム技術賞、平成3年高柳記念賞受賞。IEEE、電子情報学会会員。

下平 美文 (正員) 1972年3月静岡大学修士課程電子工学専攻修了、同年4月同大学助手に着任。1997年4月より同大学電気・電子工学科教授に就任、現在に至る。液晶ディスプレイの画像品質評価方式、視覚における運動情報処理に関する研究に従事する。電気学会、電子情報通信学会、映像情報メディア学会、神経回路学会、SID会員。

吉田 博文 (非会員) 1968年名古屋高等無線電信学校電波通信科卒業。同年静岡大学工学部電子工学科文部技官、現在に至る。高周波大電力応用、光ファイバ通信、及び光技術応用の研究に従事。電子情報通信学会会員。

48