

無瞬断映像伝送のための映像障害検出方式

川田 亮一 浜田 高宏 松本 修一

KDD研究所

〒 356-8502 埼玉県上福岡市大原 2-1-15

Tel:0492-78-7427

E-mail:kawada@kddlabs.co.jp

Abstract

従来より、映像伝送における伝送路・装置の2重化系では、現用系の障害時における予備系への切替えの間、出力映像に断が生じるという問題がある。これを防ぐためには、映像障害発生時には瞬時にこれを検出し自動切替を行なう必要がある。そこで、本稿では、2系統間/系統内の画質特徴量の比較に基づき高精度自動映像障害検出方式を提案する。本方式では、障害の有無の判定は、系統間の画質差に基づき行なわれるため、符号化ノイズの差異などに影響されにくい。また、障害系統判定は、デジタル伝送エラーの特徴を利用し、画面内の正常領域と破綻領域の画質差を用いて行なわれるため、高精度な判定が可能である。本検討により、高信頼度の映像伝送網実現の一助としたい。

映像伝送、二重化、伝送障害、自動検出、無瞬断、画質特徴量

A scheme of video failure detection for failure-free video transmission

Ryoichi KAWADA Takahiro HAMADA Shuichi MATSUMOTO
KDD R&D Laboratories

2-1-15 Ohara, Kamifukuoka, Saitama 356-8502, Japan

Tel:+81-492-78-7427

E-mail:kawada@avc.kddlabs.co.jp

Abstract

The conventional duplicate transmission system, such as TV contribution links, has a potential problem that, when transmission failure occurs in the regular link, the output video signal is disrupted during the time for switching to the reserved link. The authors, therefore, propose a video evaluation scheme using two video signals in a duplicate transmission system, in order to detect video failure in real time automatically in the viewpoint of realizing failure-free transmission. In this scheme, comparison between image features of duplicate links / inside each link leads to accurate failure detection / identification of the disrupted link.

video transmission, duplication, transmission failure, automatic detection, failure-free, image features

1 まえがき

従来より、映像の素材伝送などにおいては、信頼性の観点から、伝送路やコーデックなどの装置の2重化が行なわれている。

しかしながら、この2重化系においても、現用系の障害時に予備系に切替える間は、出力映像が断となるという問題点がある。これを防止する無瞬断化手法の開発が、サービス品質向上の観点から、望まれている。

近年、ATM 伝送路網における2重化系の無瞬断化手法[1]や、伝送路符号化を複数経路にまたがって行なうことによる耐障害方式[2]が提案されている。しかし、これらの方式は、伝送路への出入口では信号が1系統であることを前提としているため、その外側の伝送装置類が故障した場合には対応できない。

伝送障害は、伝送路のみで発生するとは限らないため、トータルでの無瞬断化を達成するには、伝送最終段階である受信映像の比較・監視による無瞬断切替の実現が重要となる。

本稿では、これを目的とし、2系統の伝送映像から、実時間で障害の有無を検出するとともに障害系統の判定を行なう方式を提案する。

2 検討の対象

本検討では、図1のように、伝送路・装置を含むトータルでの2重化伝送を想定している。従って、検討の対象としては、次のように考えることができる。

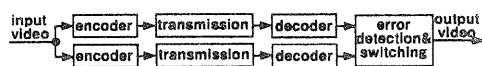


図1: 伝送路・装置の2重化系

2.1 障害の有無の検出

まず、2系統の映像のいずれかに障害が発生したことを検知する「障害検出」方法について考える。

もし、2系統の映像が信号的に同一であるという条件があれば、単純に比較し、異なってい

れば、いずれかの系統で障害が発生したことを検知できる。

しかしながら、図1のようにコーデックも含め2重化されている場合には、2系統の映像の内容は同じでも、符号化ノイズの違いにより、信号的には異なっていることが一般的といえる。従って、2信号の単純比較により異なっても、障害発生とは限らない。

単なる符号化ノイズの違いを障害として誤検出することは、実際の運用上において、警報の誤発生という不都合を生じる。

そこで本検討における障害検出方式の目標としては、(1)符号化ノイズの違いによる障害誤検出を起こさないとともに、(2)本当の障害は正確に捉えることとなる。この2点は、本方式が2系統の比較に基づく以上、トレードオフの関係にあり、これらなるべく両立させる方式が優れていることになる。

2.2 障害系統の判定

2重化伝送において、いずれかの系統に障害があると判明している時に、受信映像だけからどちらの系統が障害かを判定する場合について考える。

本検討では、今後ますます普遍化すると考えられるデジタル伝送を、対象とすることとする。デジタル伝送エラー障害には、空間的・時間的に、正常部/障害部が局在するという一般的特徴がある。

特に、MPEG-2に代表されるブロックベースの映像圧縮符号化においては、伝送エラー率の増大と共に、画像中の破綻箇所がブロック状に広がっていく。

本検討では、この「画像中に正常領域と破綻領域が混在するタイプの映像障害」を障害系統判定方式の検討の対象とする。

なお、伝送装置の中には、入力信号の同期が外れたり伝送路誤りを(誤り訂正符号により)検出すると、出力映像をフリーズしたり黒信号

に切替えるものもある。この場合には、判定のために、(1) その装置からの警報信号を利用したり、(2) 片系統だけのフリーズやブラック化の検出を行なうなどの処理を追加する必要があるが、本稿では扱わないこととする。

3 提案方式

上記の点に鑑み、2系統の受信映像からの障害の有無の検出および障害系統の判定方式として、以下に詳述する「系統間/系統内の画質特徴量差分比較方式」を提案する。

3.1 系統間画質特徴量差による障害検出

まず障害の有無の検出方式を提案する。

単なる符号化ノイズの差異を障害と誤検出することなく、伝送エラー特有の画質劣化を正確に検知するためには、ノイズなどに影響を受けにくい大局的な画質特徴量を利用すれば良い。そこで、次のように、系統間の画質特徴量の差分値の大小を障害検出の規範とする方式を提案する(図2)。

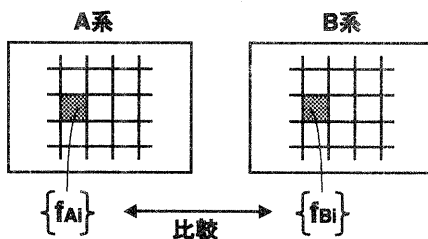


図2: 系統間の特徴量の比較

- (1) 16x16などのブロック単位に処理する。ブロック位置を p で表す。
- (2) 各系統A, Bで、ブロック内の画質特徴量 $\{f_{Ai}(p)\}, \{f_{Bi}(p)\}$ ($i = 1, \dots, N$)を計算する。ここに N は使用する特徴量の数を表す。
- (3) 系統間で、いずれかの特徴量の差分値が閾値を越えた場合(すなわち $\exists i \rightarrow |f_{Ai}(p) - f_{Bi}(p)| > Th_i$)、どちらかの系統で障害が発生していると判定する。同時に、この破綻/正常情報をブロッ

ク毎に記録する。この情報は、後述する障害系統の判定時に使用される。

なお、系統間の差異を検出する方法として、画素毎の差分絶対値和をとる方法も考えられる。しかしながらこの方法では、画素毎の差分が直接評価値に反映されるため、符号化ノイズによる差異の影響を、比較的強く受けやすいと考えられる。これについては、第4章で実験を行なう。

3.2 系統内画質特徴量差による障害系統判定

3.2.1 基本方式

前節の方法で障害を検出した後、どちらの系統に障害が発生したのかを判別する。

仮に、画面全体でとった画質特徴量、例えば分散の大小を判定の規範とすると、伝送エラー率が小さく画面中の破綻領域が小さい場合には、エラーの発生は分散値を増大させる傾向になる。しかし、エラーが多くなり破綻領域が大部分を占めると、(特に破綻領域の画素値が平坦の場合に)逆に全体の分散値が小さくなることもある。これは重大な誤判定につながる。

そこで、デジタル伝送障害では破綻領域と正常領域が局在化するという一般的性質を積極的に利用する(図3)。前節の障害検出により、

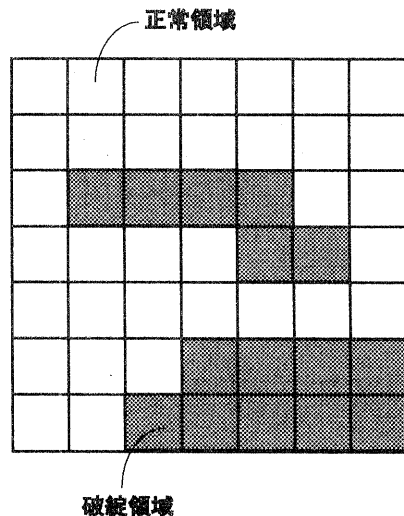


図3: 正常領域と破綻領域

画面中のどの部分が破綻しているかは既知なので、画面内の正常／破綻領域間での画質差が大きい方が、障害だと判定することにする。すなわち、以下のように、各系統内における正常／破綻領域間での画質特徴量の差分値の大きを規範とする障害系統判定方法を提案する。

- (1) 判定はフィールド毎に行なう。
- (2) 前節の方法により、画面内のどの領域が破綻しているかを検出する。この段階ではどちらの系統が障害かはまだ不明である。
- (3) 正常領域と破綻領域の画質特徴量の差 $D = \{D_i\}$ ($i = 1, \dots, N$) を各系統につき求める。具体的には、次のように、各特徴量につき、正常／破綻領域の境界線に沿った部分での差分絶対値和を求める。

画面中のブロック同士の境界線（ブロックの1辺）を、 b_j ($j = 1, \dots, 2N$) とする。 b_j をはさむ2ブロックの位置を表す関数を $g_1(b_j)$, $g_2(b_j)$ とおき（図4）、A系統での i 番目の特徴量の系統内差分を次のように計算する（B系統も同様）。

$$D_{Ai} = \sum_{b_j \in C} |f_{Ai}(g_1(b_j)) - f_{Ai}(g_2(b_j))|$$

ここに C は、正常／破綻領域の境界線の全体を表す。

- (4) $\|D\|$ の大きい方の系を障害と判定。

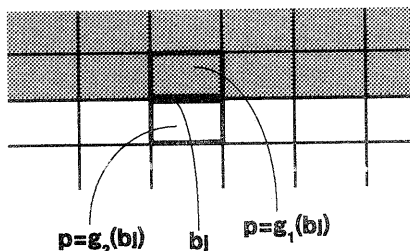


図4: 境界線をはさむブロック

本方式では、あくまで特徴量の差分（正常領域／破綻領域間の）にのみ注目しているため、エラー率によらず安定した判定が可能となる。

なお、正常／破綻領域の特徴量差の計算法としては、正常領域と破綻領域それぞれの特徴量を平均化し、その差分をとる、という方法も考えられる。すなわち、A系統について書くと $D_{Ai} = |\frac{1}{n_o} \sum_{p \in O} f_{Ai}(p) - \frac{1}{n_x} \sum_{p \in X} f_{Ai}(p)|$ とする方法である。ここに O, X はそれぞれ正常領域、破綻領域を表し、 n_o, n_x はそれぞれのブロック数とした。しかしながら、特に正常領域が大きくかつ画質特徴が局所毎に大きく異なっているような場合、特徴量の平均化により、その局所的性質が打ち消されてしまう。一方、提案方式のようにすれば、境界に沿った各部毎の特徴量の差を加算していくことになるので、領域間の画質差をより強く反映する規範が得られることになるため、こちらを採用した。

3.2.2 多数決処理

上記の基本方式においては、特徴量の数や種類を最適化すれば、判定の正当率を上げていくことができる。しかし、それでも誤判定はあり得るため、フィールド毎に出力される判定信号に対し、後処理として多数決処理を適用することも考えられる。

この時、多数決処理の有効性を向上するため、多数決に使用する判定信号は、次のようにして選択される有意信号のみとする。

$$\frac{(|\|D_A\|| - |\|D_B\||)}{|\|D_A\|| + |\|D_B\||} > TH \rightarrow \text{判定は有意}$$

すなわち、系統内特徴量差分の、A系とB系での差が小さい時は、その判定信号は信頼度が小さいと考え非有意とし、多数決には寄与しないようにする。

4 計算機シミュレーション実験

前章で提案した各方式の有効性を確認するため、以下の実験を行なう。

4.1 障害検出方式の検証

3.1で述べた提案方式に対し、比較方式として、系統間の差分絶対値（ブロック内の平均）を規範とする検出方式(A)を用いる。提案

方式で用いる特徴量としては、(B)輝度の平均(C)輝度の平均と分散(計2個)(D)輝度・色差の平均と分散(計6個)の3通りで実行する。検出閾値をパラメータとして、ノイズによる誤検出率(符号化ノイズを障害と誤検出する割合)と、伝送エラーの検出漏れによるSN低下の関係を図5に示す。なお、提案方式では閾値が特徴量数分だけあるが、次のようにして1個の閾値 Th_0 を各閾値 Th_1, \dots, Th_N に変換した。すなわち、無障害で符号化ノイズの差異のみの2系統の画像を用いた予備実験により、各特徴量の系統間差分値の分布の標準偏差 σ_i をもとめ、 Th_0 を σ_i で重み付けしたものを Th_i とした($Th_i = \sigma_i Th_0$)。

ノイズによる誤検出率は、10Mbpsの符号化を独立に行なった2系統間で測定した(ブロック毎の検出)。伝送エラーの検出は、エラー率 2×10^{-4} での復号画像と正常復号画像間で行なった。各ブロック毎に、エラーが検出された場合には正常系統を、検出されなかった場合には障害系統のブロックを出力し、原画とのSNを測定した上で、検出漏れなし(理想)の場合のSNからの低下度を求めた。障害系統用のテスト画像としては、ITU-T標準動画像などを含む30種類の各種動画像のMPEG-2ビットストリーム(10Mbps, 7フレーム分)に対し、ランダム誤りを付加したうえでデコードした画像計210フレームを用いた(正常系統の画像は誤り付加を行わず作成)。また、評価尺度としてSNを採用した理由は、個々のブロックの検出漏れを、画像劣化への寄与の度合で重み付けして評価するためである。

図5を見ると、比較方式(A)に比べ提案方式(C)(D)は、閾値全体に渡って特性が良いことがわかる。提案方式(B)では、誤検出の大きい閾値では(A)と同等であるが、誤検出が低い閾値になるほど、より良い特性を示す。例えば方式(A)では、符号化ノイズの20%を伝送エラーとして誤検出する閾値にすると、実際の伝

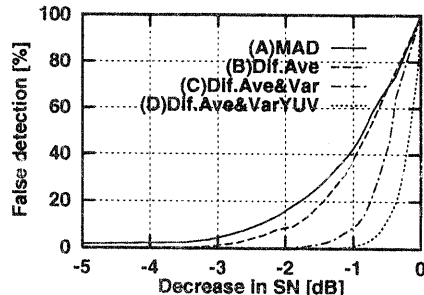


図5: 検出漏れによるSN低下と誤検出率の関係

送エラー時にその検出漏れにより約1.8dBのSN低下を起こすことがわかる。一方、提案方式(B)では、同じ誤検出率となる閾値でのSN低下が約1.4dBであり、方式(A)の約4分の3に抑えることができる。この時(C)(D)ではそれぞれ約0.7dB, 0.4dBと、特徴量数が増えるほど更に良い特性となる。

次に、ノイズによる誤検出が0%となる閾値での、エラー検出漏れによるSN低下度を、各方式毎に表1に示す。仮に全てのエラーを検出漏れした場合の最悪値も併記した。表1を見る

表1: ノイズ誤検出なしの場合のエラー検出漏れによるSN低下

方式	最悪値	(A)	(B)	(C)	(D)
SN低下[dB]	-18.8	-8.7	-3.4	-1.9	-1.2

と、差分絶対値和(SAD)を規範とする(A)は、提案方式(B)に比べても2倍以上、提案方式(D)との比較では約8倍のSN低下となる。SADを使用すると、ノイズによる誤検出を避けることが困難になるといえる。一方、提案方式では、使用特徴量の数・種類の最適化により、更なる特性向上が可能である。

4.2 障害系統判定方式の検証

3.2で述べた提案方式に対し、比較方式として、画面全体の分散の大小を規範とする判定方式(A)を用いる。提案方式の実験で用いる特徴量としては、(B)輝度の平均値(C)輝度と色差の平均値(計3個)の2通りで実行する。さら

に、提案方式(D)として、(C)の特微量を使用した上で判定信号の多数決処理を加えたものを実験する。

伝送エラー率を変化させた時の、誤判定による出力画像のSNの低下度を表2に示す。テスト画像としては、前節で用いたものと同じMPEG-2ビットストリームに対し、ランダム誤りを付与したうえでデコードした画像を、各誤り率毎に作成して使用した。表には、仮に判定がすべて誤りである場合の最悪値も示した。なお、表中の評価尺度としてSNを採用した理由は、前節と同様、個々の誤判定を画質劣化への寄与により重み付けして評価するためである。

また、本実験では、正常/破綻領域間画質差 $\|D\|$ の計算方法は、下記のように行なった。

$$\|D\| = \max_{1 \leq i \leq N} \{w_i D_i\}$$

ここに、 w_i ($i = 1, \dots, N$)は、各画質特微量毎の重みであり、決定方法は次の通りである。すなわち、無障害画像を用いた予備実験により、各特微量につき隣接ブロック間での差分値の分布を求め、その標準偏差の逆数を、その特微量に対応する重み w_i とした。

表2を見ると、画面全体での分散を用いた方式(A)では、エラーが増大するにつれ、誤判定によりSNが急激に低下する。この理由は3.2で述べた通りである。

破綻/正常領域の特微量差分に基づく提案法(B)(C)では、エラーの多少によらず、誤判定が少ない。特微量数の多い(C)の方が誤判定がより少なく、SN低下は0.1dB未満である。

このように、本提案方式では、前節と同様、特微量の追加・最適化により、更なる特性向上が可能である。

また、(D)の結果より、多数決処理を加えることにより、判定精度を上げロバスト性の高いシステム化が可能となることがわかる。

表 2: 障害系統の誤判定によるSN低下 [dB]

エラー率	2×10^{-6}	2×10^{-5}	2×10^{-4}
最悪値	-1.57	-8.06	-18.83
比較方式(A)	-0.04	-0.36	-1.22
提案方式(B)	-0.07	-0.34	-0.43
提案方式(C)	-0.02	-0.06	-0.08
提案方式(D)	-0.01	0	0

5 むすび

2系統の受信映像より自動的に映像障害を検出する方式として、2系統間/系統内の画質特微量の比較に基づく方式を提案した。

本方式では、障害の有無の検出のために、2系統間の画質特微量の差分を規範とするため、ノイズの差異などによる誤検出を抑えることができる。また、障害系統判定のために、画面内の正常/破綻領域間の特微量の差異の大きさを規範とするため、エラーの多少によらない安定した判定性能が得られる。

本方式の枠組のもとで、使用する画質特微量の種類や数を最適化し、さらに映像のフリーズ検出などを加えることにより、実用システム化が期待できる。

本検討により、高信頼度の映像伝送網実現の一助としたい。

日頃より熱心な御指導を賜わる KDD 研究所の村谷所長と鈴木・山本両副所長に深謝いたします。

参考文献

- [1] 藤原ほか：“高品質映像伝送に向けた ATM 無中断方式の検討”，信学技報，CS97-194(Mar.1998)
- [2] E. Ayanoglu, et al.: “Diversity Coding for Transparent Self-Healing and Fault-Tolerant Communication Networks”，IEEE Trans. COM-41, 11, pp.1677-1686 (Nov.1993)