

学位論文

テレビ映像伝送の高品質化、高信頼化
及び高能率化に関する研究

平成 16 年 8 月

川田 亮一

内容梗概

本論文は、テレビ中継の高画質化や高信頼化に関する研究成果を取り纏めたものである。

デジタル映像符号化の国際標準 MPEG-2 の確立により、テレビ中継伝送のデジタル化が急速に普遍化してきた。と同時に、映像中継の機会も増大、伝送の多チャンネル化が進展し、特にテレビ放送において国際中継映像がごく普通に見られるようになってきた。

それに伴い、従来、国際アナログ衛星伝送のように、ある程度の伝送劣化はやむなしとされていた時代は終焉を迎え、国際中継であっても高画質、高信頼が当然のものとして要求されるようになった。国際中継の画質をトータルで決める要因としては、圧縮符号化のみならず、テレビ方式の変換がそれ以上に大きく影響を及ぼす。また、伝送の信頼性の要因としては、回線障害時の予備系への切替タイミング（完全冗長2重化構成をとっていることが多い）や、正確な伝送画質監視等の、運用制御が大きくかかわってくる。

すなわち、デジタルテレビ伝送の研究開発対象としては、現世代の圧縮符号化方式は、MPEG-2 により一段落つき、いまはその他の要因も含めたトータルでの伝送品質の向上、管理を目指す時代に入っているといえる。

その一方で、その MPEG-2 の要素となっている各技術は、一世代前の枯れた技術ということができる。そこで、次世代において予想される更なる高能率圧縮符号化への要求に答えるためには、基本となる方式を研究開発しておくことが重要となる。

本論文に示す一連の研究は、これに基づき行われた。以下が、その具体的目的と成果である。

まず、国際テレビ中継伝送路のデジタル高品質化により一層目立つようになってきた、テレビ方式変換による劣化の改善である。特にフレーム数変換の伴うヨーロッパ (625 / 50) と日米 (525 / 60) 間での方式変換では、画像の動きを正確に推定し、動き補正フレーム内挿を行う必要がある。本研究では、この動き推定の誤りを大幅に軽減することに成功した。これにより変換画質が大きく改善され、国際間のテレビ中継伝送及び番組交換の高品質化が達成できた。

次の目的は、完全冗長2重化テレビ回線の高能率化と無瞬断化である。高能率化とは、通常時には無駄となっている予備系の伝送路も有効活用し、高画質化に貢献することである。また無瞬断化とは、従来、障害発生時に人手で行われていた予備系への切替を、画像処理により自動化し、一瞬でも障害映像が受信局へ伝送されないようにすることである。本研究では、高能率無瞬断映像伝送システムの開発により、2重化テレビ伝送回線の使用効率の向上とともに、切替時の無瞬断化を世界で初めて実用化し、高信頼化に大きく貢献した。特に既存の伝送装置構成を変えずにこれを実現することができたため、低コスト化に大きく役立った。

第3の目的は、デジタル伝送映像の遠隔監視のための基本方式を確立し、運用の高度化、高信頼化へとつなげることである。デジタル伝送においては、アナログ時代に確立されていた既存方式が使用できず、新たな方式を考案する必要がある。本研究では、伝送映像品質の遠隔自動監視につながる画期的原理として、スペクトル拡散と直交変換係数抽出に基づく高精度遠隔 P S N R 推定方式を考案、開発した。

さらに、次世代映像伝送を視野に入れた研究目的として、すでに確立した現世代の MPEG に代表されるブロックベース符号化に対し、さらなる高能率画像圧縮伝送のための基本方式を開発することがある。ここでは特に領域分割符号化に着目し、領域分割を、レート歪みの観点から最適化する方式を考案した。従来領域分割符号化では絵柄により符号化効率の低下する点が問題であった。しかし、本方式により、絵柄によらず、現世代のブロックベース符号化方式よりも効率の良い次世代方式の基礎を確立することが出来た。この新符号化方式と上記3研究成果を組み合わせれば、なお一層の高能率・高信頼度・高画質映像伝送が可能となるといえる。

本研究成果が、今後の国際テレビ中継の更なる普遍化と、それによる世界の人々の相互理解進展への一助となれば幸いである。

目次

1	序論	1
1.1	本研究の背景	1
1.2	本研究の目的と論文の構成	3
2	テレビ伝送のデジタル化での技術的要請と本研究の対象	7
3	動き補正テレビ方式変換の改善	13
3.1	まえがき	13
3.2	動き補正 TV 方式変換	14
3.2.1	一般的構成	14
3.2.2	従来の問題点	14
3.3	動き推定方式の改善	15
3.3.1	動き推定用前処理フィルタの改善	16
3.3.2	反復勾配法の高精度化	18
3.3.3	検出動ベクトル用後処理フィルタの改善	21
3.4	新 TV 方式変換装置の開発	23
3.4.1	全体構成	23
3.4.2	総合評価	25
3.5	本章のまとめ	28
4	フラットマルチスケラブル高能率高信頼度映像伝送方式	30
4.1	まえがき	30
4.2	複数システムによる伝送法の現状と問題点	30
4.3	各システムの符号化ノイズ	32
4.4	フラットマルチスケラブル映像伝送方式	33
4.4.1	相補的サンプリング法による高能率化	33
4.4.2	符号化ノイズ残留相関法による客観画質評価	36
4.5	計算機シミュレーション実験	37
4.5.1	相補的サンプリング法の検証	37
4.5.2	符号化ノイズ残留相関法による客観画質評価の検証	40
4.6	本章のまとめ	44
5	高能率無瞬断映像伝送システム	48
5.1	まえがき	48
5.2	画質監視・評価方式の現状	49
5.3	目的実現の枠組と新要素技術	50

5.3.1	高能率化実現方式	50
5.3.2	画像障害検出方式	51
5.3.3	両系統正常時の受信画質評価方式	59
5.4	高能率無瞬断映像伝送システムの構成	60
5.4.1	画面シフト・逆シフト部	61
5.4.2	映像遅延調整部	62
5.4.3	画像障害検出部	62
5.4.4	2系統の受信映像の平均化部	62
5.4.5	画質評価部	63
5.5	高能率無瞬断映像伝送システムの障害検出性能	63
5.6	実際の運用例	66
5.7	本章のまとめ	66
6	スペクトル拡散と直交変換係数抽出による高精度遠隔映像 PSNR 推定方式	69
6.1	まえがき	69
6.2	課題と検討の対象	70
6.3	スペクトル拡散と直交係数抽出による PSNR 推定方式	71
6.3.1	直交変換係数の比較による MSE の推定	71
6.3.2	推定精度に関する検討	71
6.3.3	提案方式 1(SSWHT-RR)	72
6.3.4	劣化の分布とスペクトル拡散の効果について	72
6.3.5	提案方式 2(SSSWHT-RR)	73
6.3.6	係数の表現ビット精度に関する検討	74
6.3.7	ブロックサイズと推定誤差に関する検討	76
6.4	計算機シミュレーション実験	77
6.4.1	表現ビット数と推定精度	77
6.4.2	符号化劣化の推定精度	78
6.4.3	伝送路誤りによる劣化の推定精度	80
6.4.4	相関係数の比較	80
6.4.5	ブロックサイズに関する比較	81
6.5	遠隔画質監視システムの試作	82
6.6	本章のまとめ	83
7	動画像符号化のための可変形状領域分割動き推定方式	87
7.1	まえがき	87
7.2	動き補償予測のための領域分割・動き推定法	88
7.3	動的計画法に基づく領域分割・動き推定同時処理方式	88
7.3.1	発生情報量の見積もり	89
7.3.2	領域形状情報量の見積もり法	89
7.3.3	動的計画法の適用	92
7.4	計算機シミュレーション実験	94
7.4.1	計算機シミュレーションのための方式構成	94
7.4.2	実験結果と考察	97
7.5	本章のまとめ	100

8	符号化速度適応形可変形状領域分割方式	102
8.1	まえがき	102
8.2	領域分割符号化における課題	102
8.3	フレーム内 / 動き補償予測符号化へ適用可能な発生情報量最小化領域分割方式	104
8.3.1	前提	104
8.3.2	動的計画法の適用	105
8.3.3	処理過程	106
8.3.4	提案手法の特長と実画像への適用法	107
8.4	動画像符号化のための符号化速度適応型最適領域分割	108
8.4.1	理想の方式	108
8.4.2	実現のための簡略化	109
8.4.3	符号化の枠組	111
8.5	計算機シミュレーション実験	112
8.6	本章のまとめ	116
9	結論	118

第 1 章

序論

1.1 本研究の背景

テレビジョン中継，特に国際間のそれは，1963年にケネディ大統領暗殺の速報により幕を開け，続く1964年の東京オリンピックの外国向け中継伝送など，以来，長足の進歩を遂げてきた。

回線数も当初は1桁程度であり，放送事業者からの申し込みのたびに回線設定が行われていた。しかしその後，需要は増大し，1984年からは24時間伝送の専用線サービスも行われている。

中継手段としては，当初はアナログFM方式による衛星中継であり，周回衛星のため中継可能時間帯も限られていた。後に静止衛星が利用可能となり中継時間数は増大したが，衛星トランスポンダの帯域制限に起因するスミア(画面上の垂直エッジの横方向へのボケ)などの画質劣化が発生しがちであった。

このように国際テレビ中継では衛星中継(主にインテルサット衛星経由)がメインであったが，90年代に入り，光海底ケーブルが主役の座に踊り出ることになる。

光海底ケーブルの伝送では，SDH(Synchronous Digital Hierarchy)などのデジタル方式が特に長距離伝送では適している。従ってアナログテレビ信号を光伝送しようとするといずれにせよA/D，D/A変換を行わなければならない。この際，単にPCM伝送とすると100～1000Mbpsのオーダの容量を消費することになるため，伝送路使用効率の観点から，圧縮は必須であった。

そこで活躍したのがテレビ信号のデジタル圧縮符号化技術であった。これにより，放送事業者向けの高品質を要求される伝送であっても，SDTVで15Mbps，HDTVで30Mbps程度まで圧縮可能となった。更に，WDM(Wavelength Division Multiplexing)などによる光ケーブル伝送容量の飛躍的向上により，光海底ケーブルによるテレビ伝送回線数は急増した。衛星経由の回線も，QPSKなどのデジタル変調方式の採用により，デジタル圧縮信号を伝送するようになり，トランスポンダの帯域節約がなされるようになった。更にマイクロ波を用いた国内中継伝送路も，デジタル化することにより，高品質電話回線とテレビ回線を共存させ運用の柔軟化が可能となった。

このような流れの中，テレビのデジタル中継伝送用圧縮符号化方式として，MPEG-2(H.262)が国際勧告化[1]された。しかし，当初は，メーカー間の符号化器/復号器間での互換性の問題，すなわち，あるメーカーの符号化器より出されたTS信号(Transport Stream. MPEG-2の圧縮ビットストリーム)を別のメーカーの復号器で復号すると，ノイズが出たり，映像は出ても音声が出なかったりするなどの問題があった。

ワールドカップサッカーやオリンピックなどのイベントの国際中継時には、送信側の国の通信会社がインテルサット衛星などにテレビ信号を打ち上げ、それを他の国々で同時に受信するという形態が多い。そこで、異なるメーカー間での符号化器 / 復号器の互換性が充分に取れていなかった当初は、そうした問題の無いアナログ伝送が引き続き利用されていた。

しかしこの問題も徐々に改善され、多くのメーカー間で MPEG-2 装置の互換性が取れるようになり、世界のテレビ中継伝送のデジタル化は急速に普遍化した。また、その他の中継機材(カメラ、VTR、可搬型アンテナなど)の小型化も進み、容易に現場からのテレビ中継が可能となった結果、テレビ伝送の多チャンネル化が進展、特にテレビ放送の中で国際中継映像がごく普通に見られるようになってきた。

この国際中継の普遍化に伴い、画質への要求も国内伝送と同様、高くなってきた。実際、伝送のデジタル化に伴い、前述のようなアナログ衛星中継特有の画質劣化が無くなり、高画質伝送が可能となった。しかしながら国際伝送では、国内伝送に比べると、次のような要因が新たに伝送品質に関係してくる。

- (1) テレビ方式変換。デジタル化が進んだとはいえ、ヨーロッパ方式(625/50)と日米方式(525/60)に代表される1秒間のフレーム数の違いは、既存の番組資産の活用という点からも、少なくとも当面の間は残存する。これらの相互変換はすなわち、絵の無いところに絵を作るという技術であり、圧縮符号化劣化に比べるとはるかに大きな画質劣化が発生しうる。実際、現在では、ヨーロッパなどからのデジタル伝送における定常的な画質劣化の主要因は、この方式変換であると言える。
- (2) 長大な伝送路の信頼性。大洋に沈む光海底ケーブルは、国内伝送路に比べると、はるかに長距離となる。例えば太平洋光海底ケーブルで約1万キロであるが、国内の東京大阪間ではわずか500キロである。更に海底に沈んでいるという点で保守条件が厳しく、漁船の網にかかるなど国内回線に比べ切断の危険性ははるかに大きい。また、障害発生個所の特定及び補修にも時間がかかる。そこで、通常は伝送路を2系統用意する完全冗長2重化構成がとられることが多いが、現用系障害時に予備系へ切り替える間の伝送断時間を如何に短くするかがサービス品質上たいへん重要となる。また言うまでも無く、完全冗長2重化では通常、予備系が全く無駄になっているという使用効率低下の問題もある。
- (3) 複数の通信会社を介することによる運用性。国際中継では、複数の通信会社の回線を経由することが普通である。ヨーロッパから日本への中継の一例では、まず現地の通信会社が映像を圧縮、米国へ向けて送信する。米国内ではまた別の通信会社がこれを受信し、圧縮ビットストリームのまま伝送する場合もあれば、いったん復号し米国内伝送路を通した後、再圧縮送信する場合もある。それを日本の通信会社が受けて、太平洋を越えて日本へと伝送する。従って受信側の日本の通信会社の立場からは、他通信会社の内部が見えないため、仮に受信映像に破綻が発生していたとしても、障害発生個所とその原因を特定するのが非常に困難である。そこで重要となるのは、正確な遠隔画質監視技術の確立となる。

すなわち、研究開発の対象としては、圧縮符号化方式は MPEG-2 などにより現世代のものとしては一段落つき、いまはその他も含めたトータルでの伝送品質の向上、管理を目指す時代に入っているといえる。

一方で、その MPEG-2 で要素となっている各技術は、ブロックごとの DCT 変換、動き補償予測など、20年前にはすでに考案されており、一世代前の枯れた技術ということが出来る(だからこそ標準化が成功したとも言われる [2])。次世代においては、光ケーブル大容量回線を介した SDTV や HDTV の非圧縮伝送化の一方で、無線アクセスを介した尚一層の高画質画圧縮方式や、デジタルシネマをはじめとする超高解像度画像伝送のための圧縮方式が必要とされること

が予想される。また、信頼性確保のための伝送の冗長化では、2重化のみならず3重化が求められる場合もあり、このためには画質を確保しつつ更なる高圧縮を実現する必要がある。これらの要求に答えるためには、次世代符号化のための基本方式の研究開発が必須である。

1.2 本研究の目的と論文の構成

そこで本論文に示す一連の研究の目的は、テレビ中継における、伝送路のみならずトータルでの高画質化、高信頼化、運用の高度化、及び次世代の高効率画像符号化方式の検討とした。以下、具体的に、論文の章構成に沿って述べる。図 1.1の国際テレビ中継の模式図内に、研究対象を章番号に対応させて示した。

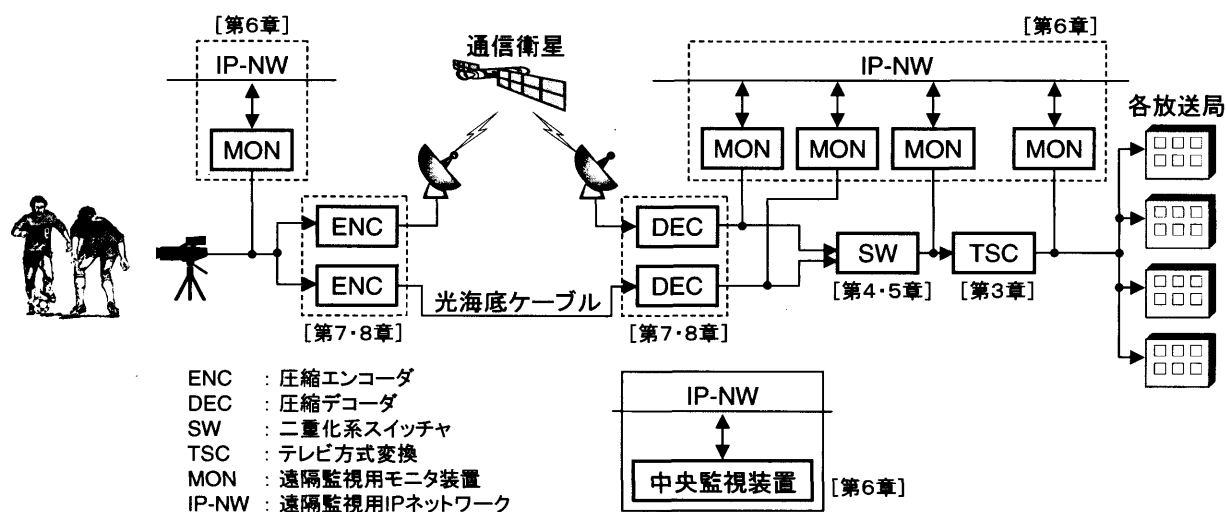


図 1.1: 国際テレビ中継の各要素と研究対象の章番号の対応

まず、第2章において、デジタルテレビ伝送での技術的要請と本研究の対象についてより詳細に説明する。

そして、第3章では、テレビ方式変換に関して、特にフレーム数変換の高画質化のための動き推定方式の改善を行う。現在、世界のテレビ方式におけるフレーム周波数としては、日米などの30Hzとヨーロッパなどの25Hzがある。従って時間軸上のフィールド位置は、日米方式の5フィールド(ヨーロッパ方式の6フィールド)に一回だけ一致するだけで、他の場合は互いにフィールドの時間的位置がずれていることになる。そのため、方式変換のためには画像の中の動きを正確に検出し、それに基づき動き補正フィールド内挿を行う必要がある。この点について、従来は次のいずれかであった。

- (1) 動き補正をまったく行わない。この場合、変換元の前2枚のフィールドを、内挿位置の比率に応じて加重加算することで、内挿フィールドを生成する。静止に近い画像ではそれで問題ないが、特にカメラのパンの場合に、ジャダーと呼ばれる動きのぎこちなさの劣化が生じる。
- (2) 動き補正は行うが、動き推定精度が低く、劣化が大きい。特にスポーツ中継においてカメラが小さなボールを追う場合など、背景の動きと前景(ボール)の動きが混在し、誤推定の結果、小さなボールが背景に引きずられるような、視覚上大きな劣化が生じることがある。カメラが追尾する物体については、前項のように動き補正無しの方がより適当に変換できるため、この誤推定は動き補正を適用する副作用として大きな問題となる。

変換画質劣化を解消する動き補正フレーム内挿を行うために、従来よりはるかに高精度な動き推定を実現することが本研究のひとつの目的であり、第3章に述べるように、その方式を実現することができた。この章では、その装置化についても説明する。

次に第4章と第5章では、高信頼化のため完全冗長2重化伝送されるテレビ中継回線を、無瞬断化、更には高能率化するシステムを提案する。従来、2重化系の受信側では、人間による映像監視が行われ、万一障害が発生した場合には、速やかに予備系への切替が行われる。しかしながら切替完了までの間は、乱れた信号が伝送されざるを得ない。更に、切替を圧縮復号器の前で行う場合、2系統の伝送路遅延差とMPEG-2のフレーム間予測構造のために、切替完了後も、1ピクチャが来るまでの最大0.5秒程度は、乱れた復号映像が出てしまう。またATMセル上での無中断切替方式はすでに提案されている[3]が、これは圧縮復号器の障害に対応不可能であるだけでなく、衛星系と光ケーブル系など異なる伝送システムを用いて組まれた2重化系への対応が実際上困難である。またすでにMPEG-2コーデックなどが広く普及・使用されており、低コスト化のためにはこのような既存の伝送装置構成をなるべく変えたくないという要求条件がある。そこで筆者らは、圧縮符号化/復号装置まで含んだ2重化系に対応可能で伝送システムに依存しない無瞬断化方式の実現のため、受信したベースバンド映像から直接、画像処理により、自動障害検出、切替を行うシステムを考案した。更に、筆者らは、このシステムに、完全冗長2重化回線の伝送効率を向上させる高能率化機能を持たせた。すなわち、完全冗長2重化回線において、予備系統は、通常時（大部分の時間を占める）には全く無駄になっている。そこで、2系統の圧縮符号化ノイズの差異を利用し、正常時には現用系と予備系の受信映像を平均化しSN比を向上させることを提案する。また、この符号化ノイズの差異を利用すれば、復号画像のSN比を現画像無しで推定可能であることも示す。まず第4章でこれら高能率化とSN比推定の方法（フラットマルチスケラブル方式）を説明した後、第5章にて障害検出も加えた実システム（高能率無瞬断映像伝送システム）開発について述べる。

第6章では、デジタル伝送映像画質の遠隔監視のための基本となる方式を提案する。従来は、人手による受信映像の監視が中心であったが、中継チャンネル数の増大のため、全回線を人手により常にチェックしつづけるということが運用コスト上困難になってきた。その一方で、伝送の高信頼化要求はますます高まっている。これに答えるためには、障害発生個所の迅速な把握や、障害発生自体をすぐに検知できるような自動遠隔画質監視システムを実現する必要がある。従来のアナログ伝送では、VITS(Vertical Interval Test Signal)の使用による自動監視の枠組みがあった。これは、アナログテレビ信号の垂直ブランキング期間内にテスト信号を埋め込み、各受信地ではその劣化度合いで伝送状態を知るというものである。しかし、デジタル伝送ではこの方法は使用することが出来ない。それは、デジタル圧縮では画像の有効画面部とブランキング部とで処理が異なるため、ブランキング部の状態が必ずしも有効画面部の状態をそのまま表すわけではないからである。そこでデジタル圧縮伝送の画質監視では、有効画面部そのものを監視する必要がある。ここでデジタル伝送の場合、伝送装置のアラームを遠隔監視するだけで充分ではないかとも思われるが、下記のようなケースがあるため、それでは実は不十分である。すなわち、前述のように他通信会社が伝送に関係する場合、その内部での障害を知ることが出来ず、得られるのは映像信号そのもののみである。また、伝送装置自体がアラームを出さずに異常動作するという場合もままあるからである。そこでやはり最終的なアプリケーションである画像そのものを監視する必要がある。そのためには、伝送リンク上の各地点から監視情報を集める必要があるが、そのとき使用する監視用回線が電話回線程度の低速であっても、如何に高精度な監視を実現するかが重要となる。そこで筆者らは、スペクトル拡散と直交変換を映像に適用してその係数を少数だけ抽出伝送する方式を考案し、この目的を達することが出来た。この方式を第

6章では提案する。

さらに第7章と第8章では、次の時代に予想されるさらなる高能率画像圧縮伝送の需要にこたえるため、従来のブロックベースの符号化にとらわれない、次世代符号化のための検討を行う。具体的には、領域分割符号化に注目し、領域分割を、レート歪みの観点から最適化する枠組みを提案する。領域分割符号化の検討は従来より行われているが、領域形状を表現するための情報量がネックとなり、符号化効率の点で絵柄が単純な画像にしか適用できないという欠点があった。また、MPEG-4にもVOP(Video Object Plane)の考え方が導入されているが、これは符号化効率という観点からではなく、映像をオブジェクトの集まりとして捉えることで、検索やCG(Computer Graphics)との融合などの応用を想定しているものと言える。本研究では、領域分割符号化は現在主流のブロックベース符号化に比べ、物体の形状に従って符号化を行うという点で大きな潜在力があると考え、あえてこの潜在力を引き出すための方式を考案することを試み、結果としてそれに成功した。発生情報量(形状、動ベクトル、テクスチャ)を考慮に入れながら領域分割を行うために動的計画法を適用、計算量を抑えつつ最適領域分割を実施することができるようになった。

最後に、第9章において、本研究を総括し今後の展望について論じる。

以上の各章のつながりを図1.2に示す。

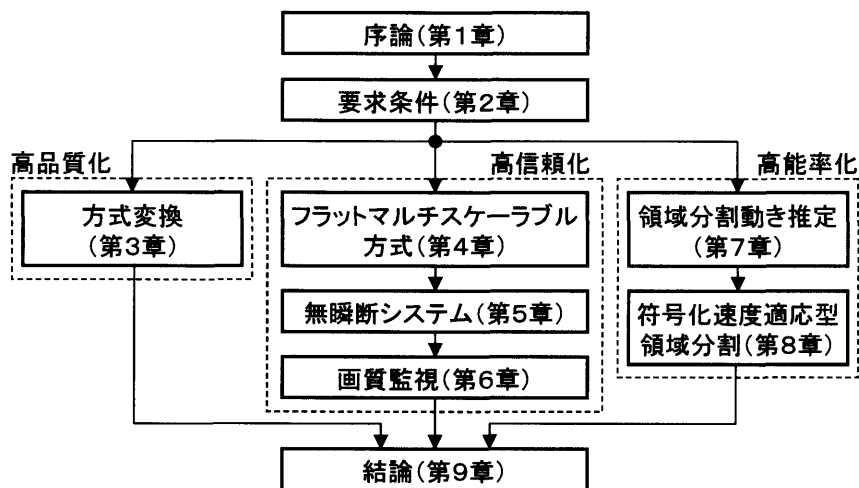


図 1.2: 本論文の各章のつながり

本章の参考文献

- [1] ITU-T Recommendation H.262: “Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video” (2000).
- [2] 安田： “JPEG・MPEG 標準化苦労話”, 映情メ誌, **53**, 4, pp. 515-519 (1999).
- [3] 藤原, 金山, 坪井： “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, pp. 13-20 (1998).

第 2 章

テレビ伝送のデジタル化での技術的要請と本研究の対象

本章では、現在のデジタルテレビ伝送の枠組みと本研究の対象について、より詳細に述べる。

図 2.1 と図 2.2 に、テレビの国際中継伝送と国内中継伝送の一例を示す。

- (1) ヨーロッパからのスポーツ中継伝送の場合 (図 2.1)。中継現場では、様々な競技の様相を同時に複数のカメラで撮影していることがある。また、その場で編集をして VTR から送信される映像もある。そこで、同時に複数回線の映像が、現場から国内中継伝送路を通過して、現地のテレビ中継センターに行く。そこから、様々な国へ、それぞれ予約されている伝送をするために、スイッチング処理が行われる。日本への衛星伝送の場合、その後、衛星中継所まで送られ、そこからインテルサットインド洋衛星を介して日本の山口衛星通信所で受信する。受信信号は国内中継路を介して通信会社のテレビ中継センターへ送られる。テレビ中継センターでは伝送予約をしている各放送事業者向けに、それぞれから要求されているチャンネルを伝送するためにスイッチング処理が行われる。そして、ローカル中継路により各放送事業者に向け伝送が行われる。放送事業者は、そのまま生中継でもしくは録画編集を加えた後、放送を行う。放送局では、たとえ生中継であっても、テロップをはじめ様々な映像加工を加えるため、ベースバンド信号処理が現状では必須である。そのため通信会社から放送事業者への受け渡しは MPEG-2 TS ではなくベースバンドで行われることが多い。

ヨーロッパから日本へ衛星中継ではなく光海底ケーブル経由で送る場合、現地テレビ中継センターでスイッチング処理の後、光海底ケーブル海岸局まで伝送される。このときにはヨーロッパ内伝送路が使用され、衛星やマイクロ波もしくは光ケーブルが使用される。海岸局から、大西洋光海底ケーブルを介して米国東海岸に伝送される。米国東海岸からは、米国内通信会社により、光伝送路もしくは衛星中継により、西海岸まで伝送され、更に海岸局に送られる。そこから太平洋光海底ケーブル 1 万キロの伝送の後、日本の海岸局を経由して通信会社のテレビセンターに送られる。その後は上記と同じである。

MPEG-2 による圧縮伝送は、現地通信会社のテレビセンターでのスイッチング後、日本までの区間で行われる他、現地スタジアムから現地テレビセンターまでの間でも長距離の場合使用されうる。この際、スイッチング処理前後でコーデックのタンデム接続 (デコード・再エンコード) となることがある。また、日本国内伝送部分においても、衛星受信の直後に一旦デコードし、国内伝送路を通すために再エンコードしなければならない場合もありうる。

テレビ方式変換については、通常受信側の国で行うことになっている。山口衛星通信所で変換後、国内伝送を行う場合と、MPEG-2 TS のまま東京のテレビセンターまで伝送し、そこで変換後、各放送局に配信する場合がある。前者は、従来国内回線がアナログ NTSC 専用であった時代の名残であり、近年は後者の割合が多くなっている。太平洋光海底ケーブル

経由の場合は後者となる。

信頼性向上のため、現地通信会社のテレビセンタから日本の通信会社のテレビセンタまでは、冗長構成がとられるのが普通である。例えば、光海底ケーブルを2経路使用する2重化や、光海底ケーブル経由線とインド洋衛星経由線での2重化が構成される。伝送路のみならず、コーデックなどの伝送装置まで含めて現用・予備構成がとられることが多い。

以上のように多くの地点を経由してくるため、最終的に放送事業者に渡る映像が万一乱れていた場合、その障害発生地点をすぐに特定することは容易ではない。そこで、日本の通信会社が海外に拠点を持っている場合には、各中継拠点には、MPEG-2 TSのままの伝送に備え、モニタ用デコーダが配置されており、各種伝送装置の遠隔状態監視やTS信号形式のチェックのみならず、実際の画像でも確認ができるようになっている。特に他国の通信会社の伝送担当区間内で障害が発生した結果ブラック信号になって受け渡されてきた場合、その下流の伝送機器は特にアラームも出さずそのまま通してしまうため、映像の中身でしか障害発生地点の確認のしようがなくなる。

- (2) 国内の地方で行われているスポーツの中継伝送の場合(図2.2)。まずスタジアムから通信会社のビルまで、ローカル伝送路を通して信号が伝送される。この際、光ケーブルが利用できる場合もあれば、従来のアナログNTSC伝送しか利用できない場合もある。現地通信会社ビルからは、MPEG-2圧縮により国内伝送路を介して、東京のテレビセンタに送られ、そこでMPEG-2デコードを行い、放送事業者へはローカル光伝送路により非圧縮デジタル信号が送られる。放送事業者は、そのまま生中継でもしくは録画編集を加えた後、放送を行う。

信頼性のため、スタジアムから現地通信会社ビル、現地通信会社ビルから東京のテレビセンタ、テレビセンタから放送事業者までのいずれの区間でも完全冗長2重化構成がとられることが多い。

この場合の映像監視ポイントとしては、現地スタジアム、現地通信会社ビル、東京テレビセンタ、放送局となる。

このように中継元から放送局を介して家庭でテレビが受信されるまでには、様々な要素が関係してくるが、このうち本研究で検討の対象とするのは、放送局までの中継部分、中でも、テレビ方式変換と、2重化系の無瞬断化、各拠点での伝送信号の遠隔監視(特にベースバンド映像の監視)についてである。さらに、次世代の映像伝送のための高能率画像圧縮方式の需要の高まりに備え、そのための基本方式検討も行う。高信頼伝送のためには2重化のみならず3重化を要求されることもあり、伝送容量の観点からも画質を保ったまま更なる高圧縮を可能とする次世代圧縮方式に対する期待は高い。

画質の客観評価方式の枠組み ここで、本論文における重要なテーマのひとつである画質監視のため、ベースバンドのデジタル映像の客観画質評価の枠組みについて、現状をまとめておく。

2000年5月にITU-Tにおいて、J.143: "User requirements for objective perceptual video quality measurements in digital cable television" [1] が勧告化された。この文書は、客観映像品質評価に関するユーザー要求条件をまとめている。その中で、客観画質評価の枠組として、次の3種類が挙げられている。

- (1) Full Reference (FR) : 原画と受信画を直接比較
- (2) No Reference (NR) : 受信画のみで評価
- (3) Reduced Reference (RR) : 原画の特徴量を抽出伝送し受信側と比較

これらの概念図を図2.3に示す。

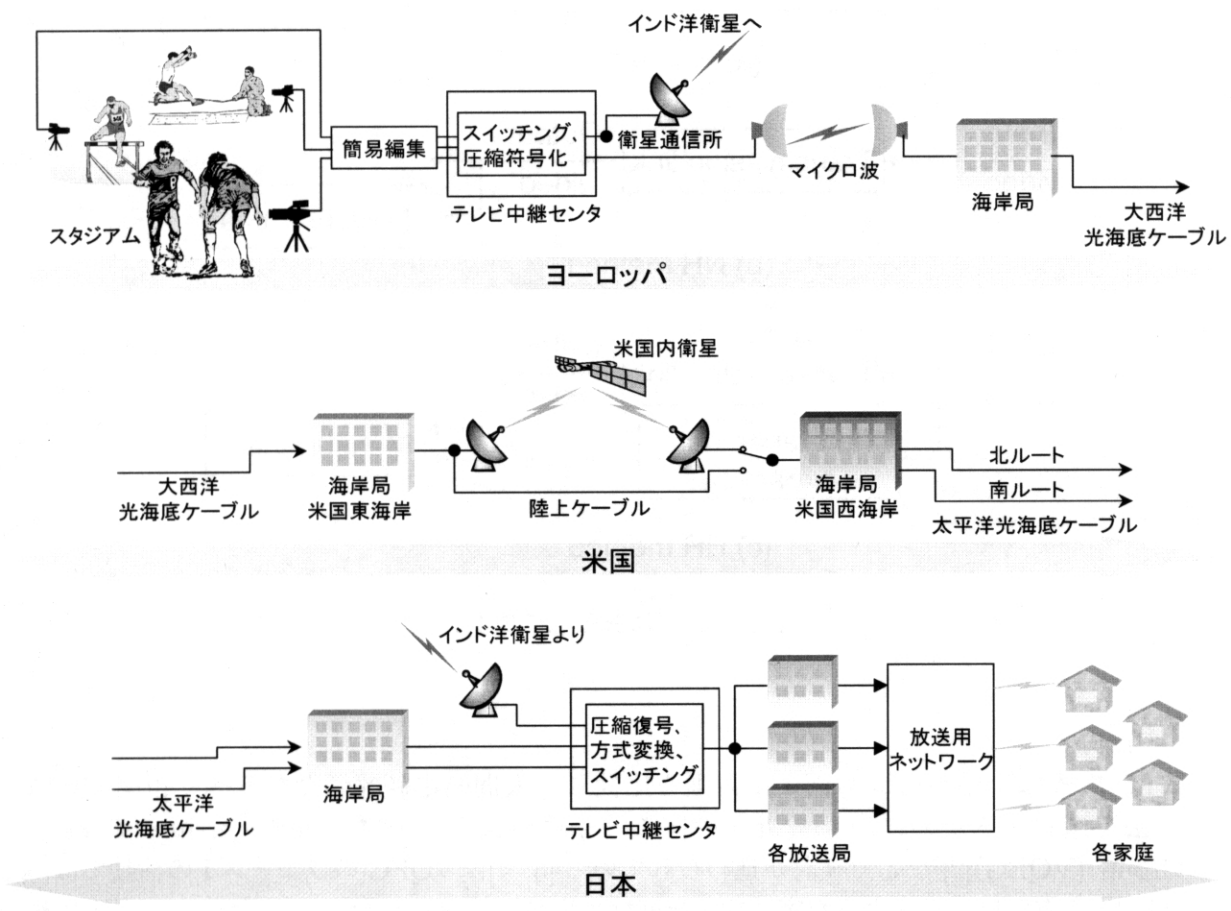


図 2.1: テレビの国際中継伝送の例

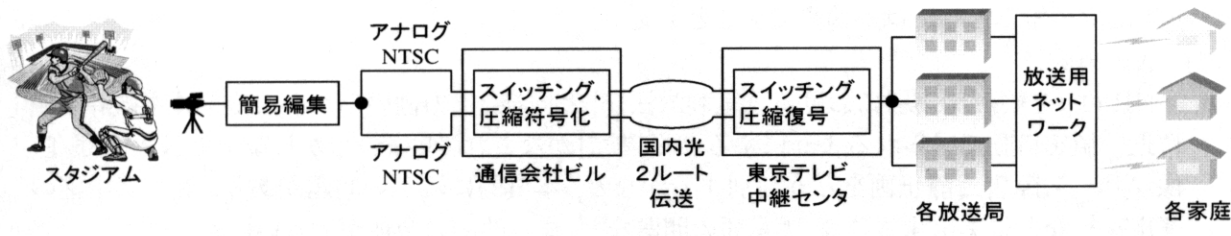


図 2.2: テレビの国内中継伝送の例

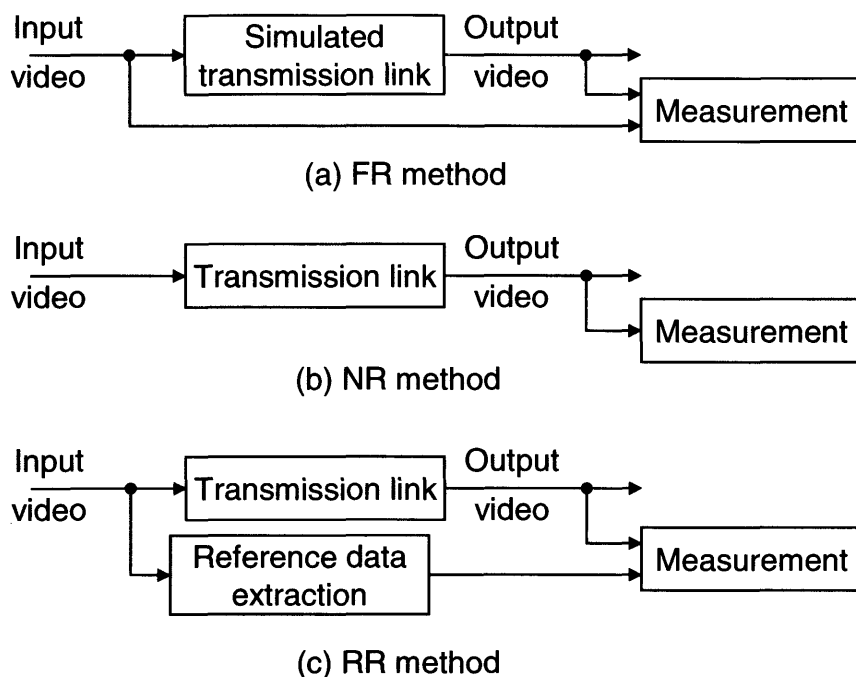


図 2.3: FR,NR,RR 法の概念図

(1) FR 方式

FR 方式は、系への入力画と出力画を比較し、人間の主観評価となるべく相関の高い手法を確立するために、画質評価の国際的な専門家グループ Video Quality Experts Group (VQEG)[2] などで検討が進められている [3, 4]. VQEG のフェーズ I の活動では、PSNR¹を有意に上回るような客観評価尺度は見出されなかった [3]. しかしフェーズ II においては、2003 年 4 月の ITU-T SG9 会合への入力文書によると、検討したうち 2 方式で PSNR を有意に上回ったとされている。

FR 方式は、2001 年 3 月に、ITU-T において J.144: “Objective perceptual video quality measurement techniques for digital cable television in the presence of a full reference” として勧告化されている [5] が、これはフェーズ I で検討された 8 方式を併記する形態を採っており、今後の研究開発の進展による改訂が期待されている (2003 年 4 月の ITU-T SG9 会合において、FR フェーズ II の上記結果を踏まえた改訂案が出されている)。

本論文で検討している実伝送においては、受信側で原画を使用することはできないため、FR 法は枠組みとしては不適當であるといえる。

(2) NR 方式

NR は、主観評価実験における一重刺激法 [6] と同様、出力画のみからなるべく主観評価値に近い値を自動で得られるようにするべく、検討がなされている。しかしながら NR には、映像フリーズ障害と静止画をどう判別するかなど、本質的に難しい問題があり、テレビ中継の運用監視などに実用するには、誤警報の問題など、まだ改善の余地が大きい。

(3) RR 方式

一方、RR は、入力画に関する特徴量などの情報を、映像本線に比べ小容量の回線を用いて、受信側に伝送し、それらと受信画像を用いて、画質評価をする枠組である [7, 8]. FR と NR

¹ $PSNR = 10 \log_{10}(255^2/MSE)$ ここに MSE は、 $b(x, y)$ を原画像 (8 ビット表現)、 $b_p(x, y)$ をその処理画像として $MSE = (1/N) \sum_{(x,y)} \{b(x, y) - b_p(x, y)\}^2$ で表される (和はシーケンス全体でとる。 N は全画素数)。

の中間の位置付けである.NR に比べて正確な判定が期待できると共に, FR のように原画そのものは必要としない. 従ってテレビ中継の運用監視などには適した形態であるといえる.

RR 方式で使用されるべき特徴量としては, 従来, 文献 [9] にある ANSI 規格のようなものが提案されている². しかしながら, 具体的な評価尺度はまだ確立しておらず, 今後の VQEG などでの検討が待たれている.

²解説は文献 [10] 参照

本章の参考文献

- [1] ITU-T Recommendation J.143: “User requirements for objective perceptual video quality measurements in digital cable television” (2000).
- [2] “The Video Quality Experts Group Web Site”, <http://www.its.bldrdoc.gov/vqeg/>.
- [3] A. M. Rohaly, et al.: “Video Quality Experts Group: Current results and future directions”, Proc. SPIE, Vol. 4067, Perth, Australia, pp. 742–753 (2000).
- [4] T. Hamada, S. Miyaji and S. Matsumoto: “Picture quality assessment system by three-layered bottom-up noise weighting considering human visual perception”, SMPTE Journal, **108**, 1, pp. 20–26 (1999).
- [5] ITU-T Recommendation J.144: “Objective perceptual video quality measurement techniques for digital cable television in the presence of a full reference” (2001).
- [6] ITU-R Recommendation BT.500-10: “Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures” (2000).
- [7] S.Olsson, M.Stropiana and J.Bañna: “Objective methods for assessment of video quality: State of the art”, IEEE Trans., **BR-43**, 4, pp. 487–495 (1997).
- [8] J.Bañna, P.Brétillon, D.Masse and A.Refik: “Quality of MPEG2 signal on a simulated digital terrestrial television”, IEEE Trans., **BR-44**, 4, pp. 381–391 (1998).
- [9] ANSI T1.801.03-1996: “Digital transport of one-way video signals—parameters for objective performance assessment” (1996).
- [10] 松本, 川田: “客観評価法の種類と特徴”, 映情メ誌, **53**, 9, pp. 1199–1205 (1999).