

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K19773

研究課題名（和文）知覚的エントロピー劣化によってストリームデータの圧縮率の制御は可能か？

研究課題名（英文）Is data compression ratio controlled by a cognitive entropy reduction?

研究代表者

山際 伸一（Yamagiwa, Shinichi）

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：10574725

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：高精細になるマルチメディアデータは急速に肥大化し、品質を維持したままのデータ伝送にはGbps級の高度な実装技術が要求されている。本研究は、マルチメディアデータという特性を鑑み、ヒトの知覚で無意識に行っている情報エントロピーの劣化を利用し、目標の圧縮率を常に維持できるデータ圧縮理論を探求した。マルチメディアデータは切れ目のないデータストリームであり、全くのバッファなしに連続的な圧縮できる方式が必要になる。本研究ではストリームでの可逆圧縮技術と知覚的なエントロピー劣化を組み合わせ、圧縮率を制御できる新たなマルチメディアデータのリアルタイム圧縮方式を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

知覚的に等価な品質を維持するが、データ量としては削減できるエントロピーの制御方法の原理を解明できたため、情報科学/認知科学/物理学にも通じる新たな真理を確立し、社会デザインや情報理論にも通じる飛躍的な科学の発展が見込まれる研究成果をもたらすことができた。

研究成果の概要（英文）：The high definition multimedia data is getting larger in these days. In order to transfer such data among information equipment with maintaining the quality, we require high performance communication techniques in Gbps order. Considering the characteristics of multimedia data, this research utilized the entropy reduction that human intuitively performs. Then, this research tried to find a new data compression mechanism that the target throughput in the communication data path was achieved stably. Because the multimedia data is a continuous data stream, we need to develop a new mechanism that continuously transfers without any buffering among the equipment. In this research, combining the cognitive entropy reduction and the stream-based data compression technique, we have developed a new realtime data compression mechanism for the multimedia data.

研究分野：計算機アーキテクチャ

キーワード：データ圧縮

1. 研究開始当初の背景

マルチメディアデータの爆発とデータ伝送路の限界を迎えているデジタル機器間のデータ交換は高速なネットワークや標準化された USB 等の有線での伝送路が用いられるが、現在、マルチメディアデータの爆発的増加に伴い、単線で 10Gbps ものスピードを要求されている。例えば、HDMI や Display Port といったコンシューマ向け映像伝送技術は、HD、4K、8K と高精細になるに従い、データ量が 4 倍ずつ増加しており、すでに現代の伝送技術の上限を超え、次世代の伝送方法を VESA 等の標準化団体が模索する状況である。伝送の前にマルチメディアデータを不可逆に圧縮する MPEG や AAC 等はエンコード時間にリアルタイム性がなく、今後のマルチメディアデータの爆発に対応できるとは言いがたい。

マルチメディアデータを精細さを失わずにリアルタイム圧縮する方法が必要である。データを可逆 (Lossless と呼ばれる) で精細さを失わない圧縮技法は ZIP 等があるが、ある塊のデータチャンクを対象にしている。マルチメディアデータは切れ目のないストリームデータであり、その高速な伝送を止められないため、全くバッファせずに、連続的に、さらに、知覚的な精細さを失わずに高速に圧縮する方法が必要になる。市場では Visual Lossless と呼ばれる視覚的に可逆な圧縮法が Display Port や HDMI など提唱されているが圧縮率 (=圧縮後/圧縮前) が最良で 66% であり 33% ほどしか削減できない。データチャンク全体のエントロピーを走査するハフマン符号化を使用して構成ビット数を削減するため、バッファによる遅延が否めず、圧縮率は常に Best Effort であり閾値を定義できない。同時に Differential PCM (DPCM) での圧縮も用いられる。しかし、知覚的なデータ近似ではなく、機械的に情報量を削減するため、音声の場合はヒトの聴覚の補完機能に頼れるが、視覚への応用は適切ではない。そこで、データストリームを連続的に扱え、与えられた圧縮率の閾値を超えないように、知覚的に可逆なデータ削減ができる新しいリアルタイム圧縮技法の開発が喫緊の課題である。

2. 研究の目的

知覚的に可逆で圧縮率を制御できるストリームデータの圧縮方法はあるのか？

そこで、本研究の目的はストリームデータを知覚的に可逆に圧縮する際に、情報エントロピーを指定された圧縮率の閾値を超えないように制御して、データ量を削減する新たな圧縮法を生み出す学術的真理を情報科学と認知科学の両面から追求し、その手法を発見することである。さらに、100Gbps といった次世代の高バンド幅を維持できるようにハード実装ができるアルゴリズムを開発する。図 1 のように、これまでのストリームデータのロスレス圧縮回路に対し、知覚的なエントロピー制御回路を組合せ、さらに、目標となる圧縮率を入力とし、その目標値を超えないように制御しながら圧縮していくハード開発が目標となる。このとき、復号化は圧縮側と同調して動作できる手法を探索する。



3. 研究の方法

本研究の目的は視聴覚の情報量を削減しながら感知しているヒトの特性をマルチメディアのデータストリーム圧縮に利用し、情報エントロピーを劣化させ、目標となる圧縮率を維持する新し

いデータ圧縮技法を確立することである。すでに開発しているストリーム向けロスレスデータ圧縮技法と知覚的なエントロピー劣化を行う機構を組入れ、目標の圧縮率を維持する2つの原理を探求する。

(原理1) ストリームの知覚的にロスレスな局所的な情報劣化によって圧縮率を改善できる

(原理2) 知覚的にロスレスなエントロピーの制御は圧縮率との相関をもつ

上記(原理1)は、例えば、ヒトの視覚は高周波を省略しており、微小な値の変化の連続は同一データが連続すると見なし、常に辞書にヒットさせればよい。原理は単純であるが人の感性に依存し、原理の明確が必要になる。エントロピーの劣化に対する圧縮率の相関を観察し、それを定式化して(原理2)を確立する。その相関を元に目標となる圧縮率を与え、知覚的なエントロピー劣化により圧縮率を制御する新しい圧縮技法を確立をめざす。

4. 研究成果

本研究では画像について、視覚的にエントロピーを劣化させる方法と、ストリームデータ圧縮を組み合わせた新たな手法を開発した。エントロピーを画像(映像)のデータストリームに対し、リアルタイムに視覚的な劣化をする手法には上述のDPCMがあるが、圧縮後のビット数で表しきれない数値となり、画素値にオーバーフローを発生させる場合があり、高精細で高画質な画像を維持できない。そこで、適応的に圧縮されたビット数を割り当てるAdaptive DPCM(ADPCM)と呼ばれる手法に注目した。ADPCMは図2に示すように、DPCMと同じく画素差分を計算していくことで画素のビット数を減らし、圧縮を行っていくが、画素値の変動が大きいとオーバーフローを起こす場合がある。それを改善する手法として、差分を計算する際のベースとなる数値を動的に変動させることで、常に圧縮後のビット数で表される差分値を維持する手法がADPCMである。この手法は、1970年代に開発されたアルゴリズムであり、音声に主に適用されてきた手法である。ADPCMをエントロピー劣化の手法として用い、リアルタイムに画像(映像)のストリームデータに適用した。

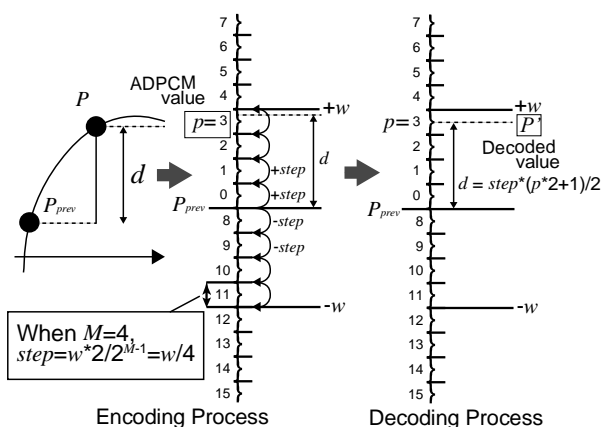


図2: ADPCMの仕組み

ADPCMでのエントロピー劣化を行うと共に、ストリームデータ圧縮技術であるASE Codingをその出力で圧縮をかけることでさらなる圧縮効果を狙ったシステムを構築し、エミュレーションによってその効果を確認した。

エミュレーションによって確認したシステムの構成を図3に示す。このシステムでは、Producer側のカメラなどで撮影された映像が各フレームごとに伝送され、そのConsumerとなるサーバやWebブラウザなどが映像データを受け取るシステムである。送信側では、上述のADPCMとASE Codingによりデータ圧縮を連続的に行い、FIFOバッファとして表現された通信用のバッファを介して、エントロピー劣化とストリームデータ圧縮技術を適用したデータがConsumer側に送信される。このとき、FIFOバッファの保存可能量にThresholdを設定し、その値を超えた場合はADPCMでの表現ビット数をMビットからM-1ビットに変更するように制御し、データ量を自動的に制御する方法を提案した。このMは画素を表すビット数以下の数値をとり、その範囲で動的に変更される仕組みである。このようなシステムは例えば、カメラからの映像をSDカードのような書き込み速度が不安定なメモリに対して送出する場合に、自動的にスループットを決定できる新しい手法である。さらに、このシステムは、ADPCMもASE Codingもハードウェア化が容易であるため、コンパクトに実装することが可能である。

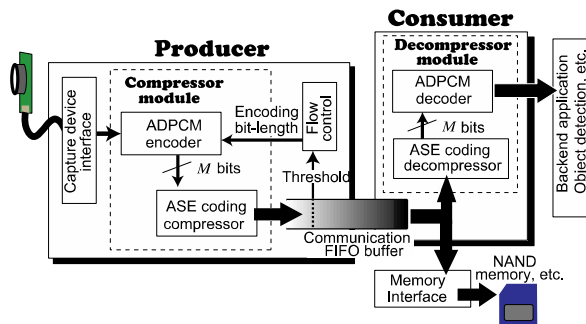


図 3 : エミュレーションにより確認したシステムの構成

以上に述べたシステムのエミュレータを開発し、図 4 と図 5 に示す映像を用いて、評価を実施した。これらの図の左側では、ADPCM によるエントロピー劣化による表現ビット数 M を 1 ビット (左図) 2 ビット (右図) に表現した場合を示している。元の画像は 8 ビットの YUV422 の画像であり、 Y 、 U 、 V のそれぞれの要素を、この M ビットで表現している。1 ビットの画像では劣化が激しく、精細さに欠けてしまう画像となってしまうが、2 ビットの画像では十分、撮影された物体が視認できる品質を維持できていることがわかる。以上のように知覚的なエントロピー劣化によって、品質を保持したままデータ容量を減らすことが出来ることを確認した。



The decoded image where $M=1$

The decoded image where $M=2$

図 4 : 実験に用いた映像の 1 フレーム (image a)



The decoded image where $M=1$

The decoded image where $M=2$

図 5 : 実験に用いた映像の 1 フレーム (image b)

上述の画像のエントロピー劣化による圧縮での品質を評価するため、ADPCM による画像の品質を PSNR と呼ばれる画素間の際を計測するための指標を使って定量的に評価した。図 5 に示すとおり、 M が 4 ビットでほぼ原画像と同じ品質を維持できていることが確認できる。また、 M が 2 ビットであっても、40 を越える PSNR 値を維持できており、高い画像品質が保てていることを示している。

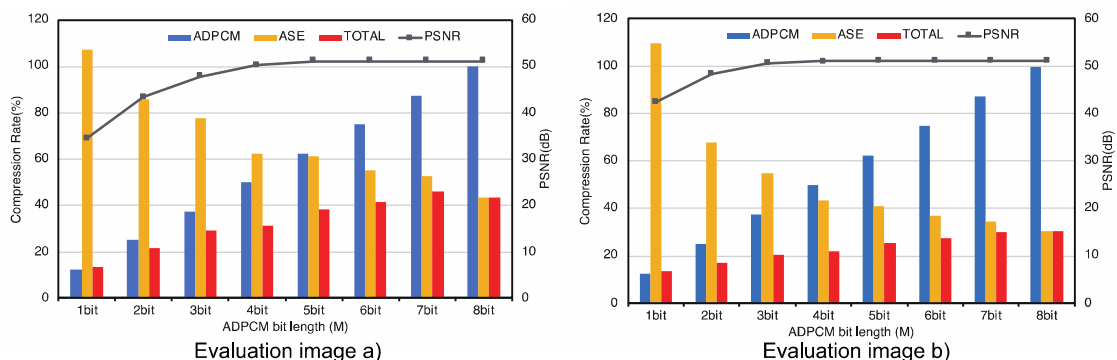


図 6 : 圧縮率と PSNR

エントロピー劣化によるデータ圧縮のあとに、ASE Coding によるストリームデータ圧縮での口

スレスス圧縮を適用することでさらに圧縮が可能であることも実証した。図 5 にその圧縮率を示す。ADPCM によるエントロピー劣化が強い場合（すなわち、M が小さい場合）であっても、ASE Coding による圧縮が効果を得ていることを確認できる。したがって、ADPCM による圧縮のあとでも、局所的にエントロピーの低い部分があるために、ストリームデータ圧縮によるロスレス圧縮が可能であることを実証した。

上述の M を固定したエントロピー劣化による画像品質の評価に加え、図 3 に示すシステムのエミュレーション環境で、M を通信用 FIFO バッファの容量閾値をエントロピー劣化の圧縮機構にフィードバックすることで、M を動的に変化させながら通信を行う実験を行った。この実験では M を変化させながら通信が滞ることのないように制御した場合の画像の品質を評価した。図 7 に、この実験によって得られた画像を示す。ここで示す画像の画素は部分的に異なるエントロピー劣化のビット数で構成されているが、高精細さを維持した画像であることが確認できる。

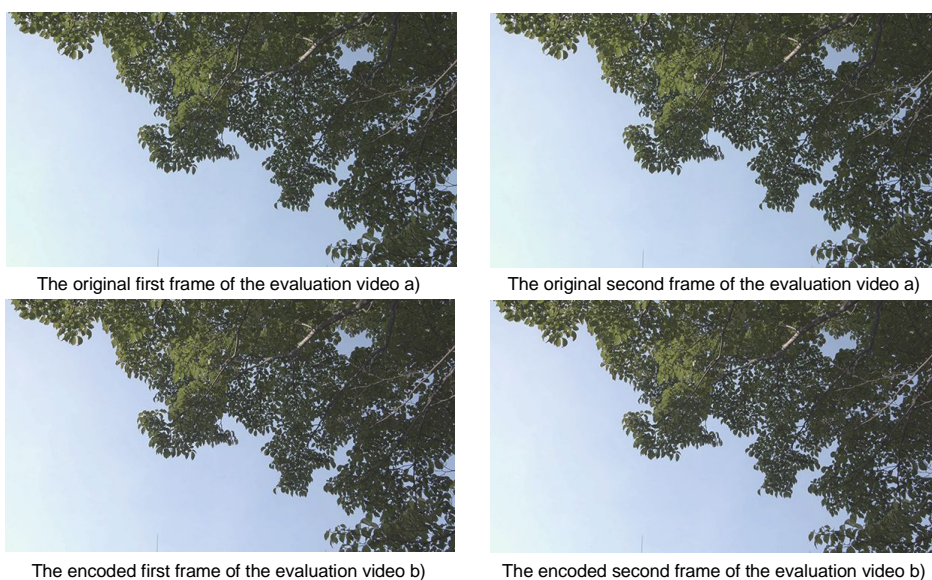


図 7：通信のエミュレーションによって得られた画像

以上のように、ADPCM によるエントロピー劣化を適用し、さらに、ストリームデータ圧縮技術によって、映像のデータストリームを滞りなく伝送するためのシステムの基本原理が解明され、本研究の目的が達成された。本研究成果は国際ジャーナル論文誌に公表済みである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yamagiwa Shinichi、Ichinomiya Yuma	4. 巻 21
2. 論文標題 Stream-Based Visually Lossless Data Compression Applying Variable Bit-Length ADPCM Encoding	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 4602 ~ 4602
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s21134602	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	和田 耕一 (Wada Koichi) (30175145)	筑波大学・システム情報系・名誉教授 (12102)	
研究分担者	坂本 比呂志 (Sakamoto Hiroshi) (50315123)	九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授 (17104)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------