

同期現象を用いた画像圧縮

廣瀬 誠[†] 石原裕之[‡]松江工業高等専門学校 情報工学科[†]松江工業高等専門学校 電子制御工学科[‡]

1. はじめに

インターネットの普及に伴い、高詳細なデジタル画像を通信する機会が急速に増している。デジタル画像は高詳細であればあるほどそのサイズは大きくなるため、高詳細なままネットワークを介して配信するとネットワークに大きな負荷をかける。そのため、高度な画像圧縮の手法の開発が求められている。

画像圧縮手法は、元画像の画質劣化を伴わずに完全復元できる可逆圧縮と、画質劣化を伴う非可逆圧縮がある。前者は、医療画像、文化財のデジタルアーカイブ化など高品質な画像を必要とする場合に用いられ、後者は、デジタルカメラや携帯電話等の画像など、視覚的な画質劣化を最小限に抑えながら高い圧縮率を必要とする場合に用いられる。前者に比べ後者は圧縮効率が良いことから幅広い分野で利用され、ネットワークを介した配信においても、医療利用などの特別な場合を除き、負荷軽減に効果のある非可逆圧縮が有効である。

ネットワークを介して配信する場合、圧縮しても視覚的に閲覧できる圧縮方式と、圧縮すると視覚的に閲覧できない圧縮方式が考えられる。前者は、圧縮後復元する必要がないため、余分な処理を必要としないが、高精細な画像を保持しようとするすると圧縮率が低くなる。この圧縮方式としては JPEG や JPEG2000 などがあり、現在幅広く用いられている。後者は、画像として閲覧出来る必要がないため高圧縮が可能であるが、画像のコントラストによって圧縮率が影響を受けるため、自然画像に多い高コントラスト等の場合、高圧縮は望めない。この圧縮方式としては zip, lha(画像以外の圧縮にも幅広く用いられ

ている)などがある。ここで、どのような画像でも低コントラストな画像に変換し、その後復元することができれば、ネットワークに負荷をかけず高詳細な画像を配信することができる。

そこで、本研究では同期現象を利用して画像を一時的に低コントラスト画像に変換し高圧縮した後、画像劣化を最小限に抑えた画像に復元する手法を提案する。

2. 同期現象

同期現象とは、異なるリズムを持つ振動子が相互作用により、それらのリズムが揃う現象のことである。右折(または左折)しようとする信号待ちをしている2台の車のウインカーの点滅が、時間経過とともに揃う場合があるが、揃った後、時間経過とともにリズムが崩れていくため、これは同期現象とは呼べない。図1に示すように、リズムが揃った後、その状態が保たれている状態を同期現象と呼ぶ[1]。

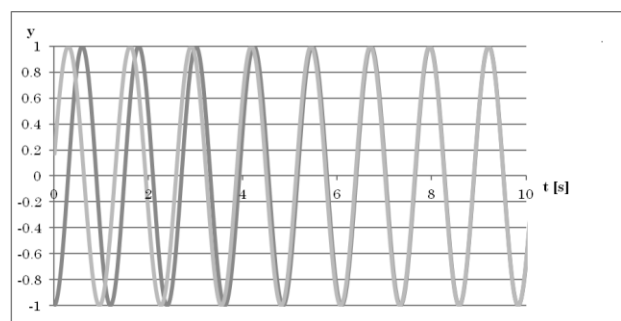


図1 同期する2つの振動子

3. Kuramoto モデル

相互作用のある非線形振動子の同期現象は、以下の連立微分方程式であらわすことができる[2][3]。

$$\frac{d\theta_i}{dt} = \omega_i + \frac{K}{N} \sum_{j=1}^N \sin(\theta_j - \theta_i) \quad (i = 1, \dots, N) \quad (1)$$

θ_i : i 番目の振動子の位相

ω_i : i 番目の振動子の固有振動数

K : 結合強度

N : 振動子の個数

Image compression using the synchronization

Makoto HIROSE[†] and Hiroyuki ISHIHARA[‡]

[†]Dept. of Information Engineering, Matsue College of Technology
690-8518, Matsue, Japan
m_hirose@matsue-ct.ac.jp

[‡]Dept. of Control Engineering, Matsue College of Technology
690-8518, Matsue, Japan
d0705@matsue-ct.ac.jp

ここで、結合強度 K は同期のしやすさを表す定数であり、大きいほど振動子間の結合が強くなるため同期しにくくなる。つまり、自然界の同期現象を解明する場合は、この K を決定することが重要課題となる。しかし本研究では、この K を主体的に決定することができるため、逆に圧縮・復元の精度・速度を決定するパラメータとして利用することができる。この方程式は Kuramoto モデルと呼ばれ、下記の条件をすべて満たす場合に成立する非線形モデルである。画像の画素を振動子とみなした場合、下記条件はすべて満たされる。

- 自己維持型の振動子であり膨大な数の構成要素からできている
- 振動子は各々の振動子が位相のみで特徴づけられる
- 振動子は同じ程度の強さで結合している
- 振動子はすべてほぼ同一の特徴をもつ

4. 圧縮・復元手法

圧縮は、まず画像の画素を振動子と仮定し、これら振動子の位相差が画素値を決定づけることで画像を構成していると考え、次に、この振動子群を Kuramoto モデルを用いて同期させ、画素値をすべてほぼ同じ画素値へと変化させる。すなわち、コントラストの低い画像を生成する。このとき、生成に必要とした時間も記録しておく。最後に、低コントラスト時に高圧縮可能な zip 方式により圧縮を試みる。復元は、同期に要した時間分、Kuramoto モデルの非線形方程式を逆算することで実現する。

5. 実験

5.1. 実験方法

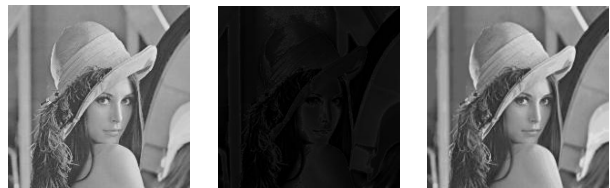
元画像には 256×256 の空間分解能、256 階調の量子化によるグレースケール画像（ビットマップ形式）を用いる。同期判定には全画素の値の偏差を閾値として採用し、256, 128, 64 の 3 段階の閾値において、圧縮率および復元時の精度を検証する。圧縮率は同期後 zip 圧縮したファイルサイズを元画像の zip 圧縮によるファイルサイズで割った値を用い、精度は PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) を用いる [4]。

5.2. 実験結果

図 2 に (a) 元画像、(b) 同期圧縮画像、(c) 復元画像の結果を示す (閾値 128)。また、表 1 に閾値に対する圧縮率および PSNR を示す。

図 2 の (b) 同期圧縮画像は同一色の画像に見えるが、整数値で画素値を保っている。このよう

な低コントラスト画像へ変換させることにより、元画像の約 1/2 前後まで圧縮が可能となった。また、PSNR は閾値 128 の時点で 34.96dB となり、一般的に良質な画像と言われる 40dB に近い値が得られた。表 1 の結果より、閾値を下げることは元画像の情報が欠落していくことを意味するため PSNR は低下し、コントラストは低くなるため圧縮率は向上する。閾値を上げた場合はその逆となる。したがって、閾値を圧縮・復元のパラメータと採用することで圧縮率と PSNR を主体的に制御することが可能となる。



(a) 元画像 (b) 同期圧縮画像 (c) 復元画像
図 2 圧縮および復元結果 (閾値: 128)

表 1 閾値に対する圧縮率および PSNR

閾値	256	128	64
圧縮率[%]	51.60	44.66	39.15
PSNR[dB]	36.74	34.96	32.75

6. まとめ

本報は、同期現象を利用した画像の高圧縮・高精度復元手法を提案した。実験より、元画像の 1/2 前後まで圧縮を可能にし、かつ PSNR が良質な画像と言われる 40dB 付近において復元を可能にした。また、同期のタイミングにより、圧縮率、PSNR を制御することが可能であることがわかった。

今後は、圧縮における閾値の最適解の導出およびカラー画像への適用について検討する。

参考文献

- [1] 佐藤勇一, 中野健, 長嶺拓夫, 布施誠, “振動系の同期現象”, 日本機械学会, 66 巻, 642 号, pp.363 - 369, Feb, 2000.
- [2] Y.Kuramoto, “Self-entrainment of a population of coupled nonlinear oscillators”, International Symposium on Mathematical Problems in Theoretical Physics, vol.39, pp.420-422, 1975.
- [3] Seeven H. Strogatz, “from Kuramoto to Crawford: Exploring the onset of synchronization in populations of coupled oscillators”, Physica D 143, pp.1-20, 2000.
- [4] 北郷正輝, ルイス・ディアゴ, 萩原一郎, “CSRBF を用いた非可逆画像符号化”, 画像電子学会誌, 第 34 巻, 第 6 号, pp.738-747, 2005.