

# モジュロ演算によるオーディオトリックアート

## Audio Trick Art Using Modulo Operation

青木 直史†  
Naofumi Aoki

### 1. まえがき

情報ハイディングのアプリケーションといえば、秘密のメッセージをやり取りするステガノグラフィと、コンテンツの著作権を保護するための透かし情報を埋め込む電子透かしが、その代表格として位置づけられている[1].

しかし、情報ハイディングのアプリケーションは、こうした実用的なものだけに限られているわけではない。図 1 に示すように、トリックアートなどエンターテインメントの分野にも情報ハイディングの可能性は広がっている。情報の冗長性を隙間として、ひとつの情報のなかに複数のメッセージを埋め込み、情報の多義性を楽しむことがトリックアートの醍醐味になっている[1].

情報のなかに情報を隠すというコンセプトは同じでも、トリックアートの目的はステガノグラフィや電子透かしとは異なっている。ステガノグラフィや電子透かしでは、秘密のメッセージや透かし情報を第三者にはわからないように埋め込むことが重要なポイントになる。一方、トリックアートでは、意図的に隠されたメッセージを第三者に見つけ出してもらうことが重要なポイントになる。

テキストや画像に比べ、音を自由自在に編集する技術は歴史が浅く、そのため、音を題材としたトリックアートの可能性は検討の余地が十分に残されているように思われる。本稿では、音を題材としたトリックアートとして、ひとつの音のなかに複数の音を埋め込むオーディオトリックアートの可能性について述べる。

### 2. オーディオトリックアート

ひとつの音のなかに複数の音を埋め込むオーディオトリックアートを実現するため、本研究ではデータの誤読を利用したテクニックをこれまでに検討してきた[2].

これは、情報を解釈する枠組みとなるフォーマットを変更することで、ひとつのデータから複数の情報を読み出すテクニックとなっている。こうしたテクニックを利用すると、本来のフォーマットでは表面的な情報、誤ったフォーマットでは秘密の情報を読み出すことができるように細工をほどこすことで、見かけはひとつのデータのなかに複数の情報を埋め込むことができる。

本研究では、一般的な音データが複数のビットによって表現されていることに着目し、ビットオーダーとバイトオーダーのバリエーションを考慮することで、ひとつの音のなかに複数の音を埋め込む方法をこれまでに提案している[3]. これは、図 2 に示すように、視点の変更によって異なる情報を読み出すトリックアートに分類することができる。

Steganography	Watermarking	Trick Art
Information Hiding Technique		

図 1 情報ハイディングのアプリケーション



図 2 Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid の表紙[4]



図 3 ボルテールの見えない胸像のある奴隷市場 (部分)[6]

また、本研究では、標準化周波数を変更することで、ひとつの音のなかに複数の音を埋め込む方法をこれまでに提案している[5]. これは、図 3 に示すように、解像度の変更によって異なる情報を読み出すトリックアートに分類することができる。

本稿では、量子化精度の冗長性を利用することで、具体的なテクニックとしてモジュロ演算を利用したオーディオトリックアートの可能性について考察する。

†北海道大学大学院情報科学研究科

### 3. 提案法

モジュロ演算は、割り算の余りを求める演算であり、整数型のデータにおける基本的な演算のひとつである。C 言語ではつぎのように記述される。

$$y = x \% z;$$

これは、 $x$  を  $z$  で割った余りを  $y$  に代入する処理を表しており、 $y$  は  $0$  から  $z-1$  までの値をとる。情報ハイディングの視点から考えると、モジュロ演算はカバーデータ  $x$  からシークレットデータ  $y$  を読み出すテクニックとして解釈することができる。ここで、 $z$  はシークレットデータを読み出すための鍵情報にほかならない。

$z$  が  $2$  のべき乗になっている場合、モジュロ演算は単純なビット演算によって実現できる。C 言語ではつぎのように記述される。

$$y = x \& (z-1);$$

本研究の提案法は、音楽 CD と同様、標本化周波数 44.1kHz、量子化精度 16bit の音データを対象とし、ひとつの音のなかに複数の音を埋め込むテクニックとなっている。提案法は、ふたつの音データ  $a$  と  $b$  を、つぎのような処理によって音データ  $x$  にマージする。ここで、 $z$  は  $2$  の  $p$  乗とする。

$$x = ((a \gg p) \ll p) + (b \gg (16 - p));$$

こうした処理によってマージされた音データ  $x$  は、 $p$  が小さければ、聴感的に  $a$  と同じ音に聞こえる。

一方、本研究の提案法は、つぎのような処理によって音データ  $x$  から  $y$  を読み出す。

$$y = x \ll (16 - p);$$

こうした処理によって読み出された音データ  $y$  は、 $p$  が大きければ、聴感的に  $b$  と同じ音に聞こえる。

評価実験として、本研究では 5 個のポップスと 5 個のクラシックの音データに対して提案法を適用し、PEAQ (Perceptual Evaluation of Audio Quality) [7] を尺度として、鍵情報  $p$  を変化させたときの音質の劣化について調べた。PEAQ は音質の劣化を評価する客観的尺度であり、値が大きほど音質の劣化が目立たないことを意味する。

図 4 と図 5 に結果を示す。クラシックの場合、カバーデータとシークレットデータの音質を両立させることは難しいが、ポップスの場合、 $p$  を 8 程度にしておく、カバーデータとシークレットデータのどちらも音質の劣化が目立たないことがわかった。

一般に、ポップスのダイナミックレンジは小さく、クラシックのダイナミックレンジは大きい。ダイナミックレンジが小さくなれば、量子化精度の冗長性が大きくなり、カバーデータにシークレットデータを埋め込むための隙間が増えることになる。こうした音データの特徴が、提案法の適用範囲を左右すると考えられる。

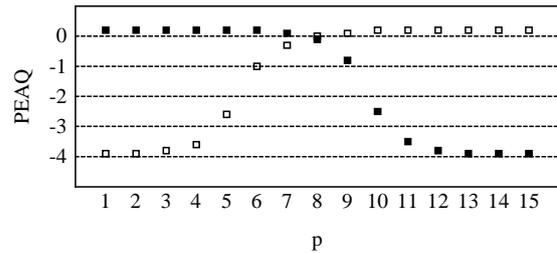


図 4 ポップスとポップスをマージした音データ。■は  $a$  に対する  $x$  の品質、□は  $b$  に対する  $y$  の品質を表す。

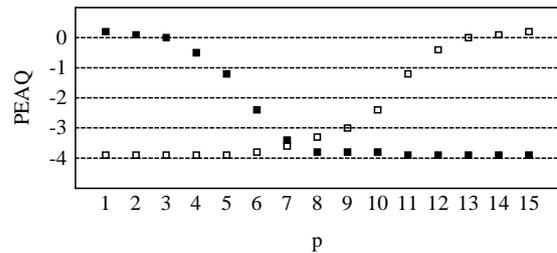


図 5 クラシックとクラシックをマージした音データ。■は  $a$  に対する  $x$  の品質、□は  $b$  に対する  $y$  の品質を表す。

### 4. まとめ

エンターテインメントの分野では、情報を意図的に隠すことがかえって好奇心をかきたて、ひいてはコンテンツの価値を高めるための重要な演出の要素になっている。すなわち、情報ハイディングのコンセプトが価値を創造するためのひとつのアイデアになっている。

オーディオトリックアートは、たとえば、音楽 CD に隠しトラック [8] を埋め込むテクニックのひとつとして、音楽 CD の付加価値を高めるための仕掛けとして利用できる可能性がある。コンテンツの価値を高めるためのひとつのアプローチとして、さまざまな視点からオーディオトリックアートの可能性について検討していくことを今後の課題としたい。

### 参考文献

- [1] 青木直史, 冗長性から見た情報技術, 講談社, 2011.
- [2] Naofumi Aoki, "Audio Trick Art: An Entertainment Application Based on Information Hiding Technique," ITC-CSCC2012, 2012.
- [3] 青木直史, "情報ミスリーディングによるオーディオトリックアートの可能性," 信学技報, EMM2011-46, 2011.
- [4] D.R. Hofstadter, Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid, Basic Books, 1979.
- [5] 青木直史, "標本化周波数の変更によるオーディオトリックアートの可能性," 信学技報, EMM2011-74, 2012.
- [6] S. Dali, The Slave Market with Disappearing Bust of Voltaire, 1940.
- [7] ITU-R, BS.1387: Method for Objective Measurements of Perceived Audio Quality, 2001.
- [8] [http://en.wikipedia.org/wiki/Hidden\\_track](http://en.wikipedia.org/wiki/Hidden_track)