

Title	FPGAを利用したコンテンツフィンガープリンティングの高速化に関する研究
Author(s)	磯永, 久史
Citation	
Issue Date	2006-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/1959">http://hdl.handle.net/10119/1959</a>
Rights	
Description	Supervisor:井口 寧, 情報科学研究科, 修士

# FPGA を利用したコンテンツ (オーディオ) フィンガープリンティングの高速化に関する研究

磯永 久史 (410010)

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

2006 年 2 月 9 日

キーワード: オーディオフィンガープリント, FPGA, コンテンツ管理技術.

## 1 あらまし

近年の楽曲数の増加に伴い、電子透かしやフィンガープリントなど、いくつかの識別方式が提案されている。しかしながら、近年のファイル交換ソフトウェアによる、不正なネットワーク配信は著作権侵害や CD 売り上げ数減少といった深刻な問題となっている。

その対策として、例えば、ネットワーク上に流通しているコンテンツを識別するなど、コンテンツ管理技術を DRM(デジタル著作権管理) 技術として利用する手法が注目されている。

オーディオ用電子指紋とは、オーディオ内容の知覚に関連する部分をコンパクトに表現したものであり、たとえそれらが圧縮などの信号加工処理のため著しく質が劣化していたとしても、オーディオファイルを識別するために一番近いオーディオフィンガープリントを使用できる。

本研究ではアルゴリズムをハードウェア化するだけでは DRM システムに適応可能な性能が得られないと考えた。したがって、パイプラインレジスタを用いた並列処理や演算器のループ展開の手法を用いて、より高速なフィンガープリントシステムを FPGA 上に実現した。処理時間の評価では、ソフトウェアによる処理と比較して、約 10.6 倍の性能が得られた。

## 2 オーディオフィンガープリント

これまでのオーディオフィンガープリントの従来研究に関しては、強度、利便性、計算量の削減などに尽力が注がれてきた。Cano らは、プロトタイプとなるオーディオフィンガープリントシステムの概要を提案した。すべてのオーディオフィンガープリントシステムは、それらのフィンガープリント内に存在するいくつかの時間および周波数表現から導

かれる。つまり、短フーリエ変換を利用する。フィンガープリント算出の主な違いとは、それらがフィンガープリントを構築するために使用する特徴によって決定される。つまり特徴とは、スペクトル扁平の特徴、スペクトルのピークの特徴、フーリエ係数の特徴、メル周波数ケプストラム係数の特徴、そして周波数帯間のエネルギー差の特徴などである。本研究では高速かつ少回路量であり、信頼性の高いハードウェアフィンガープリントシステムの構築を実現するために、以下の点を重視しフィンガープリント特徴抽出アルゴリズムを考察した。

- 圧縮や質の劣化に対して非常に強健であること
- 特徴生成アルゴリズムのステップは加算と減算などによる簡素な構成
- 乗算および除算を多用しない
- FPGA 内で省スペースで格納するためフィンガープリントサイズがコンパクトであること

などを考慮した結果、Haitsma と Kalker らによる、Philips オーディオフィンガープリントシステムをハードウェア用に改善し、実装を行うことにした。

### 3 ハードウェア構築

ハードウェアを用いて高速化するシステムの TOP 構成は既存のフィンガープリントシステムと同様、フィンガープリントの特徴生成部と楽曲検索・識別部のステップ構成に Virtual Turbo 専用の API と同期を取り、リード、ライト制御を行うためのインターフェイス部を加えた 3 ステップ構成とした。ここでのフィンガープリント特徴生成部とは、Haitsuma らのフィンガープリントアルゴリズムを、ハードウェア向けに改良したものである。ハードウェア部はホスト PC 上の C++ プログラムと連動を行う。ホスト PC 上で FPGA ボードの専用の書き込み用 API 関数を実行することで、送信されてきた音楽ファイル (wave、16bit、44.1KHz) を入力とし、Haitsuma らのアルゴリズムを用いフィンガープリントを生成する。

フィンガープリント生成部はパイプラインレジスタを用いた並列処理や比較器のループ展開などの手法により、性能の向上を目指した。パイプラインレジスタにおいては機能粒度を考慮し、1900ns 程度の粒度にて挿入位置を決定した。また、ループ展開は回路量が少ない比較器を展開することにより、クロック数を  $1/32$  に削減することができる。楽曲識別回路には FPGA に標準搭載されている BRAM と CLB によって構成される RAM を配置し、そのメモリ領域には、あらかじめ楽曲のフィンガープリントを格納しておく。楽曲識別回路を並列に配置することで、同時に複数の識別処理を行う高速かつロバストな楽曲識別部を構築した。

## 4 評価

評価はフィンガープリント処理時間測定、楽曲識別・検索時間測定、回路量・クリティカルパス測定、ロバスト性、信頼性評価を実施した。まずフィンガープリント処理時間については、radix-2FFTを実装した時は650ms(ソフトウェアによる処理速度の約5.1倍)、radix-4FFTを実装した時は314ms(ソフトウェアによる処理速度の約10.6倍)で達成した。これはフィンガープリント生成部における高速化に関する2つの方針、機能粒度を考慮したパイプラインレジスタ配置、および所要クロックの削減のためのコンパレータ(比較器)のループ展開の効果であると考えられる。また、フィンガープリント処理過程において最も計算負荷の高い変換ステップに対して速度と回路量の点で最適なFFTを配置できたことも効果的であった。しかしながら、楽曲識別部のクリティカルパスの遅延の大きさは、TOP構成の最大動作周波数を大きく下げる原因となってしまったが、楽曲識別部の30並列以上の並列展開によるクリティカルパスの増大、最大動作周波数の減少は、重大な問題ではなく、100並列以上の配置も可能であることを示した。また、ロバスト性については、音質の変化による耐性を評価した。ほぼ常識的な音質の加工に対してはロバスト性があることを証明した。Haitsumaらの理論上での非常にロバストなフィンガープリントアルゴリズムをハードウェア化し、そのロバスト性、信頼性を実験によって検証したことは、ソフトウェアによる処理が一般的となっているオーディオフィンガープリント分野にとって、革新的ではないかと考える。

## 5 まとめと今後の展望

本研究で構築したハードウェアは、オーディオデータから高速にフィンガープリント生成を行い、複数の楽曲を同時検索することを可能にした。30楽曲の同時識別を試みた場合では213Mbpsの速度で楽曲識別が可能となりソフトウェアによる処理と比較して約10.66倍の性能向上が得られた。これは広帯域なネットワーク上での音楽ファイルの捕捉が可能となるなど、コンテンツ流通・管理の処理能力向上という点で有益な結果が得られたと言って良い。また、得られたビットレートは、将来的にオーディオフィンガープリントをDRMシステムに対応させる十分な性能である。

しかし、本稿で提案したシステムでは、少数のタイトルしか識別可能としないため、世の中に存在する膨大な音楽のタイトル数を考えた場合、楽曲のデータベース数に関して言えば容量不足である。HMVなどの大手レコード会社がインターネットで配信する音楽のタイトル数は、60万~70万タイトルと増加する一途であり、本稿で提案したシステムをさらに実用的とするためには、FPGAと高速に通信可能な大規模な記憶媒体が必要である。もしくは、今回で構築したFPGAにおけるフィンガープリンティング部をサーバーなどで構成される大規模なオーディオフィンガープリントサービスの一部にアクセラレータとして組み込むような実用方法も考えられる。