

Title	大規模な音楽指紋データベースの高速検索におけるクエリの歪みへの頑健性向上に関する調査研究
Author(s)	福田, 真啓
Citation	
Issue Date	2015-09
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/12925
Rights	
Description	Supervisor: 井口寧, 情報科学研究科, 修士

大規模な音楽指紋データベースの高速検索における クエリの歪みへの頑健性向上に関する調査研究

福田 真啓 (1310203)

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

2015 年 8 月 6 日

キーワード: FPGA, 音楽指紋, LSH, 千万曲分の乱数データベース.

1 はじめに

近年のインターネットは、音楽の活発な流通の場を提供している一方で、不正コピーの温床にもなっている。インターネットで音楽を利用できることは魅力的であるが、常に著作権法を意識しなければならないのは窮屈である。そんな中、音楽データをメールや P2P で通信するだけで自動的にライセンス・課金情報を受信者に提示できるという、手軽で合法的な音楽共有システムが提案されている。

この音楽共有システムの実用化には、ネットワーク機器内で高速かつ高精度に検索できる組み込みシステムが必要である。しかしネットワーク機器がサポートするデータ転送速度は年々高速化を続けており、検索のリアルタイム処理が難しくなっている。千万曲の 10GB 以上のデータベース (DB) の格納にも、低速な HDD や SSD の使用はなるべく回避したい。

本研究の目的は、千万曲以上の DB の高速かつ高精度な音楽検索を組み込みシステムとして実現することである。

2 音楽指紋とその関連研究

音楽の高速検索において重要な要素技術は指紋である。検索における比較処理の回数を減らすことが可能であるため、組み込みシステムを前提とした音楽の高速検索には必須の技術である。

ネットワーク機器内での指紋の検索にも様々な課題がある。大きく分けると“通信プロトコルの解析”、“PCM データへの変換”、“指紋生成”、“指紋検索”、“ライセンス・課金情報の送信”の 5 つであるが、その中でも本稿では改善の必要性和技術的困難さの観点から指紋検索に焦点を当てる。

指紋検索では先行研究である Yang の方法が組み込みシステムとしての指紋の高速検索に適している。Yang の成果の 1 つはハミング距離計算用のハードウェアアクセラレータであり、もう 1 つが Staged LSH という検索アルゴリズムである。通常の LSH ではハッシュ探索後に 4096 ビットの指紋のハミング距離を求めて同じ指紋かどうかを判定する。Staged LSH では 4096 ビットの指紋の前にもっと少ないビット数でハミング距離を計算することにより比較処理の回数をさらに減らす。

Staged LSH は音楽指紋検索の高速化に関して一定の成果を出したが、指紋 DB とハッシュテーブルのサイズが大きいため、300 曲までの実験しかなされなかった。また別の問題として、ハッシュ探索をするので、音楽データの非可逆圧縮に起因する指紋の歪み (ビットエラー) にも弱い。

3 階層化 Staged LSH による大規模音楽指紋検索システムの実装

組込みシステムで高速性が重要であることから、本研究では音楽指紋検索の実装に FPGA を選んだ。検索速度の目標は 1 件あたり 80 マイクロ秒以内である。

1 つ目の提案手法は 2 種類のメモリを用いた階層化 Staged LSH である。2 種類のメモリとは、FPGA ボード内蔵の DDR3 経由の DRAM である“高速メモリ”と、PCIe 経由でアクセス可能な DRAM である“大容量メモリ”である。理論性能はそれぞれ 12.8GB/s と 8GB/s である。さらに高頻度で検索要求される指紋を高速メモリだけで検索完了できる階層化 Staged LSH というアルゴリズムを採用した。

もう 1 つの提案手法は隣接 LSH 探索である。単純なハッシュ探索ではハッシュ値に 1 ビットでもエラーがあると探索失敗する。LSH のハッシュ関数は出力ビット数を調整できるので、ビット数を減らすだけで探索を成功しやすくできるが、衝突確率も上がり検索速度が落ちる問題がある。そこでハッシュ値に数ビットまでのエラーを許すような隣接 LSH 探索を提案する。

以上の提案手法を FPGA に実装した。大容量メモリは PCIe 経由でデスクトップ PC の DRAM からデータを読み出すが、デスクトップ PC はあくまで大容量メモリとしての利用にとどめ、音楽検索の処理は CPU ではなく FPGA だけで行う。

4 評価実験

階層化 Staged LSH と隣接 LSH 探索のそれぞれの効果を評価するための実験を行った。

まずは乱数で生成した千万曲分の指紋 DB を用いて階層化 Staged LSH の評価をした。高速メモリの容量や大容量メモリの転送速度にもよるが、今回の実験では最大 4.3 倍の検索速度向上を得た。精度も劣化は見られなかった。そもそも Yang の研究が 300 曲までの実験であったのを千万曲に拡大できた点も大きい。

次に隣接 LSH 探索の評価をした。同じ千万曲分の乱数指紋 DB を用いた実験で、ハッシュ値のビット数を 13 から 20 に変更し、ハッシュ値を 1 ビットエラーまで許容することにより、歪み率 25% までの検索精度を維持しつつ検索速度を最大 8.9 倍に向上できた。

最後に階層化 Staged LSH と隣接 LSH 探索の両方を有効化して実験をした。両方無効時に比べ、歪み率 25% までの検索精度を維持しつつ検索速度を最大 27.0 倍に向上できた。結果として、1Gbps のルータに引けを取らない速度で検索できた。

今後の課題は、高速メモリと大容量メモリの間の動的なデータ交換、類似指紋の効率的な区別方法などである。