

# DP マッチングを用いる検索の DB 索引作成方法と応用

— 大規模曲検索への応用 —

4N-06

園田 智也 村岡 洋一

早稲田大学 理工学研究科

## 1. はじめに

本研究では、DP マッチングを用いる検索におけるデータベース (DB) の索引作成法を提案し、その手法を応用して歌声による大規模曲 DB 検索を実現する。

入力キーが DB 中のデータと完全一致しない検索の DB 照合には、系列間で要素の「挿入・削除・置換」の処理が可能な DP マッチングが多く用いられている [1]-[6]。しかし、これらの処理を考慮した DB の索引作成は難しく、大規模 DB 検索は、実現困難であった。

そこで、本研究では、DP マッチングに基づいた索引作成方法を提案し、高速な検索を実現する。本手法を歌声による曲検索に応用したところ、10,206 曲に対する検索の所要時間は、0.78 秒であり、索引を使用しない場合の 875.4 秒と比較し、約 1,120 分の 1 に短縮できた。また、検索精度は 92.0 % であった。

## 2. DP マッチング

長さ  $I$  の整数値系列  $Q$  (入力系列) と、長さ  $J$  の整数値系列  $S$  (DB 中の系列) との距離  $D(Q, S)$  を、2次元のマッチング行列  $m(i, j)$  を用いて求める概要を述べる (図 1)。最初に  $Q$  の先頭の値と  $S$  中のすべての値との距離を 1 行目で求め (A)、 $S$  の先頭の値と  $Q$  中のすべての値との距離を 1 列目で求める (B)。次に、全要素間の距離計算を行ない (C)、最後に、一番下の行の最小値により距離  $D$  を求める (D)。

## 3. DP マッチングを利用した索引

本研究では、2 系列間の DP マッチング距離が近い場合、各々のある短い系列間でも、その距離が近くなることに着目し (図 2)、その性質を用いた系列間の距離計測法を短区間 DP マッチングと呼ぶ。

### 3.1 短区間 DP マッチングによる系列間距離

長さが各々  $I, J$  ( $I < J$ ) の整数値系列  $Q, S$  間の短区間 DP マッチング距離  $sD(Q, S)$  を定義する。まず、系列  $Q, S$  から、各々長さ  $sL_q, sL_s$  の系列  $sQ, sS$  を切り出し、以下で表現する (ただし、 $C$  は整数値の集合)。

$$\begin{aligned} sQ(i) &= q_i, q_{i+1}, q_{i+2}, \dots, q_{i+sL_q-1}, \quad q_i \in C \\ sS(j) &= s_j, s_{j+1}, s_{j+2}, \dots, s_{j+sL_s-1}, \quad s_i \in C \\ 0 \leq i \leq I - sL_q, \quad 0 \leq j \leq J - sL_s \end{aligned}$$

An indexing method for a large database by using dp matching and its application - retrieval by singing  
Tomonari Sonoda, Yoichi Muraoka  
School of Science and Engineering, WASEDA University

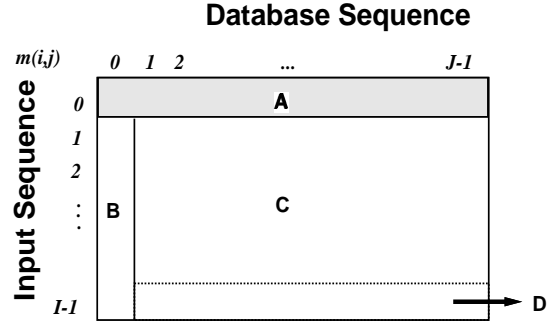


図 1: DP マッチング行列  $m(i, j)$

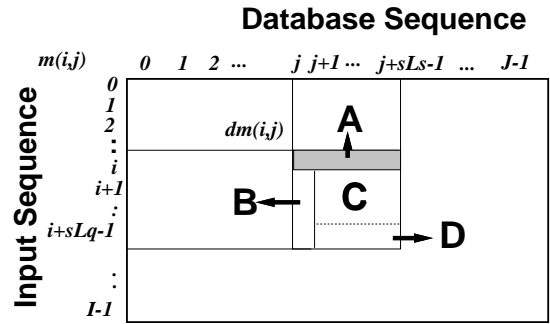


図 2: 短区間 DP マッチング行列  $dm(i, j)$

次に、 $sQ(i)$  と  $S$  との距離  $sD1(sQ(i), S)$  を、DP マッチングによる距離  $D(sQ(i), sS(j))$  で定める。

$$sD1(sQ(i), S) = \min\{D(sQ(i), sS(j)) \mid 0 \leq j < J - sL_s\}$$

最後に、求める  $sD$  を以下のように  $sD1$  で定める。

$$sD(Q, S) = \sum_i sD1(sQ(i), S)$$

$sD(Q, S)$  の値は、通常の DP マッチングと同様に、 $Q$  が  $S$  の中で完全一致するとき 0 となる。

### 3.2 短区間 DP マッチングを用いた索引

短区間 DP マッチングによる索引作成手順を示す。

- DB 中の系列  $S$  から、短区間系列  $sS(j)$  ( $j = 0, 1, \dots, J - sL_s$ ) を抽出する。
- 各  $sS(j)$  と、短区間系列  $sQ$  (長さ  $sL_q$ ) の取り得る全  $N^{sL_q}$  通りの系列とで DP マッチングを行う。
- 1, 2 の処理を DB 中の全データ系列に対し行い、各距離を求める。
- 各  $sQ$  に対し、最も近い距離が得られた系列  $sS(j)$  から順にランク付を行い、その系列の ID と得られた距離を索引として格納する。

4. で、DB の保有データ数  $M$  が大きい場合は、索引容量が多大にならないように十分な量の上位の  $r$  個 ( $r < M$ ) を格納する。また、系列の要素  $q_i, s_j$  の取り得る整数値集合  $C$  の要素数  $N$  が大きい場合も容量が多大になるが、適当な閾値により  $N$  の個数を減少させる解決法がある [6]。

### 3.3 索引を用いた検索

上述の索引を用いて、長さ  $I$  の系列  $Q$  が入力された場合の DB 検索手順を以下に示す。

1.  $Q$  から、長さ  $sL_q$  の短区間系列  $sQ(i)$  ( $i = 0, 1, \dots, I - sL_q + 1$ ) を抽出する。
2. 各  $sQ(i)$  との距離が近い順にランク付された DB 中のデータの ID と距離のリストを索引から取得する。
3. DB 中の各データごとに、各  $sQ(i)$  からの距離をリストから取得し、その総和  $SUM$  を求める。
4.  $SUM$  が最小となった DB 中のデータから順にランク付をし、検索結果とする。

## 4. 歌声検索システムへの応用と実験

上述の手法を応用し、図 3 の歌声による曲検索を実装した [6]。また、一連の性能評価実験を行った。

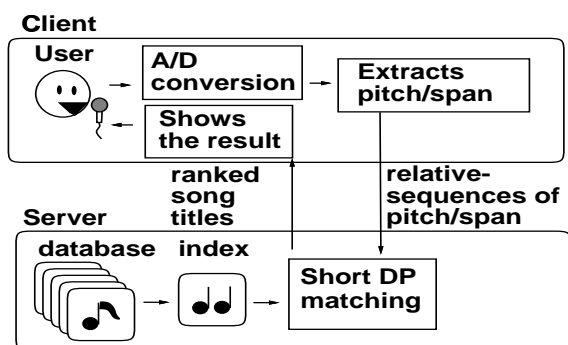


図 3: 歌声検索システム

### 4.1 歌声検索サーバの実装内容

以下に、歌声検索の DB サーバの実装内容を示す。

- DB: 10,206 曲 (平均音符数 981.7)。このうち、10,000 曲は、ランダムに生成した音符系列から成り、残りの 206 曲は、歌声で作成した曲 (ポップス、民謡等)。
- 索引: 適当な閾値により、DB 中の各曲の持つ相対音高差・相対音長比系列の各々の値を 9 個の整数に変換し、索引に利用した [6]。
- サーバ用の計算機: CPU = Pentium mobile celeron 300 MHz, RAM = 128M, OS = Linux。
- 索引に使用した短区間の長さ:  $sL_q = sL_s = 3$ 。
- 索引に保存した検索結果のランキング長:  $r = 100$ 。
- 言語: Java 2, JDK 標準付属の JIT コンパイラ。

### 4.2 索引作成の所要時間

上述の計算機の CPU を 2 つ用いた際の索引作成の所要時間を、1 回計測したところ、22 時間 56 分であった。この結果から、数万曲の DB に対し、数日以内で索引作成が可能だと言える。

### 4.3 索引の容量

上述の環境での索引の総容量は 531,441,032 bytes であった。この結果から、1 万曲程度の DB の索引は、実用的な範囲で作成できることが確認できた。

### 4.4 索引による検索時間の短縮

長さ 13 の音符系列を入力した場合の検索の所要時間を、索引を用いる場合と用いない場合で比較した。各々 5 回検索した結果の平均値を表 1 に示す。

表 1: 索引による検索時間の短縮の評価

索引を用いない場合	索引を用いた場合
875.4 秒	0.78 秒

この結果より、検索時間を約 1,120 分の 1 に短縮でき、手法の有効性が確認できた。

### 4.5 索引を用いた場合の検索精度

検索精度の検証のため、8 名の被験者の 112 回の入力で、意図する曲が正答となる確率を調べた。ここで、検索精度向上のため、索引による検索結果の上位 30 の曲に対し、再度、系列中の値を 27 個の整数値に変換したものを用いた検索を行ったところ、正答率は 92.0% であり、本手法の有効性が確認できた。

## 5. まとめ

本稿では、DP マッチングによる DB の索引作成手法を述べた。また、提案した手法を歌声による曲検索に応用し、手法の有効性を確認した。今後は、本手法を応用した様々なシステムを開発する予定である。

### 参考文献

- [1] 岡 隆一, 西村 裕一, 向井 理朗: しぐさで伝える, 電子情報通信学会誌, Vol.82, No.4, pp.332-339, 1999.
- [2] 山田 博司, 長坂 保典, 鈴木 宣夫: 連続 DP マッチングによる手話の認識, 信学技報 PRMU98-228, 1998.
- [3] T.Kageyama, K.Mochizuki, Y.Takashima: *Melody Retrieval with Humming*, ICMC Proc., 1993.
- [4] 西原 祐一, 小杉 尚子, 紺谷 精一, 山室 雅司: 時間正規化を用いたハミング検索システム, 情報処理学会音楽情報科学研究会 研究報告 98-MUS-30-5, 1999.
- [5] Asif Ghias, Jonathan Logan: *Query By Humming - Musical Information Retrieval in an Audio Database*, ACM Multimedia 95, Electronic Proc., 1995.
- [6] 園田 智也, 後藤 真孝, 村岡 洋一: WWW 上での歌声による曲検索システム, 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol.J82-D-II, No.4, pp.721-731, 1999.4.