

내용기반 음악정보 검색을 위한 선율의 시계열 데이터 변환을 이용한 주제선율색인 구성

하진석[†]·구경이^{††}·박재현^{†††}·김유성^{†††}

요약

음악은 서로 다른 높이와 길이를 갖는 음표들을 주어진 박자 안에서 리듬성을 갖도록 나열한 패턴이기 때문에 음악의 선율정보는 시간의 흐름에 따라 정보 값을 갖는 시계열 데이터로 변환할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 음악의 특성을 유지하도록 선율정보를 정규화와 보정 과정을 거쳐 시계열 데이터로 변환하고 유클리드 거리함수를 이용하여 선율정보간의 유사도를 계산하며, 유사성을 갖는 선율들을 클러스터링하여 각 클러스터의 대표성을 갖는 선율을 주제선율로서 추출한다. 그리고 추출된 주제선율로 다차원색인 기법인 M-tree를 이용하여 주제선율색인을 구성한다. 사용자 질의에 대한 검색과정에서도 색인 구성단계와 같은 과정으로 사용자 질의를 시계열 데이터로 변환하여 검색을 한다. 또한, 본 연구에서는 주제선율색인을 이용하여 내용기반 음악 검색을 실시하는 프로토타입 시스템을 개발하여 제안된 주제선율색인 구성기법의 실효성을 시험하였다. 실험결과에 따르면, 주제선율색인을 이용하면 원하는 음악 정보를 적은 공간을 사용하여 빠르고 정확하게 검색할 수 있음을 알 수 있다.

Construction of Theme Melody Index by Transforming Melody to Time-series Data for Content-based Music Information Retrieval

Jin-Seok Ha[†] · Kyong-I Ku^{††} · JaeHyun Park^{†††} · Yoo-Sung Kim^{†††}

ABSTRACT

From the viewpoint of that music melody has the similar features to time-series data, music melody is transformed to a time-series data with normalization and corrections and the similarity between melodies is defined as the Euclidean distance between the transformed time-series data. Then, based the similarity between melodies of a music object, melodies are clustered and the representative of each cluster is extracted as one of theme melodies for the music. To construct the theme melody index, a theme melody is represented as a point of the multidimensional metric space of M-tree. For retrieval of user's query melody, the query melody is also transformed into a time-series data by the same way of indexing phase. To retrieve the similar melodies to the query melody given by user from the theme melody index the range query search algorithm is used. By the implementation of the prototype system using the proposed theme melody index we show the effectiveness of the proposed methods.

키워드 : 내용기반음악 정보 검색(Content-Based Music Information Retrieval), 시계열 데이터(Time-Series Data), 주제선율(Theme Melody), 다차원색인(Multidimensional Index)

1. 서론

멀티미디어 정보의 응용분야와 처리기술의 발달에 따라 대용량의 멀티미디어 데이터의 효율적인 관리 및 검색에 대한 필요성이 증가되고 있다. 따라서 대량의 음악 데이터

를 효율적으로 관리하기 위한 대용량 음악 데이터베이스 구축이 필요하며 대용량 음악 데이터베이스로부터 사용자가 원하는 음악 정보를 빠르고 정확하게 검색하기 위한 내용기반 음악정보 검색 시스템이 필요하다.

기존의 내용기반 음악정보 검색 시스템 중에서 대표적인 시스템은 코넬 대학에서 1995년에 발표한 Query By Humming(이후 QBH)시스템[1]과 1996년에 뉴질랜드의 와이카튜 대학에서 발표한 MELody inDEX(이후 MELDEX)시스템[2]이 있다. MELDEX와 QBH는 내용기반 음악정보 검색을 위

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000-1-512000-009-2) 지원으로 수행되었음.

† 준회원 : 인하대학교 정보통신대학원

†† 준회원 : 인하대학교 대학원 전자계산공학과

††† 종신회원 : 인하대학교 정보통신공학부 교수

논문접수 : 2002년 12월 6일, 심사완료 : 2003년 2월 14일

해 음의 높낮이 변화 방향만을 기준으로 음악의 특징정보를 문자열로 표현하였으며, 근사 문자열 매칭(approximate string matching) 기법을 이용하여 유사 패턴을 갖는 음악 데이터를 검색한다. 그러나 음의 높이 변화 방향만을 고려했을 뿐 어느 정도의 높이 변화가 발생하는지는 반영하지 못했고 선율의 중요한 특징중의 하나인 음의 길이는 이용하지 않았다. 또한, MELDEX와 QBH에서의 비교 검색단위가 꼭 전체이다. 즉, 사용자가 입력한 질의 선율의 문자열과 일정한 오차 내에서 유사한 문자열을 포함하고 있는 음악을 검색하기 위해 음악 데이터베이스의 모든 곡을 대상으로 음악 전체의 선율에 대해 순차 검색해야 한다. 따라서 이렇게 검색을 하면 데이터베이스에 저장된 곡이 많아질수록 전체 음악에 대한 순차검색이 필요하게 되어 검색 효율이 낮아진다.

음악은 음의 높고 낮음이 시간에 따라 변화하는 선율패턴을 가지고 있고, 이러한 선율 패턴은 시계열 데이터(time-series data)의 패턴과 유사하므로 음악 데이터를 시계열 데이터로 변환하여 처리하면 음의 높이와 음의 길이를 함께 고려하는 음악의 특성표현이 가능하며 이를 이용한 검색은 검색의 정확성을 증진할 수 있다. 또한, 검색의 속도를 증진하기 위해 사용자가 음악의 대표선율로 기억하고 질의에서 사용할 확률이 높은 주제선율[3]들을 추출하여 주제선율색인을 구성하고, 검색단계에서 대용량 음악 데이터베이스의 전체선율에 대한 순차 검색대신에 주제선율색인을 이용한 유사도 검색을 실시함으로써 검색 성능을 증진할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 음악의 선율정보를 시계열 데이터로 변환하고 시계열 데이터로 변환된 음악 선율정보간의 거리함수를 이용하여 유사도를 계산하는 기법을 제안한다. 또한, 음악의 선율정보간의 유사도를 기준으로 그래프기반의 클러스터링 알고리즘[4]을 이용하여 선율정보를 클러스터링하고 각 클러스터의 대표선율을 주제선율로 추출하여 다차원 색인 기법인 M-tree[5]를 이용하여 색인한다. 그리고, 본 논문에서는 주제선율 색인으로부터 사용자가 제기한 질의 선율과 유사한 선율정보를 검색하는 내용기반 음악정보 검색 시스템의 프로토타입을 개발하여 제안된 주제선율색인기법의 정확성 및 검색 성능의 우수성을 실험하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 관련연구로서 기존에 제안된 여러 가지 음악정보 검색 시스템의 문제점들을 논의하고 시계열 데이터베이스의 색인 및 검색 기법에 대해 살펴본다. 제 3장에서는 본 논문에서 제안하고 있는 음악정보의 시계열 데이터 변환 과정, 선율정보간의 유사도 계산 알고리즘, 그래프 기반의 클러스터링 알고리즘을 이용한 주제선율 추출, 그리고 주제선율색인 구성 및 검색에 대해서 기술하였다. 제 4장에서는 실험을 통하여 제안된 주제선율색인 및 검색 기법의 정확성과 검색 성능을 분석하였다. 제 5장에서는 본 논문의 결론 및 향후 연구 방향

을 기술한다.

2. 관련 연구

2.1 기존의 내용기반 음악정보 검색 시스템

기존의 대표적인 내용기반 음악정보 검색 시스템으로는 QBH[1]와 MELDEX[2] 등이 있다. MELDEX 시스템은 오디오 질의를 사용하여 사용자가 원하는 곡을 찾아주는 내용기반 음악정보 검색 시스템으로서 사용자가 질의를 하면 오디오 질의에서 연속적인 음들의 높낮이 변화 방향을 문자열로 나타낸 음조곡선(contour)을 음악의 특성정보로 이용하여 내용기반 음악정보 검색을 실시한다. 음악의 음조곡선은 세 가지 알파벳으로 구성되는데 바로 전의 음표와 같은 음높이를 갖는 음이면 R(repeat), 높은 음이면 U(up), 낮은 음이면 D(down)로 표현된다. 따라서 한 음악은 R, U, D의 알파벳으로 이루어진 하나의 문자열로 표현이 가능하다. 이렇게 문자열로 나타낸 사용자 질의 음조곡선은 근사탐색을 위한 상태일치 알고리즘을 사용해 임의의 k개의 오차범위 내에서 유사한 음조곡선을 갖는 음악 정보를 순차탐색한다. QBH 시스템은 위에서 언급한 MELDEX와 유사한 방법으로 음악검색을 위한 특징을 구성하지만, 단지 알파벳의 사용에서 이전의 음과 비교하여 같은 음이 나오는 경우 R(repeat) 대신 S(same)를 사용하였다. 검색을 위한 비교 방법으로는 사용자 자신이 찾고자 하는 질의선율을 실수로 어느 정도 잘못 입력할 수 있다는 점을 고려하여 k개의 에러를 허용하는 퍼지(fuzzy)를 이용한 패턴 매칭 알고리즘인 근사 문자열 탐색 알고리즘을 사용한다.

그러나 기존의 내용기반 음악정보 검색 시스템은 여러 가지 문제점을 가지고 있다. 첫 번째로 MELDEX와 QBH는 곡에 대한 특징 정보로서 음높이 변화의 방향을 문자열로 나타낸 음의 흐름을 사용하였는데 이 방법은 음의 높이 변화의 방향만을 고려했을 뿐 어느 정도의 높이 변화가 있는지를 표현하지 못하고 있다. 그리고 음의 높이 변화 방향을 이용하였지만 음악의 중요한 특성 성분인 음의 길이 변화를 표현하지는 못했다. 예를 들어 설명하면 (그림 1)과 같다. 두 음악을 비교하면 음의 높이의 변화 방향은 같지만 길이가 다른 음악으로 기존의 MELDEX와 QBH를 이용하여 음조곡선으로 표시하면 (그림 1)과 같이 전혀 다른 음악이 되어 문자열 패턴 매칭으로는 유사한 음악으로 찾을 수가 없다. 이와 같이 음의 길이를 무시한 음악의 특성 추출은 검색의 정확성이 떨어진다. 이 문제를 해결하기 위해 높이 변화량과 길이 변화량까지 포함하는 유사도 계산이 필요하다. 따라서, 본 논문에서는 음의 길이에 따라 변화하는 음의 높낮이 패턴을 시계열 데이터로 변환하고 이 시계열 데이터를 이용하여 두 선율정보간의 유사도에 따라 검색함으로써 검색의 정확성을 증진한다.



(그림 1) 같은 높이 변화 방향을 가진 음악

그리고 두 번째로 MELDEX와 QBH는 모두 비교 단위가 곡 전체이다. 즉 사용자가 입력한 곡의 일부분이 많은 곡들 중에 어떤 부분과 일치하는지 알 수 없으므로 입력된 부분의 특징 정보를 저장된 곡 전체의 특징 정보와 비교하여 검색한다. 따라서 이렇게 검색을 하면 데이터베이스에 저장된 곡이 많아짐에 따라 검색 효율이 떨어진다. 이 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 모든 선율들로 색인을 구성하는 대신에 사용자가 기억하고 검색질의로 사용할 가능성이 높은 주제선율을 추출하여 주제선율색인을 구성하고 유사도 기반의 범위 질의 검색을 실시함으로써 주제선율색인의 크기를 작게 유지하면서도 검색의 정확성을 유지할 수 있는 기법을 이용한다.

2.2 시계열 데이터베이스의 색인 및 검색

시계열 데이터는 주식 데이터의 변화, 기온의 변화 등과 같이 일정 시간 간격(equal time interval)에 따라 변화하는 값들의 연속으로 표현된 시퀀스로서 $X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ 으로 표현될 수 있다[6]. 대량의 시계열 데이터를 관리하는 시계열 데이터베이스에서는 데이터베이스 내의 시계열 데이터의 집합 $S = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_N\}$ 으로부터 주어진 질의 $Q = (q_1, q_2, q_3, \dots, q_k)$ (단, $k \leq n$)과 유사한 패턴을 포함하는 시계열 데이터 X_i 를 검색하는 것이 중요한 과제이다. 즉, 질의 Q 와 데이터베이스내의 각 시계열 데이터의 서브패턴간의 거리 $dist(Q, SubPattern(X_i))$ 를 계산하여 주어진 거리 안에 위치한 서브패턴을 포함하는 모든 시계열 데이터를 검색하는 것이다. 이때 두 시계열 데이터간의 거리는 식 (1)과 같은 다차원공간내의 유클리드 거리함수[7]를 사용한다.

$$dist(Q, SubPattern(X_i)) = \sqrt{\sum_{j=1}^k (Q[j] - X_i[m+j])^2},$$

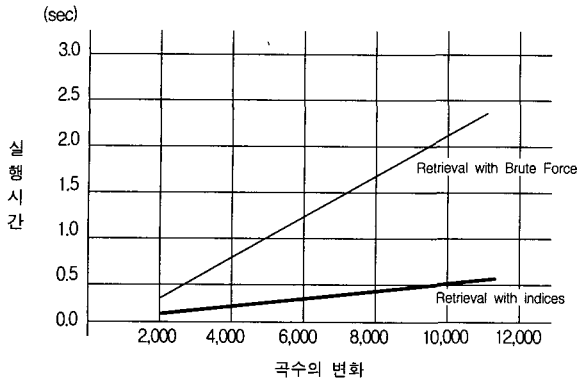
여기서 $m = 1, 2, \dots, n-k$ (1)

이러한 유사도 기반의 시계열 데이터 검색을 효율적으로 지원하기 위해 시계열 데이터베이스 색인이 필요하며 시계열 데이터를 색인하기 위해 M-tree[5], R-tree[8]와 같은 다차원 색인기법을 사용한다. 그리고 본 논문에서는 음악 전체를 색인하지 않고, 동기 단위로 색인하고 동기 단위의 색

인을 위해서 박자별로 다른 동기의 길이를 음악의 특성을 이용하여 같게 만들어주는 정규화 과정을 거친다. 음악은 음의 절대적인 길이와 높이 값보다는 음악의 전체적인 변화 패턴인 리듬에 의해 두 음악이 유사해지기 때문에 본 논문에서는 동기에서 음악의 변화 패턴을 대표하는 몇 개의 값을 추출하여 시계열 데이터로 변환하고 두 음악의 유사 정도를 평가한다. 그리고 음악의 조옮김과 같이 음악의 변화 패턴은 같지만 전체적으로 음악이 상승한 경우에는 유클리드 거리함수를 이용하면 전혀 다른 음악으로 인식하므로 유클리드 거리함수의 보정 방법 중에 하나인 Offset Translation[9]을 이용하여 보정한다. 그리고 유클리드 거리함수는 각 원소간의 거리 값을 합하여 유사도 정도를 측정하기 때문에 전혀 다른 변화 패턴을 가진 음악도 거리의 합에 의해 같은 값이 나올 수가 있다. 이와 같은 유클리드 거리함수를 보정하기 위해 거리함수의 보정 방법 중에 하나인 Amplitude Scaling[9]을 이용하여 유사한 변화 패턴을 가진 음악의 유사도를 향상시킨다. 그리고 본 논문에서는 위와 같이 동기별 색인 구성시 동기별 모든 선율들로 색인을 구성하는 대신에 사용자가 기억하고 검색질의로 사용할 가능성이 높은 주제선율을 추출하여 주제선율색인을 구성하고 유사도 기반의 범위 질의 검색을 실시함으로써 주제선율색인의 크기를 작게 유지하면서도 검색의 정확성을 유지할 수 있는 기법을 이용한다.

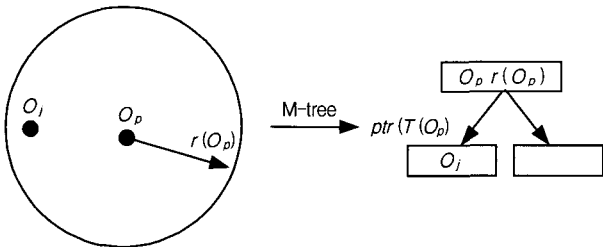
시계열 데이터베이스의 다차원 색인 구조는 시계열 데이터를 다차원 특징정보로 표현하고 그것을 이용하여 색인을 구성하는 구조이다. 대표적인 다차원 색인 구조로는 R-tree[8]와 R⁺-tree[10]을 이용한 공간 접근 방법과 색인 객체들로부터의 유사 거리 측정에 기반하여 검색 공간을 분할하고 색인을 구성하는 메트릭 트리[11]의 방법이 있다. 이 중에서 메트릭 트리는 공간 색인을 구성하기 위해서는 유사 거리 함수를 이용하며, 삼각 부등식(triangular inequality)을 적용하여 불필요한 검색 공간을 제거하여 검색 효율을 증가시킨다. 그러나 GNAT[12]와 같은 기존의 메트릭 트리는 하향식(top-down)으로 반복적으로 구성되므로, 객체의 삽입과 삭제의 경우에 대하여 트리의 균형을 보장할 수 없으며, 성능 저하를 막기 위해서는 비싼 비용으로 다시 트리를 재구성해야 한다는 단점을 가진다. 따라서, 다차원의 특징을 갖는 음악 데이터를 색인하기 위해, 위의 문제점을 해결한 M-tree를 본 논문에서는 이용한다.

위와 같은 다차원 색인 기법을 이용하여 색인을 구성하면 기존의 QBH 시스템에 비해 많은 성능 향상을 가져온다. [13]에서는 QBH 시스템과 8차원의 시계열 데이터를 가지고 다차원 색인을 구성한 시스템의 실행 시간을 평가하였고 그 결과는 (그림 2)와 같다. [13]의 연구에 따르면 10,000곡의 노래를 다차원 색인구조로 색인을 구성하면 기존의 QBH 시스템에 비해 3배 정도의 성능 향상이 있음을 보였다.



(그림 2) 성능 평가 그래프(참고문헌 [13])

그리고 M-tree의 공간 색인에 대해 알아보면 색인은 $M = (D, d)$ 로서 R-tree와 같은 동적인 공간접근 방법(spatial access method)의 장점과 거리 함수를 사용하여 객체를 색인하는 메트릭 트리의 장점을 결합한 형태이다. 여기서 D는 특정 정보의 도메인 값(색인 키 값)이고 d는 거리 값이다. M-tree는 메트릭 공간의 영역에 대응하는 고정된 크기의 노드를 객체들로 구조화한다. M-tree의 노드들은 M개의 객체를 저장할 수 있는데, 여기서 M은 노드의 용량을 말한다. 그리고 노드는 단말 노드와 내부 노드로 나눌 수가 있는데 단말 노드는 객체의 정보를 가지고 있고, 내부 노드는 라우팅 객체로 방향성을 나타낸다. 이것을 그림으로 표시하면 (그림 3)과 같다.



(그림 3) M-tree 색인 객체의 도식적 표현

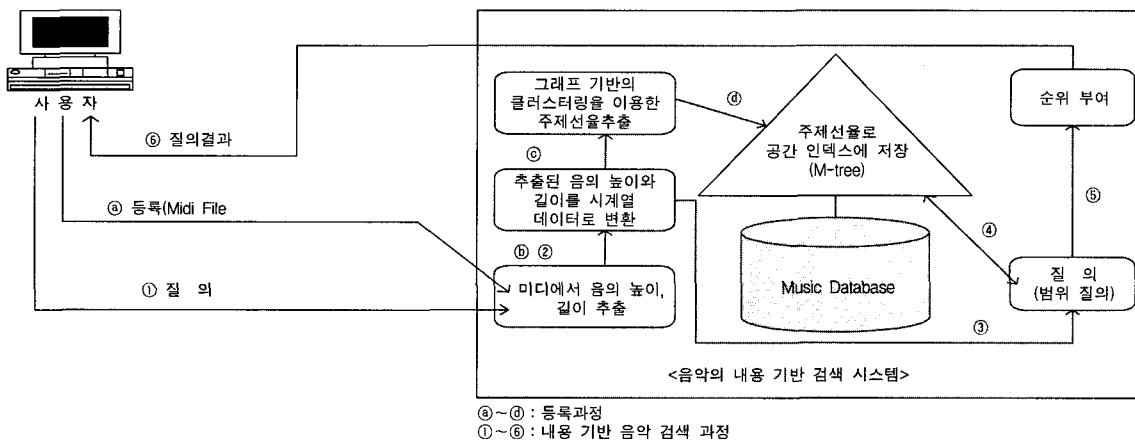
내부노드는 라우팅 객체로 중심점 O_p 와 반지름 $r(O_p)$ 를 저장하고 있고 단말노드 O_i 는 객체의 실제 내용을 가지고 있다. 따라서 이와 같이 트리를 구성하면 각 단말 노드의 객체는 부모 노드까지의 거리를 항상 저장하고 있어 검색 단계에서 검색을 위한 계산 연산을 줄여 검색의 효율성을 갖는다. M-tree의 대표적인 질의로는 범위 질의의 탐색(Range Query Search : RQS)이 있는데, 이 범위 질의는 사용자가 어떠한 유효 질의 범위를 설정하면 그 범위 안에 있는 모든 값을 검색하는 방법이다.

본 논문에서는 기존의 내용기반 음악정보 검색의 불안정한 특징 추출을 보완하기 위해 음악을 시간에 따른 음의 높낮이 곡선으로 인식하고 이 값을 시계열 데이터로 변환하고 시계열 데이터베이스의 색인 기법인 M-tree에 저장하여 색인을 구성한다. 색인을 구성시 음악 전체를 색인으로 구성하지 않고 음악을 동기 단위로 분해하고 박자가 다른 음악간의 색인과 유사도 계산을 위해 동기별 색인의 길이를 같게 만들어주는 정규화 과정과 유클리드 거리 함수의 오류를 보정하는 보정 단계를 거쳐 동기별 색인을 구성한다. 그리고 동기별 색인 구성시 동기 전체를 색인으로 구성하지 않고 사용자가 기억하고 검색질의로 사용할 가능성이 높은 주제선율을 그래프 기반의 클러스터링 알고리즘을 이용하여 추출하고 색인을 구성하여 자료 공간의 감소와 검색의 속도를 향상시키고자 한다.

3. 내용기반 음악정보 검색 시스템의 색인과 검색 기법

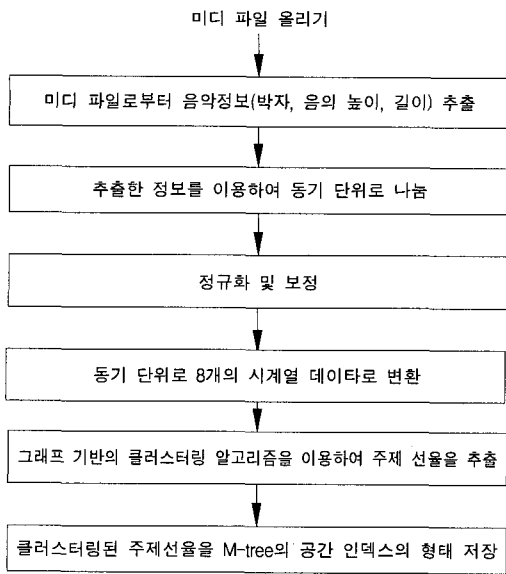
3.1 내용기반 음악정보 검색 시스템의 구조

본 논문에서 제안한 내용기반 음악정보 검색 시스템의 구조는 (그림 4)와 같다. 시스템을 크게 두 부분으로 나누면 색인 구성하는 단계(그림 5)(a)와 이 구성된 색인을 이용하여 질의 처리를 하는 과정(그림 5)(b)으로 나눌 수 있다.

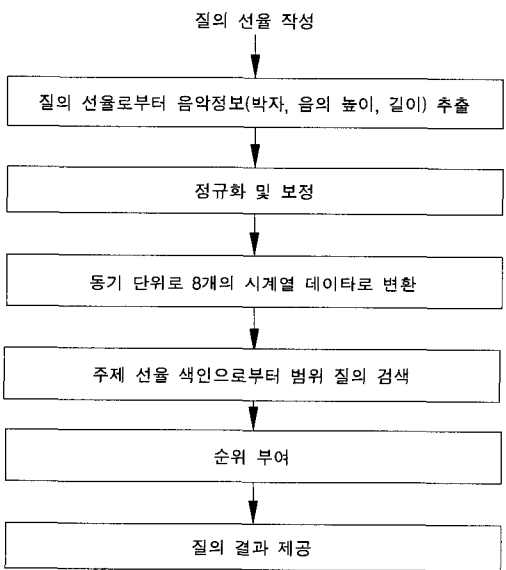


③~⑤ : 등록과정
①~⑥ : 내용 기반 음악 검색 과정

(그림 4) 내용기반 음악정보 검색 시스템의 전체 구조



(a) 색인 구성 과정



(b) 질의 처리 과정

(그림 5) 내용기반 음악정보 검색 시스템의 색인 구성과 질의 처리 과정

색인 구성은 미디 파일에서 음의 높이, 길이, 박자 등을 추출하고 추출한 정보 중에서 각 음의 높이와 길이 값을 이용하여 길이의 변화에 따른 음 높이의 변화 곡선의 형태로 표시한다. 이 곡선의 형태는 시간의 증가에 따른 음의 높낮이 변화로 시계열 데이터와 동일한 형태이다. 다음 과정은 시계열 데이터를 동기 단위로 나누고 이 값을 이용하여 정규화와 보정 과정을 거치고 동기별 8개의 시계열 데이터를 추출하며 이 값을 가지고 그래프 기반의 클러스터링 알고리즘을 이용하여 서로 유사한 값은 클러스터링 시킨다. 이 클러스터링된 값을 주제선율이라고 하고 이 주제 선율을 M-tree의 저장 방식인 공간 인덱스(원의 형태)로

저장한다. 따라서 본 논문에서 음악의 주제선율은 해당 곡을 대표할 수 있는 부분으로서 음악 파일 내에서 유사한 형태로 반복되는 부분이다[3].

질의 처리는 질의 인터페이스에서 질의 선율을 입력받고 이 값에서 음의 높이, 길이, 박자등을 추출하고 이 값을 정규화 및 보정 과정을 거쳐 동기별로 8개의 시계열 데이터를 구한다. 그리고 기존의 M-tree의 질의 처리 중에 범위 질의를 이용하여 질의값과 비교를 통하여 사용자가 원하는 데이터를 검색, 반환한다. 검색의 결과는 순위화 과정을 거쳐 유사한 순서로 표시한다. 자세한 색인 구성 과정과 질의 처리 과정은 다음 절에서 기술한다.

3.2 음악의 시계열 데이터 변환과 정규화 및 보정

음악의 가장 중요한 특성은 음이 시간에 따라 변화하는 선율이므로 미디에서 구할 수 있는 정보 중에서 음의 길이와 높이 값을 이용하여 음의 길이 값에 따라 음의 높이의 변화를 구하여 시간에 따른 선율 정보로 표현하고 이 선율 정보는 시간에 따라 변화하는 시계열 데이터이므로 이 값을 시계열 데이터베이스에 저장한다.

본 논문에서는 입력되는 음악은 미디 파일로 음악의 높이, 길이, 박자 등의 정보를 시퀀스 형태로 갖는다. 여기서 미디의 정보는 각각 음의 높이와 길이를 가지지만, 이 값을 합치면 음의 길이 값에 따른 높이의 변화량으로 시간의 변화에 따른 음의 높이 변화의 시계열 데이터 형태로 표현이 가능하다. 예를 들면 아래의 (그림 6)과 같다.



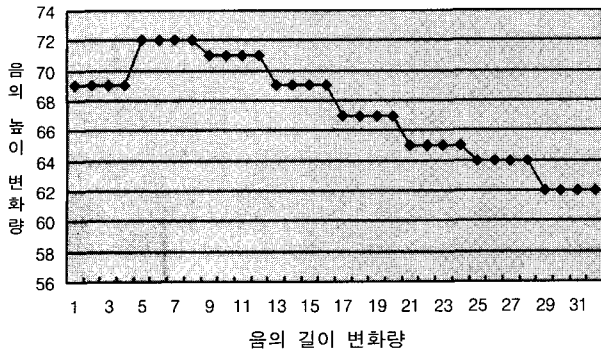
(그림 6) 2/4박자의 음악의 한 동기

위의 (그림 6)은 음악의 한 동기(2/4)를 악보로 표시한 것으로 위의 악보를 음의 높이와 길이의 시퀀스의 정보를 나타내면 아래와 같다.

높이 : 67 72 71 69 67 65 64 62

길이 : 4 4 4 4 4 4 4 4

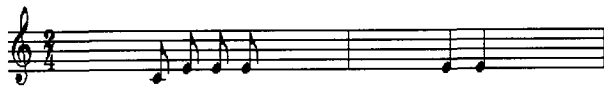
위에서 우리가 추출한 미디의 길이 정보는 32분 음표 기준의 정보로 32분 음표의 1로 잡고 여기에 대한 상대적인 값의 크기로 8분 음표이면, 32분 음표보다 4배 크기를 가지므로 4로 잡는다. 그리고 높이는 음의 위치에 따른 절대적인 높이 값으로 표현한다. 위의 길이 변화값을 X축의 값으로 보고, 높이 값을 Y축의 값으로 보면 아래의 (그림 7)과 같은 표현이 가능하다. 따라서 이 곡선은 시간에 따라 변화하는 음의 높이 변화량으로, 시간에 따른 데이터를 갖는 시계열 데이터의 형태이다.



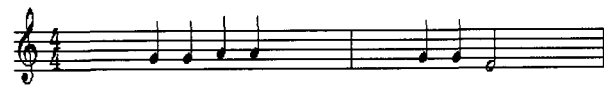
(그림 7) 길이변화에 따른 음의 높낮이 변화 곡선

위와 같이 시계열 데이터로 표현하는 과정에서 음악에 포함된 음표의 개수는 음악에 따라 다르기 때문에 시계열 데이터의 길이, 즉 원소의 개수가 다르게 된다. 동기 단위의 색인 구성과 유사도 계산시 각 동기의 시계열 데이터의 길이는 같아야 비교가 가능하다. 따라서 시계열 데이터의 길이가 같도록 정규화 과정이 필요하다. 이에 따라 한 동기 안에 있는 음표의 개수를 조사해보면 동요 100곡의 641동기의 67%인 432개의 동기가 한 동기 안에 7~8개의 음표를 가지고 있으며, 나머지 동기의 대부분은 7개보다 작은 음표를 한 동기 안에 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 동기별 8개의 음의 변화 패턴을 구하여 색인에 저장한다.

(그림 8)은 2/4박자의 '바둑이 방울'과 4/4박자의 '학교 중'의 악보를 비교한 것으로 박자가 다른 곡들도 동기에 있는 전체의 음의 길이는 다르지만 음악의 높낮이 변화 패턴은 유사한 것을 알 수가 있다.



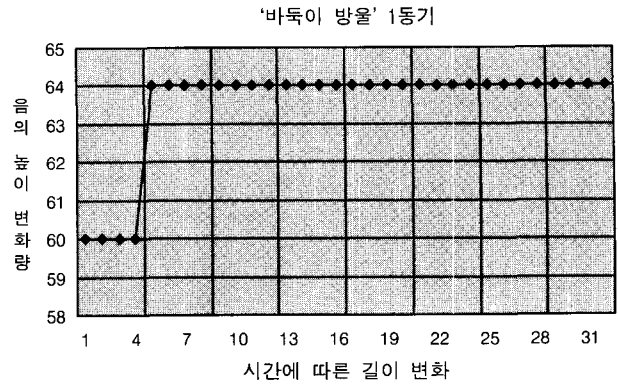
(a) 2/4박자의 '바둑이 방울' 악보



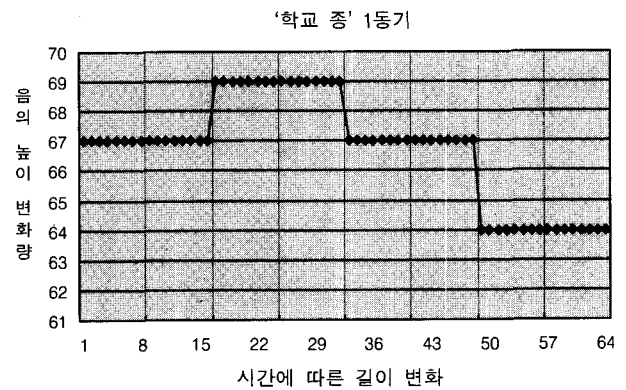
(b) 4/4박자의 '학교 중' 악보

(그림 8) 2/4박자의 '바둑이 방울'과 4/4박자의 '학교 중'의 악보

따라서 박자가 다른 음악에서도 일정한 개수의 변화 패턴을 추출하여 비교한다. 따라서, 2/4박자의 음악에서는 32분 음표로 표현된 음의 길이에서는 길이 4씩으로 잘라 그 평균값을 대표값으로 하면 8개의 시계열 데이터를 추출할 수가 있다. 4/4박자의 음악에서는 32분 음표로 표현된 음의 길이에서는 길이 8씩으로 잘라 그 평균값을 대표값으로 하면 8개의 시계열 데이터를 추출한다. (그림 9)(b)는 4/4박자의 '학교 중'을 길이 8씩 정규화를 표시한 그림이다. 위와 같은 정규화 과정을 통해서 동기단위의 선율정보를 8개의 시계열 데이터로 변환할 수 있다.



(a) 2/4박자의 '바둑이 방울' 정규화



(b) 4/4박자의 '학교 중' 정규화

(그림 9) 2/4박자의 '바둑이 방울'과 4/4박자의 '학교 중'의 정규화 처리

"조옮김" 된 음악이나 음높이가 전체적으로 변한 경우 동기 단위의 음악에서 높이는 다르지만 높이의 전체적인 변화 패턴은 같은 경우, 유사 거리 함수로 이용되는 유클리드 거리함수를 이용시 두 음악은 서로 다른 음악으로 간주한다. 따라서, 원래의 시계열 데이터와 평균의 차를 이용한 Offset Translation[9]을 적용해야 한다. 식 (2)의 $S[i]$ 는 시계열 데이터의 각 원소를 표시하고, $mean(S)$ 는 전체 시계열 데이터 S의 평균을 표시한다.

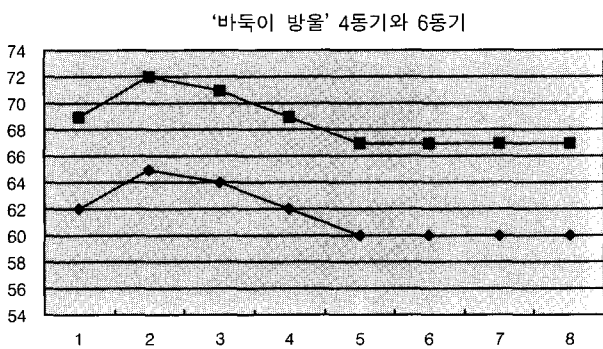
$$S[i] = (S[i] - mean(S)) \quad (2)$$

유클리드 거리함수는 각 원소간의 거리 값을 합하여 유사도 정도를 측정하기 때문에 전혀 다른 변화 패턴을 가진 음악도 거리의 합에 의해 같은 값이 나올 수가 있다. 이것을 보정하기 위해 유클리드 거리함수의 보정 기법인 Amplitude Scaling[9]을 이용하여 전체 곡선의 표준편차를 구하여 원래의 시계열 데이터에 나누어준다. 여기서 표준편차는 전체 곡선의 분포도를 표시하는 값으로 전체적으로 곡선의 패턴이 유사하면 표준편차의 값도 유사하다. 따라서 표준편차의 이 특징을 이용하면 전체적으로 패턴이 유사한 곡은 좀 더 유사하게 만들어 준다. 식 (3)의 $S[i]$ 는 시계열 테

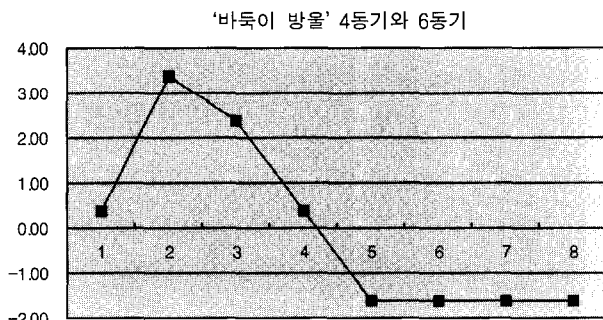
이터의 각 원소를 표시하고, $mean(S)$ 는 전체 시계열 데이터 S 의 평균을 표시, $std(S)$ 는 전체 시계열 데이터의 표준편차를 표시한다.

$$S[i] = (S[i] - mean(S)) / std(S) \quad (3)$$

(그림 10)에서 ‘바둑이 방울’ 4동기와 6동기를 비교하면 Offset Translation을 적용하기 전에는 유클리드 거리 함수로는 전혀 다른 음악이지만 Offset Translation을 적용한 후에는 똑같은 곡선으로 인식하여 유클리드 거리 함수의 오류를 보정할 수가 있다.



(a) Offset Translation 적용 전

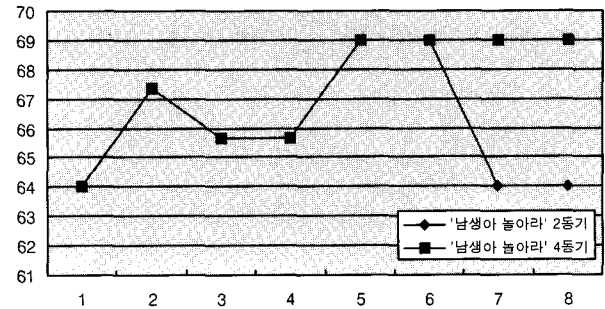


(b) Offset Translation 적용 후

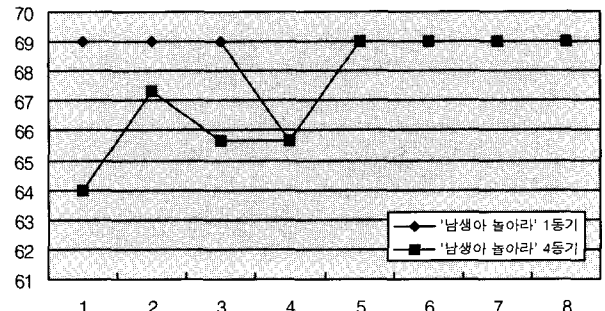
(그림 10) Offset Translation의 예제 그래프

(그림 11)은 ‘남생아 놀아라’의 2동기와 4동기, 1동기와 4동기를 비교한 것으로 기존의 유클리드 거리 함수를 이용하면 두 곡선의 패턴의 유사 거리값은 같게 나온다. 그러나 전체적으로 보았을 때는 ‘남생아 놀아라’의 2동기와 4동기 사이에는 틀린 부분이 2부분(시계열 데이터의 7번째와 8번째 원소 값), ‘남생아 놀아라’의 1동기와 4동기 사이에는 틀린 부분이 3부분(시계열 데이터의 1, 2, 3번째 원소 값)으로 전체적인 곡선의 패턴도 2동기와 4동기가 1동기와 4동기보다 더 유사하다고 판단할 수 있다. 따라서, Amplitude Scaling을 적용 시에는 2동기와 4동기의 표준편차가 1동기와 4동기의 표준편차보다 유사하기 때문에 원래의 시계열 데이터에 표준편차를 나누어주면 2동기와 4동기가 더 유사해져 내용 기반 음악 검색시 검색의 정확성을 높일 수가 있다.

‘남생아 놀아라’ 2동기와 6동기



‘남생아 놀아라’ 1동기와 4동기



(그림 11) Amplitude Scaling의 예제 그래프

3.3 그래프 기반 클러스터링 알고리즘을 이용한 주제선율 추출

음악은 다른 멀티미디어와는 다르게 전체적인 음악에서 반복되는 유사선율이 많이 발생하고 이런 선율에 의해서 전체적인 음악의 통일성을 가지게 하고 음악의 선율의 단절없이 부드럽게 전체적인 음악이 연결된다. 따라서 본 논문에서는 음악에서 반복되는 유사선율을 주제선율로 하고 이 주제선율을 구하기 위해 그래프 기반의 클러스터링 알고리즘을 이용하여 음악에서 유사한 동기를 찾는다. 실험에 따르면 동요 100곡에서 한 음악에서 2번이상 반복된 동기를 가진 음악은 전체의 82%인 82곡이 반복된 동기를 가지고 있다.

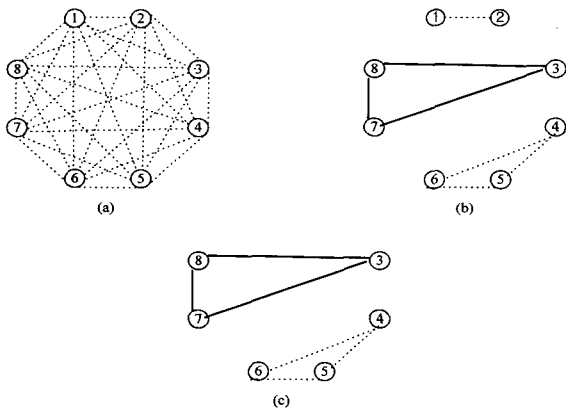
3.2절에서 구한 각 동기별의 8개의 시계열 데이터를 모두 색인화 하지 않고 동기단위 유사도 거리를 바탕으로 그래프 기반의 클러스터링 알고리즘을 적용하여 주어진 음악 내용을 대표하기 위해 일정한 변화 범위 내에서 반복되어진 선율을 그룹화하고 각 그룹의 대표 선율을 해당 음악의 주제선율로 추출한다. 따라서, 음악 전체의 선율로 색인을 구성하는 대신에 주제선율만으로 주제선율색인을 구성함으로써 대량의 음악 데이터베이스를 위한 색인 크기를 작게 유지하고 또한 검색의 속도를 증진한다.

그래프 기반 클러스터링 알고리즘을 이용하여 음악의 주제선율을 추출하기 위해서는 음악의 동기별로 변환된 시계열 데이터들간의 유사도 거리를 계산해서 동기간 유사도 거리행렬을 생성한다. <표 1>은 8개의 동기를 갖는 동요

‘종이접기’를 가지고 동기별로 8개씩 시계열 데이터를 추출하고 이 값을 가지고 거리 함수를 이용하여 생성된 유사도 거리 행렬이다. 이 유사도 거리 행렬에 그래프 기반의 클러스터링 적용하면 (그림 12)와 같다.

〈표 1〉 유사도 거리 행렬

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	5.192	2.965	4.461	4.842	4.745	2.965	3.132
2	5.192	0	4.377	3.429	2.595	3.143	4.377	4.643
3	2.965	4.377	0	5.511	5.431	5.490	0	1.563
4	4.461	3.429	5.511	0	1.205	0.872	5.511	5.510
5	4.842	2.595	5.431	1.205	0	0.842	5.431	5.557
6	4.745	3.143	5.490	0.872	0.842	0	5.490	5.632
7	2.965	4.377	0	5.511	5.431	5.490	0	1.563
8	3.132	4.643	1.563	5.510	5.557	5.632	1.563	0



(그림 12) 유사도 그래프로부터 후보 클러스터 형성

그래프 기반의 클러스터링 알고리즘을 이용하면 (그림 12) (a)와 같이 8개의 노드를 가진 그래프 구조로 8개의 동기를 표시 가능하고 이중에 유사한 동기를 클러스터링하기 위해 첫 번째로 임의의 노드를 선택하고, 선택된 노드를 제외한 각 노드와 유사도 값을 계산하여 유사도 값을 기준으로 유사도가 높은 경로를 선정하고 이 경로로 인해 순환 경로가 발생할 수 있는지를 조사한다. 순환 경로가 발생하지 않으면 다른 임의의 노드를 선정하여 앞의 방법을 반복적으로 실행하여 순환 경로를 찾는다. 여기서 찾은 순환경로는 음악에서 유사한 동기의 집합으로 음악을 대표할 수 있는 선율의 집합이다. 순환 경로가 생기지 않은 부분은 인접 노드 중에 유사도가 높은 노드를 선택하여 경로를 만든다. 위의 방법으로 ‘종이접기’에서는 3, 7, 8동기와 4, 5, 6동기와 1, 2 동기가 서로 유사도가 높은 동기의 집합으로 형성되어 (그림 12)(b)와 같은 후보 클러스터를 생성한다. 이 중에서 유사도가 낮아 클러스터링이 된 경우인 1, 2동기는 수정된 그래프 기반의 알고리즘[4]에 의해 제거한다. 최종적으로 (그

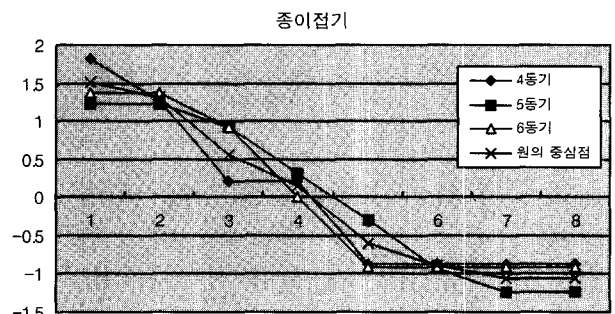
림 12)(c)처럼 3, 7, 8동기와 4, 5, 6동기만 클러스터링 된다.

수정된 그래프 기반의 알고리즘은 그래프 알고리즘을 이용하여 동기를 그래프의 노드로 변환하고 각각의 노드에서 유사도 값에 의한 최상의 경로를 찾고 이 최상의 경로로 순환 경로를 만들고 이 순환 경로의 유사도 값을 저장한다. 순환 경로가 생기지 않은 나머지 노드 사이의 거리를 계산하여 위의 순환 경로의 유사도 값보다 작은 노드는 제거한다. 따라서 유사성을 갖는 동기들이 하나의 클러스터를 구성하게 되며 이러한 클러스터를 해당 음악의 주제선을 클러스터라고 한다.

3.4 M-tree를 이용한 주제선을색인 구성

3.3절에서 구해진 유사선율로 클러스터링된 주제선율을 중복 저장하여 검색의 효율을 감소시키지 않고 M-tree 공간색인의 기법을 이용하여 원의 중심점과 반지름의 형태로 저장하여 저장공간의 감소와 검색의 효율을 향상시킨다. 따라서 유사선율로 클러스터링된 주제선을색인을 유사도 거리 기반인 M-tree의 공간색인 형태로 저장한다. 그리고 이 M-tree의 공간색인은 유사선율로 클러스터링된 모든 동기를 포함하는 원의 형태이다. 이 절에서는 유사선율로 클러스터링된 모든 동기를 포함하는 원의 크기를 최대한 작게 만들어 공간 활용을 높이는 방법에 대해서 기술한다.

예를 들면 앞에서 구한 ‘종이접기’에서 그래프 기반의 클러스터링을 이용하여 4, 5, 6동기가 클러스터링 되었다. (그림 13)과 같이 클러스터링된 동기들을 주제선을색인으로 저장하기 위해 유클리드 거리 함수를 이용하여 M-tree의 주제선을색인의 중심점을 구하는 방법은 아래와 같다.



(그림 13) ‘종이접기’ 4, 5, 6동기의 중심점 구하기

클러스터링된 객체 $X(X[1], X[2], \dots, X[8]), Y(Y[1], Y[2], \dots, Y[8]), Z(Z[1], Z[2], \dots, Z[8])$ 가 있을 때 중심점 $\bar{A}(\bar{A}[1], \bar{A}[2], \dots, \bar{A}[8])$ 를 구하는 식은 식 (4)와 같다.

$$\bar{A}[i] = \frac{Max(X[i], Y[i], Z[i]) + Min(X[i], Y[i], Z[i])}{2} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, 8) \quad (4)$$

<표 2> '종이접기' 4, 5, 6동기의 중심점과 반지름

	1번째 값	2번째 값	3번째 값	4번째 값	5번째 값	6번째 값	7번째 값	8번째 값	중심점에서의 유사도 거리
4동기	1.808	1.272	0.201	0.201	-0.871	-0.871	-0.871	-0.871	0.592
5동기	1.234	1.234	0.926	0.309	-0.309	-0.926	-1.234	-1.234	0.634
6동기	1.376	1.376	0.918	0	-0.918	-0.918	-0.918	-0.918	0.552
4, 5, 6 동기의 중심점	1.521	1.305	0.563	0.154	-0.613	-0.898	-1.052	-1.052	0

M-tree 색인의 반지름은 위의 클러스터링된 동기들을 다 포함할 수 있는 값이어야 한다. <표 2>와 같이 중심점에서 각각의 동기에 유사도 거리를 구하고 이 값 중에서 가장 큰 값을 반지름으로 사용한다. 반지름 구하는 공식은 식 (5)와 같다.

$$R_{Max} = \text{Max}(D(\bar{A}, X), D(\bar{A}, Y), D(\bar{A}, Z)) \quad (5)$$

따라서 주제선율색인으로 클러스터링된 동기들을 원의 중심점과 반지름의 형태로 M-tree에 저장한다. 즉, 동기들의 유사도에 따라 클러스터링된 객체를 하나의 원과 반지름의 형태로 M-tree에 색인을 구성하여 저장하면, 저장할 객체 수를 줄일 수 있다. 따라서, 사용자의 음악 데이터 검색시, 유사도 거리 계산에 참여하는 객체의 수도 같이 줄기 때문에 검색을 효율적으로 할 수 있다.

3.5 주제선율색인을 이용한 질의 처리

이 절에서는 관련 연구에서 기술한 M-tree의 질의 처리로 3.4절에서 색인된 음악의 동기별 주제선율을 가지고 범위 질의를 하는 방법에 대해서 기술한다.

<표 3>은 동요 '종이접기'에 대해 동기별로 8개의 시계열 데이터 정보를 추출하고 기존의 그래프 기반의 클러스터링 알고리즘을 이용하여 주제선율을 중심점과 반지름의 길이로 다시 표시한 값이다. 그리고 주제선율로 선택되지 않은 동기들도 8개의 시계열 데이터 정보를 저장하여 사용자가 비 주제선율로 질의를 하더라도 검색이 가능하게 한다.

내용기반 음악정보 검색 시스템에서는 M-tree의 범위 질의를 이용하여 사용자가 원하는 음악 데이터를 검색한다. 따라서, 사용자가 임의 질의 값을 주고 그 질의 값을 기준으로 유효 범위를 입력한다.

<표 3> '종이접기'의 주제선율 색인 구성

	1번째 값	2번째 값	3번째 값	4번째 값	5번째 값	6번째 값	7번째 값	8번째 값	반지름	질의로부터 유사거리
3, 7, 8동기	-1.269	-1.446	-0.708	0.066	0.664	1.365	0.664	0.664	0.781	2.70
4, 5, 6동기	1.521	1.305	0.563	0.154	-0.6131	-0.898	-1.052	-1.052	0.634	2.72

<표 4> 사용자의 질의값과 유효 범위

	1번째 값	2번째 값	3번째 값	4번째 값	5번째 값	6번째 값	7번째 값	8번째 값	유효 범위
질의 F(Q)	0.126	-0.070	-0.072	0.110	0.025	0.233	-0.194	-0.194	2.70

사용자가 임의 질의값을 F(Q)로 주고 유효 범위($\epsilon = 2.70$)를 주면 주제 선율과 유사도 거리를 계산하여 유사도 거리가 유효 범위안에 있는 '종이접기' 3, 7, 8 동기가 결과 값으로 나오고 유효 범위 밖에 있는 '종이접기' 4, 5, 6동기는 결과 값에서 벗어난다.

4. 내용기반 음악정보 검색 시스템의 구현 및 실험

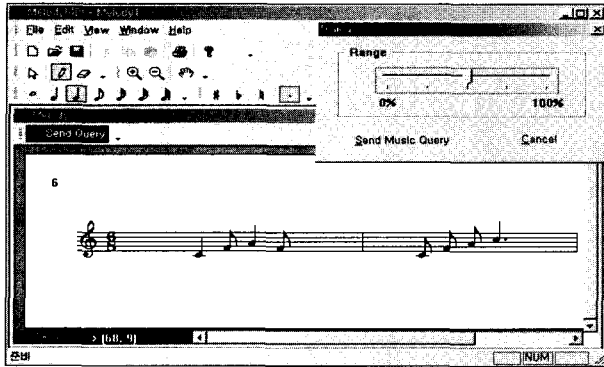
본 논문에서 제안한 알고리즘을 이용한 내용기반 음악 검색에서 검색의 정확성과 효율성을 증명하기 위해 내용기반 음악정보 검색 시스템의 구현을 통해 실험하였다. 제안된 내용기반 음악정보 검색 시스템은 window 2000을 운영체제로 하는 개인용 컴퓨터(Pentium-4 1.5G, 256RAM)에서 프로그램은 Microsoft Visual C++ 6.0로 구현하였다. 사용자 질의는 사용자가 원하는 데이터를 선율 정보로 입력하는 형태이고, M-tree의 색인 구성 부분을 확장해서 사용자가 질의와 유효 범위를 입력하면 범위질의를 이용하여 결과를 반환하도록 구성되었다.

4.1 제안된 색인 및 검색 알고리즘의 실험

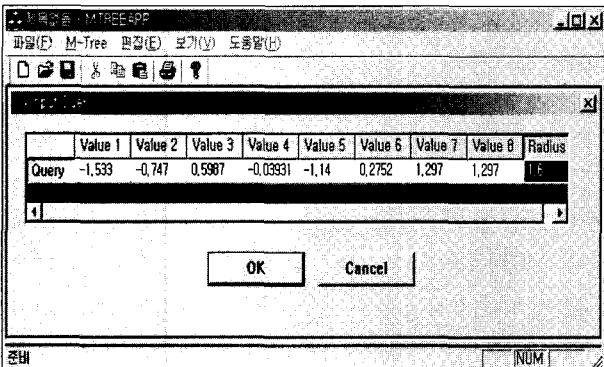
본 논문에서 제안된 내용기반 음악정보 검색 시스템의 편리성과 특징 추출의 정확성을 보기 위해 '바둑이 방울', '나비나비흰나비'와 같은 동요 100곡을 가지고 색인을 구성하였다.

질의 처리는 사용자가 원하는 선율 정보로 입력하면 이 값을 바탕으로 음의 높이, 길이, 박자 등의 값을 추출하고 M-tree의 범위 질의를 이용하여 검색 후 검색 결과를 반환한다. (그림 14)(a)는 선율 정보를 입력하는 인터페이스로 사용자가 악보를 보고 동기 단위의 선율 정보를 입력한다. 이 입력된 선율 정보에서 각 음에 대한 음의 높이와 길이 값을 추출한다. 추출된 정보를 가지고 (그림 14)(b)는 검색시에 필요한 8개의 시계열 데이터로 변환하고 이 정보를 가지고 사용자가 입력한 유효 범위 안에 있는 결과 값을 반환한다. M-tree의 범위 질의를 하기 위해서는 사용자가

원하는 값의 유효 범위를 설정해야 한다. 이를 위해 사용자에게 원하는 유사도를 0~100% 사이의 값을 입력하게 하고 시스템에서는 이 값을 이용하여 전체 색인의 크기에 대한 상대적인 값으로 사용자 유효 범위를 정한다.



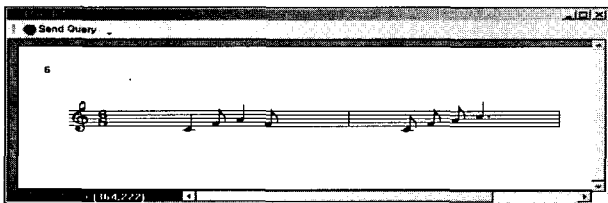
(a) 선율 정보 입력



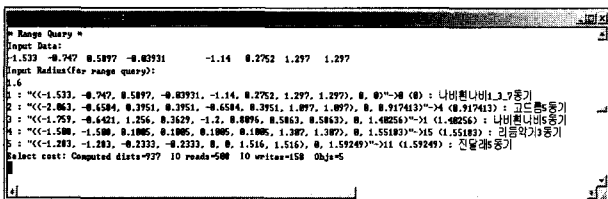
(b) 선율 정보의 시계열 데이터 변환

(그림 14) 질의 처리 인터페이스

질의로 '나비나비흰나비'의 1동기(6/8박자)로 선율정보로 입력(그림 15)하고, 사용자가 입력한 유사도 값은 80%(유효 범위 = 1.6)로 범위질의를 실행한 결과 값은 (그림 16)과 같다.



(그림 15) '나비나비흰나비'의 질의 인터페이스



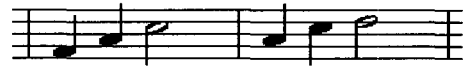
(그림 16) '나비나비흰나비'의 질의 결과 인터페이스

위의 (그림 16)의 결과(유사거리 순으로)를 악보로 표시하면 (그림 17)과 같다.



질의로부터 유사 거리 = 0

(a) '나비나비흰나비' 1, 3, 7동기(6/8박자)



질의로부터 유사 거리 = 0.917413

(b) '고드름' 5동기(4/4박자)



질의로부터 유사 거리 = 1.40256

(c) '나비나비흰나비' 5동기(6/8박자)



질의로부터 유사 거리 = 1.55183

(d) '리듬악기' 3동기(4/4박자)



질의로부터 유사 거리 = 1.59249

(e) '진달래' 5동기(6/8박자)

(그림 17) 유사 거리 순서에 따른 범위 질의 결과

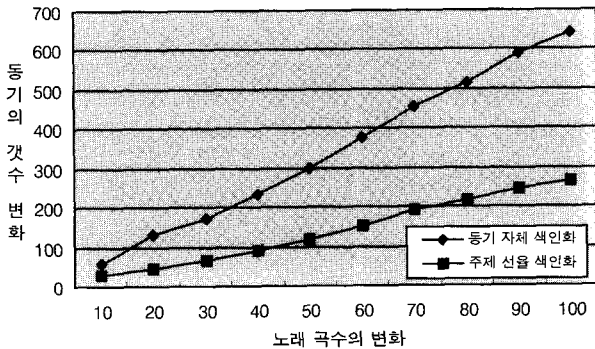
(그림 17)은 사용자가 선율정보를 입력하면 M-tree에 저장된 선율정보와 질의의 유사 거리를 계산하여 사용자가 원하는 유사 범위안의 질의 결과에 대한 악보를 보여준 그림이다. 이때 유사 거리가 작을수록 질의와 유사한 선율의 패턴을 가지고 있는 것을 위의 (그림 17)은 보여주고 있다. 따라서, 관련연구에서 소개한 기존의 내용기반 음악검색 시스템의 음의 높이 변화 방향만을 고려한 불완전한 특징 추출의 단점을 보완하여 음의 길이와 높이의 높낮이 정도를 포함한 시간에 따른 음의 높낮이 패턴을 시계열 데이터로 변환하여 기존의 시스템의 정확성을 향상시켰고 유사도 기반의 M-tree 범위 질의를 통하여 사용자가 원하는 질의의 결과를 유사한 순으로 정확하게 보여줌을 증명할 수가 있다.

4.2 실험 결과

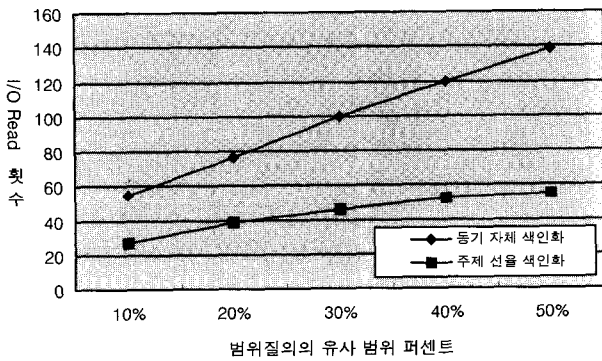
동요 100곡에 대해 본 논문에서 제안한 알고리즘에 따라 주제선율을 이용한 색인과 동기 자체 색인화로 색인시에

동기의 개수, I/O Read 횟수를 비교하였다.

주제선율로 저장한 값과 동기 단위로 저장시, 동기 개수에 관한 비교는 (그림 18)과 같다. (그림 18)을 분석하면 음악에서 주제선율로 저장하면 동기로 저장하는 방법보다 노래 100곡을 저장했을 때 50% 정도로 저장할 객체의 수가 감소하는 것을 알 수 있다.



(그림 18) 주제선율 색인화와 동기 자체 색인화의 동기 개수 비교



(그림 19) 주제선율 색인화와 동기 자체 색인화의 I/O Read 횟수 비교

(그림 19)는 기존의 범위 질의를 이용하여 주제선율 색인시에 유효 범위의 증가에 따라 I/O Read 횟수의 감소를 평가한 그래프이다. (그림 19)에서 보면 유사도 50%의 범위 질의를 실행하면 결과 값을 찾기 위한 I/O Read 횟수가 70%로 감소하여 전체 검색 시간이 감소한다. 따라서 위의 두 개의 그래프를 살펴보면, 내용기반 음악정보 검색을 위해 주제선율로 저장시 자료 저장 공간의 감소와 검색 속도의 향상으로 색인의 효율성이 증가하는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

멀티미디어 자료의 증가와 활용의 증대로 멀티미디어 자료에 대한 검색의 필요성이 증가되고 있다. 그 중에서도 음악의 종류의 다양성과 방대함에 의해 특히 음악의 검색과 색인의 필요성이 증가되고 있다. 본 논문에서는 기존의 내

용기반 음악정보 검색의 불완전한 특징 추출 및 색인의 비효율성을 해결하기 위해 음악의 특징 추출에서 음의 높이와 길이 값을 추출하고 이 값을 시간에 따른 음의 높낮이 변화인 시계열 데이터로 변환하고 이 값을 색인화 한다. 또한 음악 전체를 색인으로 구성하지 않고 그래프 기반의 클러스터링 알고리즘을 이용하여 주제선율을 추출하고 이 주제선율을 색인으로 저장하여 검색의 효율성을 얻는다. 또한 기존의 다차원 색인 중에서 검색과 정확성이 우수한 M-tree에 색인을 구성하고, 검색하여 기존의 다차원 색인에서 생길 수 있는 문제점을 최대한 줄였고 속도도 향상시켰다. 그리고 질의로는 범위질의를 실행하여 사용자가 유효 범위를 주면 그 범위 안에 있는 값을 효과적으로 찾았다.

향후 연구로는 질의를 일정한 동기 단위가 아닌 동기보다 작거나 큰 값이 들어와도 검색이 가능한 서브 시퀀스 질의(subsequence query)를 연구하고 검색의 정확성을 위해 연관성 피드백(relevance feedback)에 대한 연구도 같이 진행되어야 한다.

참 고 문 헌

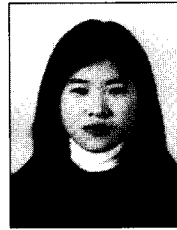
- [1] A. Ghias, J. Logan, D. Chamberlin and B. C. Smith, "Query By Humming Musical Information Retrieval in an Audio Database," ACM Multimedia 95, November, 1995.
- [2] R. J. McNab, L. A. Smith and Ian H. Witten, C. L. Henderson and S. J. Cunningham, Towards the digital Music Library : Tune Retrieval from Acoustic Input., Digital Libraries, 1996.
- [3] 이병욱, 백기풍, 3번만 읽으면 누구나 작곡할 수 있다, 도서출판 작은우리, 1989.
- [4] Yong-Kyoon Kang, Kyong-I Ku and Yoo-Sung Kim, Extracting Theme Melodies by Using a Graphical Clustering Algorithm for Content-based Music Information Retrieval, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, 2001.
- [5] P. Ciaccia, M. Patella, P. Zezula, "M-tree : An Efficient Access Method for Similarity Search in metric Spaces," 23rd VLDB Conference, 1997.
- [6] D. Raffei and A. Mendelzon, "Similarity-Based Queries for Time Series Data," Proceedings of International Conference on Management of Data, ACM SIGMOD, Arizona, May, 1997.
- [7] R. Agrawal, C. Faloutsos and A. Swami, "Efficient Similarity Search in Sequence Database," Proceedings of the 4th International Conference on Foundations of Data Organization and Algorithms, Chicago, Illinois, pp.69-84, Oct., 1993.

- [8] A. Guttman, "R-trees : A dynamic index structure for spatial searching," ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, 1984.
- [9] Rakesh Agrawal, King-Ip Lin, Harpest S. Sawhney, Kyuseok Shin, "Fast Similarity Search in the Presence of Noise, Scaling, and Translation in Time-Series Database," Proceedings of the 21st VLDB Conference, Zurich, Switzerland, 1995.
- [10] T. K. Sellis, A. Roussopoulos and C. Faloutsos, "The R*-tree : A dynamic index for multidimensional objects," 13th VLDB, pp.507-518, Sept., 1987.
- [11] J. K. Uhlman, "Satisfying general proximity/similarity queries with metric trees," Proceedings of Lett., 40(4), pp.175-179, Nov., 1991.
- [12] S. Brin, Near neighbor search in large metric spaces, 21st VLDB, Sept., 1995.
- [13] Y. Nishihara, T. Sakata, M. Yamamuro and K. Kushima, A Practical Query By Humming System for a Large Music Database, ACM Multimedia 2000, LA, USA, Nov., 2000.



하진석

e-mail : hajinseok@hotmail.com
 2001년 인하대학교 금속공학과 졸업(학사)
 2003년 인하대학교 정보통신대학원 졸업
 (공학석사)
 관심분야 : 멀티미디어, 데이터베이스,
 디지털신호처리 등



구경이

e-mail : g2001419@inhavision.inha.ac.kr
 1997년 인하대학교 전자계산공학과(공학사)
 1999년 인하대학교 대학원 전자계산공학과
 (공학석사)
 2000년~현재 인하대학교 대학원 전자계산
 공학과 박사과정

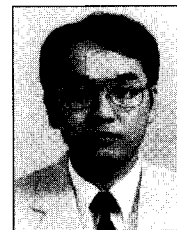
관심분야 : 이동 컴퓨팅, 데이터베이스, 정보 검색



박재현

e-mail : jhyun@inha.ac.kr
 1986 서울대학교 제어계측공학과(학사)
 1988 서울대학교 제어계측공학과(석사)
 1994 서울대학교 제어계측공학과(박사)
 1995~현재 인하대학교 정보통신공학부
 부교수

관심분야 : 실시간시스템, 내장형시스템, 컴퓨터네트



김유성

e-mail : yskim@inha.ac.kr
 1986년 인하대학교 전자계산 공학과(이학사)
 1988년 한국과학기술원 전산학과(공학석사)
 1992년 한국과학기술원 전산학과(공학박사)
 1990년~1992년 삼성전자 컴퓨터부문 주임
 연구원

1996년~1997년 미국, 퍼듀대학교 전산학과 방문연구원
 1992년~현재 인하대학교 정보통신공학부 부교수
 관심분야 : 멀티미디어 정보검색, 이동 데이터베이스