

라벨라시안스펙트르의 고속국부색인화에 기초한 화상검색체계실현의 한가지 방법

김 일 광

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《과학기술강국을 떠메고나갈 과학기술인재대렬을 꾸리고 그들의 연구개발능력을 세계적으로 앞선 수준에 올려세워야 합니다.》(《조선로동당 제7차대회에서 한 중앙위원회사업총화보고》 단행본 41페이지)

현재 본문검색만이 아니라 화상과 음성, 동화상과 같은 다매체검색에 대한 연구가 심화되고있으며 특히 내용에 기초한 화상의 검색은 검색효율을 높이는데서 매우 중요하다.

선행연구[1]에서는 가장 큰 일부 고유값들의 합을 리용하여 나무를 정의하고 이 나무 구조에 따라 검색을 진행하는 방법을 제안하였지만 이 방법은 검색의 정확도를 높일수 없다.

선행연구[2]에서는 이웃행렬 그자체를 리용하지 않고 라벨라시안스펙트르를 리용하는 방법을 제안하였지만 이 방법은 화상자료기지의 용량이 커짐에 따라 색인구축에 많은 비용이 든다.

본문에서는 화상의 계층적이고 구조적인 특성을 반영하여 검색의 효과성을 높일수 있는 그래프에 기초한 화상색인과 검색의 속도를 높일수 있는 고속국부색인화방법을 리용한 화상검색체계실현의 한가지 방법을 제안하였다.

1. 그래프에 기초한 화상검색방법의 일반적원리

일반적으로 화상검색방법에는 형태정보에 기초한 방법, 문양정보에 기초한 방법, 그래프에 기초한 방법들이 있다.

형태정보에 기초한 방법에서는 화상의 둘레, 면적, 형태의 복잡도를 비롯한 특징량들을 색인자료로 리용한다.

문양정보에 기초한 검색방법은 화상들을 분류하고 인식하는데 리용되며 여기에는 구조적방법, 모형에 기초한 방법, 통계적방법, 주파수스펙트르방법들이 속한다.

그래프에 기초한 방법은 화상의 특징정보들을 그래프의 마디들과 령들로 표현한다. 이 방법은 대상의 기하학적인 구조, 계층적인 구조와 같은 많은 정보들을 풍부히 표현하고있는것으로 하여 많이 리용되고있으나 그래프정합을 실현해야 한다는 문제점이 있다.

그래프 $G = (V, E)$ 가 주어졌다고 하자.

이때 그래프 G 의 이웃행렬을 A 로 표시하면

$$D(u, u) = \sum_{u \in V} A(u, v)$$

를 그래프 G 의 차수행렬, $L(G) = D(G) - A(G)$ 를 행렬 G 의 라플라시안행렬이라고 한다. 그리고 이 행렬의 고유값분해가

$$L(G) = P \Lambda P^T$$

일 때 이 고유값들의 모임 $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{|V|}\}$ 를 라플라시안스펙트럼이라고 한다. 여기서

$$\Lambda = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{|V|}), P = p_1, p_2, \dots, p_{|V|}$$

는 고유값들로 이루어지는 대각선행렬과 고유값들에 대응하는 고유벡터들로 이루어지는 행렬이다.

2. 라플라시안스펙트럼의 고속국부색인화와 그것에 기초한 화상검색체계의 실현

그래프에 기초한 화상검색방법은 질문화상에 대한 그래프, 화상자료기지의 개별적인 화상에 대한 그래프의 가능한 모든 부분그래프와의 정합을 요구한다.

대상의 그래프적표현을 진행하면 이것은 기하학적인 표현으로 되며 검색을 위해서는 이 그래프에 대한 대수적인 구조가 필요하다. 그래프의 순서화된 고유값들의 모임인 라플라시안스펙트럼은 화상의 형태적구조와 특징들을 풍부히 반영하므로 색인표식자로서 효과적이다.

그래프 $G = (V, E)$ 가 주어졌다고 하자. 이때 G' 는 새로운 경계 $e'(e' \notin E)$ 를 추가하여 G 로부터 얻어진 새로운 그래프이다.

정리 1 그래프 G 와 그래프 G' 의 고유값들은 서로 교차된다.[2] 즉

$$0 = \lambda_1(G) = \lambda_1(G') \leq \lambda_2(G) \leq \lambda_2(G') \leq \dots \leq \lambda_n(G) \leq \lambda_n(G') \quad (1)$$

이다. 그리고

$$\sum_{i=1}^n (\lambda_i(G') - \lambda_i(G)) = 2$$

이다.

따라서 적어도 하나의 안갈기식이 성립한다.

보조정리 n 개의 정점을 가진 그래프를 $G = (V, E)$ 로, $\Gamma_{(G)} = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$ 을 라플라시안스펙트럼으로 표시하자.

새로운 뿔 e 를 추가하는것에 의해 그래프 G 의 스펙트럼값은 다음의 두가지 방식으로 변화된다.

① 스펙트럼용근수변화가 고유값렬의 한 위치에서 발생하는 경우

$$\Gamma_{(G+e)} = (\Gamma_{(G)} \setminus \lambda_k) \cup \{\lambda_k + 2\}, k \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (2)$$

이다.

② 스펙트럼용근수변화가 고유값렬의 두 위치에서 발생하는 경우

$$\Gamma_{(G+e)} = (\Gamma_{(G)} \setminus \{\lambda_k, \lambda_i\}) \cup \{\lambda_k + 1, \lambda_i + 1\} \quad (3)$$

이다. 여기서 $k, i \in \{1, 2, \dots, n\}, k \neq i$ 이다.

주어진 화상의 특징량들에 대한 그래프 $G = (V, E)$ 에서 $|V| = n$ 에 대하여

$$N(u) = \{v \in V \mid (u, v) \in E\}$$

를 정의한다. $e \notin E$ 일 때 $e = (u, v)$ 를 $G = (V, E)$ 에 추가한다.

정리 2 룡 $e = (u, v)$ 가 그래프 G 에 추가될 때 $N(u) = N(v)$ 이면 $L(G)$ 의 스펙트르와 $L(G + e)$ 의 스펙트르는 $n - 1$ 개의 위치에서 겹친다. 그리고 2만큼 증가하는 라벨라시안고유값은 이 경우 정점 u 의 차수(혹은 v 의 차수)에 의하여 주어진다.

이제 u 와 v 의 차수를 d_u, d_v 로 각각 표시하고 t 를 정점 u, v 와 린접한 정점들의 수라고 하자. 일반성을 잃지 않도록 하기 위하여 $d_u > d_v$ 라고 가정한다. 그리고 1 혹은 0인 $x \times 1$ 행렬을 각각 $1_x, 0_x$ 로, 전위행렬을 $1'_x, 1''_x$ 라고 표시한다.

정리 3 그래프 G 의 라벨라시안행렬이

$$L = \begin{bmatrix} d_u & 0 & -1'_x & 0'_x & -1'_x & 0'_x \\ 0 & d_v & 0'_x & -1'_x & -1'_x & 0'_x \\ -1_x & 0_x & L_{11} & L_{12} & L_{13} & L_{14} \\ 0_x & -1_x & L_{21} & L_{22} & L_{23} & L_{24} \\ -1_x & -1_x & L_{31} & L_{32} & L_{33} & L_{34} \\ 0_x & 0_x & L_{41} & L_{42} & L_{43} & L_{44} \end{bmatrix} \quad (4)$$

로 주어졌다고 하자.(여기서 블록 $L_{11}, L_{22}, L_{33}, L_{44}$ 는 $d_u - t, d_v - t, t, n - 2 - d_u - d_v + t$ 의 크기를 가진다.)

스펙트르옹근수변화는 다음과 같은 조건을 만족시킬 때 두 위치에서 발생한다.

$$\begin{aligned} L_{11} 1_x - L_{12} 1_x &= (d_v + 1) 1_x \\ L_{21} 1_x - L_{22} 1_x &= -(d_v + 1) 1_x \\ L_{31} 1_x - L_{32} 1_x &= -(d_u - d_v) 1_x \\ L_{41} 1_x - L_{42} 1_x &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)가 만족되는 경우 L 의 2개 고유값이 1만큼씩 증가한다. 즉

$$\lambda_1 = \frac{d_u + d_v + 1 - \sqrt{(d_u + d_v + 1)^2 - 4(d_u d_v + t)}}{2} \quad (6)$$

$$\lambda_2 = \frac{d_u + d_v + 1 + \sqrt{(d_u + d_v + 1)^2 - 4(d_u d_v + t)}}{2} \quad (7)$$

이다.

스펙트르옹근수변화가 발생하면 변화된 라벨라시안고유값을 식별한다.

스펙트르를 계산하는 부분그래프의 룡들의 최소수를 k 라고 하고 자료기지그래프 $G = (V, E)$ 가 주어졌다고 하자.

우선 $|V|$ 개의 정점들과 k 개의 룡들을 가진 그것의 부분그래프 \hat{G} 을 창조하고 그것의 라벨라시안고유값을 계산한다.

다음 \hat{G} 에 하나의 룡를 추가할 때 옹근수변화가 있는가를 보고 만일 있다면 정리 3 을 리용하여 고유값을 생성한다.

그다음 전체 그래프가 구축될 때까지 이 과정을 반복하며 서로 다른 모든 부분그래프를 고찰한다.

실행시에 질문화상에 대한 스펙트르를 구축하기 위하여 똑같은 처리를 적용한다. 그래프의 구조를 부호화할 때 그것의 국부위상을 리용하는것으로 하여 여러가지 잡음정보들에 대한 극복능력이 강하며 그래프의 스펙트르는 정점들의 순서와는 관계없다.

국부위상을 고려하여 매 부분그래프의 스펙트르들을 생성하는것으로 하여 자료기지 그래프들에 대한 스펙트르의 계산에는 높은 복잡성이 존재한다. 그러나 먼저 부분그래프들을 논의하고 다음 거기에 룹들을 추가하면서 스펙트르용근수변화의 성질을 리용하면 계산의 복잡성을 훨씬 줄일수 있다.

3. 결과 분석

론문에서는 1 000개의 동물화상검색체계를 구축하고 검색결과를 이전의 방법들과 비교하여 그 효과성을 분석하였다.(표)

일반적인 검색체계의 정확성은 완전률(%)과 적중률(%)로 평가한다.

$$R = \frac{n_1}{n_1 + n_2} \times 100 \quad (8)$$

$$P = \frac{n_1}{n_1 + n_3} \times 100 \quad (9)$$

식 (8)과 (9)에서 n_1 은 질문에 대하여 정확히 검색된 화상의 수이고 n_2 는 정확하게 검색되지 않은 화상의 수이며 n_3 은 검색하지 못한 화상의 수이다.

표. 실험결과분석

방 법	R	P
선행한 방법	94.8	94.6
제안한 방법	96.5	95.7

표에서 보여준것처럼 선행연구들에서 제안한 방법보다 완전률이 평균 1.7, 정확도가 1.1배 더 높아졌다는것을 알수 있다.

맺 는 말

론문에서는 라벨라시안스펙트르를 리용하여 그래프에 기초한 화상검색을 진행할수 있는 색인방법과 그것을 위한 고유값계산량을 줄일수 있는 방법을 제안하였으며 이전의 방법들과의 결과자료를 분석하여 그 효과성을 평가하였다.

참 고 문 헌

- [1] Sana Fakhfakh et al.; Procedia Computer Science, 73, 320, 2015.
- [2] Reinier Henricus van Leuken; Content-based Multimedia Retrieval: Indexing and Diversification, Ponsen en Looijen, 50, 2009.

An Implementation Method for Content Based Image Retrieval Based on Local Indexing Using Laplacian Spectra

Kim Il Gwang

In this paper, we have proposed a method to improve the speed of content based image retrieval based on local indexing using Laplacian spectra and proved its effectiveness.

Key words: Laplacian spectra, image retrieval, eigenvalue