JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 21, No. 11 : 2103~2108 Nov. 2017

그래프의 정점 연결성에 대한 최소 범위 할당

김재훈*

Minimum Cost Range Assignment for the Vertex Connectivity of Graphs

Jae-Hoon Kim*

Department of Computer Engineering, Busan University of Foreign Studies, Pusan 46234, Korea

요 약

m차원 평면 R^m 상에 n개의 점들 p_i가 주어질 때, 범위 r에 대해서, 점 p_i로부터 거리 r이내 점들의 집합 T_i를 생각한다. $m=1$ 일 때, T_i는 직선상의 구간이고, $m=2$ 일 때, T_i는 평면상의 원에 해당된다. 집합 T_i들을 정점에 대응하고, 두 집합이 교차하는 경우에 대응하는 두 정점 사이에 간선를 연결하면 교차 그래프 G를 얻을 수 있다. $m=1$ 일 때, G는 진구간 그래프(proper interval graph), $m=2$ 일 때, G는 단위 원판 그래프(unit disk graph)라고 부른다. 본 논문에서는 범위 r이 변화하면 바뀌는 교차 그래프 $G(r)$에 관심이 있다. 특별히 $G(r)$가 연결 그래프가 되는 최소 r을 찾는 문제를 다룰 것이다. 이 문제에 대해서 진구간 그래프 $G(r)$에 대해서 $O(n)$ 시간 알고리즘, 단위 원판 그래프 $G(r)$에 대해서 $O(n^2 \log n)$ 시간 알고리즘을 제안한다. 직선상의 점들이 추가 되거나 삭제되는 동적 환경 하에서 위 문제를 $O(\log n)$ 시간에 해결하는 알고리즘도 제안한다.

ABSTRACT

For n points p_i on the m-dimensional plane R^m and a fixed range r, consider a set T_i containing points the distances from p_i of which are less than or equal to r. In case $m=1$, T_i is an interval on a line, it is a circle on a plane when $m=2$. For the vertices corresponding to the sets T_i, there is an edge between the vertices if the two sets intersect. Then this graph is called an intersection graph G. For $m=1$, G is called a proper interval graph and for $m=2$, it is called an unit disk graph. In this paper, we are concerned in the intersection graph $G(r)$ when r changes. In particular, we consider the problem to find the minimum r such that $G(r)$ is connected. For this problem, we propose an $O(n)$ algorithm for the proper interval graph and an $O(n^2 \log n)$ algorithm for the unit disk graph. For the dynamic environment in which the points on a line are added or deleted, we give an $O(\log n)$ algorithm for the problem.

키워드 : 교차 그래프, 단위 원판 그래프, 동적 환경, 정점 연결성, 진구간 그래프

Key word : Dynamic Environment, Intersection Graph, Proper Interval Graph, Unit Disk Graph, Vertex Connectivity

Received 06 July 2017, **Revised** 17 July 2017, **Accepted** 01 August 2017

* **Corresponding Author** Jae-Hoon Kim(E-mail:jhoon@bufs.ac.kr, Tel:+82-51-509-6226)
Department of Computer Engineering, Busan University of Foreign Studies, Busan 46234, Korea

Open Access https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.11.2103 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

Ⅰ. 서 론

m차원 평면 R^m 상에 n개의 점들 p_i, $i=1,...,n$,가 주어 질 때, 범위 r에 대해서, 점 p_i로부터 거리 r이내 점들의 집합 T_i를 생각한다. 본 논문에서는 특별히 $n=1$ 또는 2일 때에 집중한다. $m=1$ 일 때, T_i는 직선 상의 구간 $[p_i-r, p_i+r]$이고, $m=2$ 일 때, T_i는 2차원 평면상의 반지름 r인 원 C에 해당된다.

집합 T_i들을 정점에 대응하고, 두 집합이 교차하는 경우에 대응하는 두 정점 사이에 간선을 연결하면 교차 그래프(intersection graph) G를 얻을 수 있다. 여기서, 두 집합 T_i와 T_j가 교차한다는 것은 $T_i \cap T_j \neq \varnothing$로 정의한다. $m=1$ 일 때, 이와 같은 교차 그래프 G는 진구간 그래프(proper interval graph)라고 한다. 진구간 그래프 G에서는 직선 상의 구간 $\ell=[a,b]$ $(a \leq b)$을 정점에 대응하고 두 구간 $\ell_1=[a_1,b_1]$과 $\ell_2=[a_2,b_2]$가 교차할 때, 대응하는 두 정점 사이에 간선을 연결한다. 다음 그림 1에서 5개의 구간에 대한 진구간 그래프가 그림 2에 주어진다.

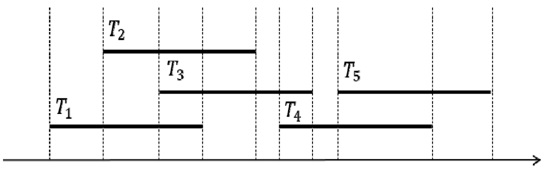

Fig. 1 Five intervals on a line

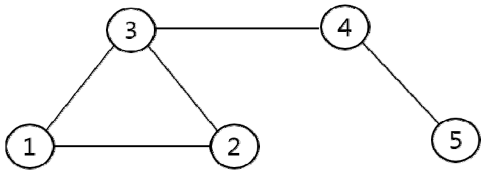

Fig. 2 Proper interval graph for the five intervals

$m=2$ 일 때, 교차 그래프 G는 단위 원판 그래프(unit disk graph)라고 한다. 2차원 평면 상에서 동일한 반지름 r을 갖는 원 C를 정점에 대응하고, 두 원 C_1과 C_2가 교차할 때, 대응하는 두 정점 사이에 간선을 연결한다. 다음 그림 3에서 5개의 원에 대한 단위 원판 그래프가 그림 4에서 주어진다.

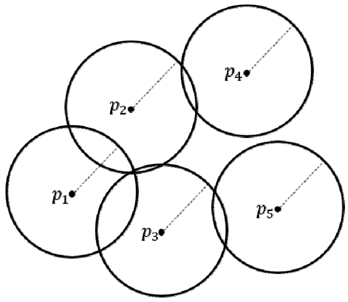

Fig. 3 Five circles on a plane

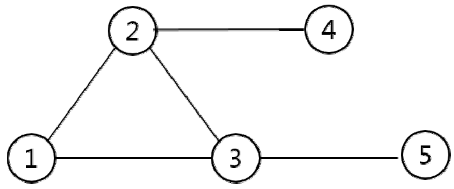

Fig. 4 Unit disk graph for the five circles

집합 T_i를 정의하는 범위 r이 변화하면, T_i들로 생성되는 교차 그래프도 변화할 것이다. 따라서 범위 r에 대한 교차 그래프를 $G(r)$로 표기할 것이다. 논문에서는 범위 r에 대한 교차 그래프 $G(r)$가 특별한 성질을 만족하도록 하고 싶다. 특별히 교차 그래프 $G(r)$의 연결성(connectivity)에 집중한다.

그래프 $G=(V,E)$의 임의의 두 정점 $v,w \in V$ 에 대해, v와 w사이에 항상 경로가 존재하면 G를 연결 그래프(connected graph)라고 한다. 또한 그래프 G의 어떤 두 정점 v와 w가 존재해서, 두 정점 사이에 경로가 존재하지 않으면 G를 비연결 그래프(disconnected graph)라고 한다. 정점 부분집합 $\overline{V} \subseteq V$에 대해서, $G-\overline{V}$가 비연결 그래프라면 $\overline{V}$를 정점 절단(vertex cut)이라고 한다. 다시 말해서, $\overline{V}$에 속한 모든 정점들을 G에서 제거해서 얻어지는 부분 그래프는 비연결된다. 그러면 k-정점 절단(k-vertex cut)은 k개의 정점들을 포함하는 정점 절단을 말한다. 그래프 G가 적어도 한 쌍의 인접하지 않는 두 정점들을 가지고 있을 때, 다시 말해서, G가 완전 그래프(complete graph)가 아니면, G의 정점 연결성(vertex connectivity)이란 G가 포함할 수 있는 k-정점 절단의 최소 값 k 를 말하고 $\kappa(G)$로 나타낸다. 그리고 $\kappa(G) \geq k$이면, 그래프 G는 k-연결(k-connected) 이라고 한다.

본 논문에서는 범위 r의 교차 그래프 $G(r)$가 주어진 연결성을 만족시키는 범위 r의 최소값을 찾는 문제를 다룰 것이다. 특별히 1차원 상의 점들에 대한 범위 r의 진구간 그래프 $G(r)$가 연결 그래프가 되는 최소 범위 r을 구하는 알고리즘을 제시한다. 또한 진구간 그래프 $G(r)$가 k-연결되도록 하는 최소값 r을 구하는 문제를 생각한다. 그리고 2차원 상의 점들에 대한 범위 r의 단위 원판 그래프 $G(r)$가 연결 그래프가 되는 최소 r을 구하는 문제를 다룬다.

마지막으로 점들이 추가 되거나 삭제되는 동적 환경(dynamic environment)에서의 문제를 다룰 것이다. 1차원 상의 점들이 추가되거나 삭제되는 상황에서 진구간 그래프 $G(r)$이 연결 그래프가 되는 최소값 r을 효율적으로 구하는 알고리즘을 제시할 것이다.

Ⅱ. 관련 연구

교차 그래프(intersection graph)는 집합들의 교차여부(교집합의 존재여부)를 나타내는 그래프이다. 이 그래프는 다양한 종류의 그래프 분류(class)를 가능하게 한다. 구간 그래프(interval graph), 원호 그래프(circular arc graph), 순열 그래프(permutation graph), 사다리꼴 그래프(trapezoid graph), 원판 그래프(disk graph), 원 그래프(circle graph), 삼각 분할 그래프(chordal graph) 등은 교차 그래프의 한 종류이다. 이렇게 다양한 교차 그래프의 분류와 그 특징들은 [1-3]에서 확인할 수 있다.

그래프가 연결그래프인지 검사하는 문제는 그래프에서 가장 기본적인 문제이다. 이 문제는 일반 그래프에 대해서 깊이우선탐색(depth-first search) 또는 너비우선탐색(breadth-first search)을 통해서 $O(n)$시간에 해결할 수 있다. 여기서, n은 그래프의 정점의 개수이다. 본 논문에서는 범위 r의 값이 변화하는 경우에 교차 그래프 $G(r)$이 연결그래프가 되는 최소 r의 값에 관심이 있다.

정점 연결성 문제에 대해서 일반 그래프에 대한 $O(\kappa mn\sqrt{n})$시간 알고리즘이 존재 한다 [4]. 여기서, κ는 그래프의 정점 연결성이다. 특별히 사다리꼴 그래프의 정점 연결성을 구하는 $O(n^2)$ 시간 알고리즘이 제안되었고[5], 이후에 수행 시간이 $O(n\log n)$으로 향상되었다[6]. 본 논문에서는 진구간 그래프 $G(r)$이 k-연결되는 최소 r의 값을 찾을 것이다. 고정된 진구간 그래프에 대해서 k-연결되는 필요충분 조건이 [7]에서 제시되었다.

정점 또는 간선들이 추가되거나 삭제되는 동적 환경하에서의 그래프 문제들에 대한 많은 연구들이 있었다 [8-10]. [11]에서 그래프가 연결그래프인지 여부를 결정하는 문제에서 동적 상황을 가정하였다. 저자들은 간선이 추가되거나 삭제되는 경우에 $O(\log^2 n)$시간에 문제를 해결하는 알고리즘을 제안하였다. [12]에서는 구간 그래프에 대해서 동적환경에서 정점 연결성을 효율적으로 계산하는 알고리즘이 제안되었다. 또한 구간 그래프를 인식하는 문제에 대해서 동적환경 하에서 $O(n)$ 시간에 답하는 알고리즘이 제안되었다[13].

Ⅲ. 1차원 문제

직선 상에 n개의 점들 p_i, $i=1,...,n$,가 주어 질 때, 범위 r에 대해서 p_i에서 구간 $T_i=[p_i-r, p_i+r]$를 생각한다. 구간 T_i들을 정점에 대응하고, 두 구간 T_i와 T_j가 겹치는 경우에 대응하는 두 정점 사이에 간선을 연결하면 진구간 그래프 $G(r)$를 얻을 수 있다.

n개의 점들 p_i을 그 좌표의 크기 순서로 정렬하자. 그러면 진구간 그래프 $G(r)$가 연결 그래프가 되는 최소값 r은 다음과 같이 주어진다.

정리 3. 1 좌표 크기 순서로 정렬된 n개의 점들 p_i에 대해서, 인접한 두 정점 p_i와 p_{i+1}사이의 거리의 최대값을 $MaxL$이라고 할 때, 진구간 그래프 $G(r)$가 연결 그래프가 되는 최소의 r은 $MaxL/2$와 같고 $O(n)$시간 안에 구할 수 있다.

증명. 각 구간 T_i의 범위 r을 $r=MaxL/2$라고 하자. 임의의 인접한 두 정점 p_i와 p_{i+1}의 구간 T_i와 T_{i+1}은 교차할 것이기 때문에 $G(r)$에서 이웃한 두 정점 p_i와 p_{i+1}사이에는 간선이 존재한다. 따라서 임의의 두 정점 p_i와 p_j, $i \le j$, 사이에는 두 정점을 연결하는 경로 $p_i - p_{i+1} - \cdots - p_j$가 존재한다. 따라서 그래프 $G(r)$은 연결 그래프이다. 이제 $r_0 < r$인 r_0에 대해서 $G(r_0)$가

연결 그래프라고 가정하자. $MaxL$의 정의에 따라서 $p_{j+1}-p_j=MaxL$인 인접한 두 정점 p_j와 p_{j+1}이 존재한다. $r_0<r$이기 때문에 $G(r_0)$상에서 두 정점 p_j와 p_{j+1}사이에 간선이 존재하지 않는다. 또한 $s\le j$인 임의의 정점 p_s는 $t\ge j+1$인 모든 정점 p_t와 간선으로 연결될 수 없다. $s\le j$인 모든 정점 p_s들의 집합을 A, $t\ge j+1$인 모든 정점 p_t들의 집합을 B라고 하자. 정점 $p\in A$와 $q\in B$라고 하면, $G(r_0)$는 연결 그래프이기 때문에 p와 q를 연결하는 어떤 경로 P가 존재한다. 그러면 경로 P상에는 간선으로 연결된 정점 $x\in A$와 $y\in B$가 존재해야만 하는데 이것은 모순이다. □

다음으로 범위 r의 진구간 그래프 $G(r)$가 k-연결이 되는 최소 r을 구하는 문제를 생각한다. 이 문제를 아래의 보조정리 3.2에 의해서 답을 쉽게 구할 수 있다. 직선상의 점 p_i를 좌표 크기 순서로 정렬하고 점의 구간을 T_i라고 하자. 보조정리 3.2에 의해서 $G(r)$가 k-연결이기 위해서는 $1\le|i-j|\le k$인 모든 i,j에 대해서, $T_i\cap T_j\ne\varnothing$. 따라서 이 필요충분 조건을 만족하기 위한 최소 r을 구하면 된다. 이 조건에서 우리는 모든 점 p_i에 대해서 $G(r)$상에서 p_i의 구간에 대응되는 정점은 적어도 p_{i+k}의 구간에 대응되는 정점과 간선으로 연결되어야만 한다는 것을 알 수 있다. 그러면 p_i와 p_{i+k}의 구간에 대응되는 정점들이 간선으로 연결되면 사이의 모든 점들의 구간에 대응되는 정점과 간선으로 연결됨에 주목한다. 따라서 최소 r이라고 하면, 모든 점 p_i에 대해서, p_i와 p_{i+k}사이의 거리의 최대값을 $MaxL_k$라고 할 때, $r=MaxL_k/2$이다.

보조정리 3.2 ([7]) 좌표 크기 순서로 정렬된 점 p_i에 대해서, 그 구간을 T_i라고 할 때, $G(r)$가 k-연결이 될 필요충분 조건은 $1\le|i-j|\le k$인 모든 i,j에 대해서, $T_i\cap T_j\ne\varnothing$. 다시 말해서, $G(r)$에서 T_i와 T_j에 대응하는 두 정점 사이에 간선이 존재한다.

정리 3. 3 좌표 크기 순서로 정렬된 n개의 점들 p_i에 대해서, 두 정점 p_i와 p_{i+k}사이의 거리의 최대값을 $MaxL_k$이라고 할 때, 진구간 그래프 $G(r)$가 k-연결 그래프가 되는 최소의 r은 $MaxL_k/2$와 같고 $O(n)$시간안에 구할 수 있다.

Ⅳ. 2차원 문제

이 장에서는 평면 상에 n개의 점들 p_i가 주어 질 때, 범위 r에 대해서 p_i을 중심점으로 반지름이 r인 원 C_i를 고려한다. 그러면 이 원들을 정점에 대응하고 원들의 교차 여부에 따라 정점 간에 간선을 연결하면 단위 원판 그래프 $G(r)$을 얻을 수 있다. 문제는 단위 원판 그래프 $G(r)$이 연결그래프가 되는 최소 r을 찾는 것이다.

우리는 단위 원판 그래프 $G(r)$을 대신해서 평면상의 그래프 P를 생각할 것이다. P의 정점은 주어진 점 p_i이고 P의 간선은 점 p_i와 p_j를 연결하는 직선 선분이다. 단위 원판 그래프 $G(r)$의 임의의 두 정점이 점 p_i의 원 C_i와 점 p_j의 원 C_j에 대응되고 두 정점 사이에 간선이 존재한다면, 그래프 P에서 정점 p_i와 p_j 사이에 직선 선분을 연결한다(그림 5).

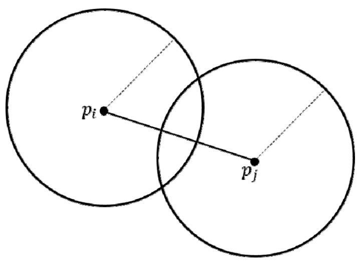

Fig. 5 An edge between two circles

단위 원판 그래프 $G(r)$가 연결그래프가 되는 필요충분 조건은 그래프 P가 연결그래프가 되는 것이다. 그래프 P가 연결그래프가 되면서 간선의 개수가 최소가 되는 경우는 P가 트리인 경우이다. 다시 말해서, P가 모든 점들을 포함하는 신장트리(spanning tree)가 되는 것이다. $G(r)$이 연결그래프가 되는 최소 r을 찾기 위해서는 P가 신장트리가 되는 것 중에서 간선의 길이의 최대값이 최소가 되는 트리 P^*를 찾는다. 이 트리 P^*의 간선의 최대 길이를 ℓ^*라고 하면, $G(r)$이 연결그래프가 되는 최소 r은 $\ell^*/2$와 같다.

이제 트리 P^*를 찾는 방법을 생각해보자. 평면 상의

임의의 두 점 p_i와 p_j사이의 거리들을 ℓ_{ij}라고 하면 $O(n^2)$ 개의 거리들이 생긴다. 이 거리들을 크기에 따라 정렬한다. 정렬된 거리들을 $\ell_1, \ell_2, ..., \ell_{O(n^2)}$이라고 하자. 우리는 점들에 대해서 Union-Find 알고리즘을 적용할 것이다. 이 알고리즘에서는 점들의 집합을 유지한다. 거리들을 순서대로 고려해서, 거리 ℓ_k가 고려될 때, 이것을 정의하는 두 점 p_i와 p_j가 존재한다. Find()에 의해서 두 점이 속한 집합을 각각 찾는다. 두 집합이 다르면 Union()에 의해서 두 집합의 합집합을 구한다. 이런 식으로 처음으로 모든 점들이 하나의 집합에 속할 때까지 수행하면 트리 P^*를 찾을 수 있다. 그리고 이 Union-Find 알고리즘은 $O(n^2 \log n)$ 시간에 수행될 수 있다.

정리 4. 1 평면 상에 n개의 점들 p_i이 주어 질 때, 단위 원판 그래프 $G(r)$가 연결 그래프가 되는 최소의 r을 $O(n^2 \log n)$ 시간 안에 찾을 수 있다.

Ⅴ. 동적 환경 문제

이 장에서는 초기에 주어진 직선상의 점들이 추가되거나 삭제되는 경우를 다룰 것이다. 이런 상황을 동적 환경(dynamic environment)이라고 부른다. 주어진 n개의 점들 p_i에 대해서, 새로운 점 p_j가 추가되거나 삭제되면 구간 $T_j = [p_j - r, p_j + r]$가 추가되거나 삭제되고 진구간 그래프 $G(r)$에 대해서는 새로운 정점과 간선들이 추가되거나 기존에 있던 정점과 간선이 삭제된다. 이렇게 새롭게 변화된 그래프 $G(r)$가 연결그래프가 되는 최소값 r도 변할 것이다. 이 때, 새로운 최소값 r을 효율적으로 찾는 방법에 대해서 생각할 것이다.

우리는 레드-블랙 트리(red-black tree), AVL 트리 등과 같은 균형 이진탐색 트리(balanced binary search tree, BST) B를 이용할 것이다. 탐색 트리 B의 임의의 정점 v는 점들을 포함하는 구간 $[a,b]$에 관한 정보를 저장할 것이다. 특별히 구간 $[a,b]$의 두 끝점 a, b와 구간 $[a,b]$안에서 인접한 점들 사이의 거리의 최대값 ℓ을 저장한다. B의 정점 v가 두 자식 정점 v_1, v_2를 가진다고 하자. v_i, $i=1,2$, 가 구간 $[a_i, b_i]$안의 인접한 점들 사이의 거리의 최대값 ℓ_i를 갖는다고 하면, 정점 v는 구간 $[a_1, b_2]$안의 인접한 점들 사이의 거리의 최대값 $\ell = \max\{\ell_1, \ell_2, a_2 - b_1\}$을 저장한다. 그러면 B의 루트 정점에는 모든 인접한 점들 사이의 거리의 최대값이 저장된다. 또한 점들이 추가 되거나 삭제 될 때, B의 정점이 추가되거나 삭제되면 $O(\log n)$ 시간에 정보를 업데이트 할 수 있고 새로운 답을 찾을 수 있다. 따라서 탐색 트리 B를 이용해서 동적환경에서 진구간 그래프 $G(r)$이 연결그래프가 되는 최소 r을 구하는 문제는 $O(\log n)$ 시간에 해결할 수 있다.

정리 5. 1 점들이 추가 되거나 삭제되는 동적환경에서 진구간 그래프 $G(r)$가 연결 그래프가 되는 최소의 r을 $O(\log n)$ 시간 안에 찾을 수 있다.

Ⅵ. 결 론

본 논문에서는 범위 r의 값이 변화할 때, 교차 그래프 $G(r)$이 연결그래프가 되는 최소 r을 계산하는 문제를 다루었다. 그래프 $G(r)$이 진구간 그래프인 경우와 단위 원판 그래프인 경우에 최소 r 값을 찾는 효율적인 알고리즘을 제안하였다. 추후 연구 주제로 본 논문에서 제안할 알고리즘보다 더 좋은 시간 복잡도를 갖는 알고리즘에 대해서 연구할 수 있을 것이다. 또한 일차원 직선 상에서 점들이 추가 되거나 삭제되는 동적환경 하에서의 문제도 다루었다. 이러한 동적환경 하에서 다양한 그래프 문제에 대해서 연구하는 것은 추후의 연구주제가 될 것이다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the research grant of the Busan University of Foreign Studies in 2017

REFERENCES

[1] M. C. Golumbic, *Algorithmic Graph Theory and Perfect Graphs*, New York, NY: Academic Press, 1980.

[2] Terry. A. McKee and F. R. McMorris, *Topics in Intersection Graph Theory*, Philadelphia, PA: SIAM, 1999.

[3] M. Pal, "Intersection graphs: an introduction," *Annals of Pure and Applied Mathematics*, vol. 4, no. 1, pp. 43-91, Oct. 2013.

[4] S. Even and R. E. Tarjan, "Network flow and testing graph connectivity," *SIAM Journal on Computing*, vol. 4, no. 4, pp. 507-518, Oct. 1975.

[5] P. K. Ghosh and M. Pal, "An Efficient algorithm to solve connectivity problem on trapezoid graphs," *Journal of Applied Mathematics and Computing*, vol. 24, no. 2, pp. 141-154, May 2007.

[6] A. Ilic, "Efficient algorithm for the vertex connectivity of trapezoid graph," *Information Processing Letters*, vol. 113, no. 11, pp. 398-404, May 2013.

[7] J. H. Park, J. S. Choi and H. S. Lim, "Algorithms for finding disjoint path covers in unit interval graphs," *Discrete Applied Mathematics*, vol. 205, no. 1, pp. 132-149, May 2016.

[8] S. Baswana, S. R. Chaudhury, K. Choudhary and S. Khan, "Dynamic DFS in undirected graphs: breaking the O(m) barrier," in *Proceedings of the 27th annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms*, Virginia: VA, pp. 730-739, 2016.

[9] L. Roditty and U. Zwick, "A fully dynamic reachability algorithm for directed graphs with an almost linear update time," *SIAM Journal on Computing*, vol. 45, no. 3, pp. 712-733, Jun. 2016.

[10] B. M. Kapron, V. King, and B. Mountjoy, "Dynamic graph connectivity in polylogarithmic worst case time," in *Proceedings of the 24th annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms*, Louisiana: LA, pp. 1131-1142, 2013.

[11] J. Holm, K. de Lichtenberg, and M. Thorup, "Poly-logarithmic deterministic fully dynamic algorithms for connectivity, minimum spanning tree, 2-edge, and biconnectivity," *Journal of ACM*, vol. 48, no. 4, pp. 723-760, Jul. 2001.

[12] J. H. Kim, "Fully dynamic algorithm for the vertex connectivity of interval graphs," *Journal of Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 17, no. 2, pp. 399-406, Mar. 2013.

[13] C. Crespelle, "Fully dynamic representations of interval graphs," in *Proceedings of the 35th International Workshop on Graph-Theoretic Concepts in Computer Science*, France: FR, pp. 77-87, 2009.

김재훈(Jae-Hoon Kim)

1994 서강대학교 수학과 이학사
1996 KAIST 수학과 이학석사
2003 KAIST 전산과 공학박사
2003~ 부산외국어대학교 컴퓨터공학과 교수
※관심분야 : 알고리즘, 최적화, 스케줄링