

# 중심 보로노이 조각화와 아이콘 및 레이블 배치 알고리즘을 이용한 도식화된 지도 생성 시스템

박동규<sup>†</sup>, 류동성<sup>\*\*</sup>, 어 윤<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

도식화된 지도란 일반적인 지도가 가진 복잡한 지리 정보를 특정한 사용 목적에 따라 논리적으로 간략화시킨 다음 중요한 정보들은 부각시켜, 사용자가 인식하기 편하게 제작한 지도이다. 본 논문에서는 도로와 레이블 그리고 그 아이콘이 중요한 의미를 가지는 도식화된 지도를 제작하기 위한 알고리즘을 소개한다. 구조적인 지도의 생성을 위해서는 간략화 된 도로정보와 이에 따른 객체들의 배치 작업이 필요하다. 그러나 원본 지리 정보의 복잡성으로 인하여 원본 도로 정보를 중심으로 객체들의 배치작업을 수행할 경우 객체들 간의 중첩이 발생하게 되어, 시각적으로 잘 정돈된 지도 생성이 어렵다. 논문에서 제안한 시스템은 이와 같이 상대적으로 복잡한 경로를 가진 구조적 지도를 효과적으로 시각화하기 위하여 다음과 같은 처리 절차를 수행한다. 1) DCE 기법을 사용하여 다각형으로 구성된 경로 곡선을 이루는 정점들 중에서 중요도가 떨어지는 정점들을 제거한다. 2) 중심 보로노이 조각화와 그리드 스내핑을 적용하여, 원본지도의 구조적 정보를 유지하면서 밀집도가 균일한 도로 정보를 생성한다. 3) 아이콘과 레이블이 서로 겹쳐지지 않도록 적절하게 배치하여 도식화된 지도를 완성한다. 그 결과 원본 지도의 밀집된 정점들을 균일한 간격으로 배치하였으며, 아이콘과 레이블을 배치할 수 있는 공간을 확보하였다. 이를 통해 아이콘과 레이블의 중첩을 최소화 할 수 있었으며, 복잡한 지도 정보로부터 가독성이 높은 지도를 제작할 수 있었다.

## A Schematic Map Generation System Using Centroidal Voronoi Tessellation and Icon-Label Replacement Algorithm

Park DongGyu<sup>†</sup>, Ryu DongSung<sup>\*\*</sup>, Uh Yoon<sup>\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

A schematic map is a special purpose map which is generated to recognize it's objects easily and conveniently via simplifying and highlighting logical geometric information of a map. To manufacture the schematic map with road, label and icon, we must generate simplified route map and replace many geometric objects. Performing a give task, however, there are an amount of overlap areas between geometric objects whenever we process the replacement of geometry objects. Therefore we need replacing geometric objects without overlap. But this work requires much computational resources, because of the high complexity of the original geometry map. We propose the schematic map generation system whose map consists of icons and label. The proposed system has following steps: 1) eliminating kinks that are least relevant to the shape of polygonal curve using DCE(Discrete Curve Evolution) method. 2) making an evenly distributed route using CVT(Centroidal Voronoi Tessellation) and Grid snapping method. Therefore we can keep the structural information of the route map from CVT method. 3) replacing an icon and label information with collision avoidance algorithm. As a result, we can replace the vertices with a uniform distance and guarantee the available spaces for the replacement of icons and labels. We can also minimize the overlap between icons and labels and obtain more schematized map.

**Key words:** Schematic Map(도식화된 지도), Centroidal Voronoi Tessellation(중심 보로노이 조각화), Map Visualization(지도 시각화), Icon-Label Replacement(아이콘-레이블 배치)

※ 교신저자(Corresponding Author) : 박동규, 주소 : 경남 창원시 사림동 9번지(641-773), 전화 : (055)279-7634, FAX 055)279-7639, E-mail : dgpark@sarim.changwon.ac.kr

접수일 : 2005년 6월 27일, 완료일 : 2005년 9월 12일

<sup>†</sup> 중신회원, 창원대학교 정보통신공학과 조교수

<sup>\*\*</sup> 정회원, 창원대학교 정보시각화 연구실 석사과정

(E-mail : dsryu@changwon.ac.kr)

<sup>\*\*\*</sup> 정회원, 국립 창원대학교 정보통신공학과 부교수

(E-mail : uhyoon@changwon.ac.kr)

※ 본 연구는 한국과학재단 지역대학 우수과학자 지원사업 (과제 번호 : R05-2003-000-11677-0)으로 수행되었음

## 1. 서론

도식화된 지도(schematic map)란 지리 정보를 논리적으로 간략화하여, 사람이 인식하기 쉽게 표현한 지도를 말한다. 이와 같은 지도는 지하철이나 버스의 노선도와 같이 지도를 사용하는 사용자가 원하는 정보를 쉽게 파악할 수 있도록 지도의 사용 목적에 맞게 제작되는 것이 일반적이다[2,11,12]. 구조적 지도는 일반적으로 코스 혹은 목적지의 좌표와 이를 연결하는 선분, 목적지를 설명하는 레이블, 그리고 특정 정보를 강조하거나 장식하기 위한 아이콘과 같은 기하객체들로 구성된다. 이러한 기하객체는 지도상에서 표현될 때, 각각이 가진 형태적인 특성을 고려하여 배치한다.

지리정보시스템의 특성상 지리적인 객체는 지역성으로 인하여 밀집도가 균등하지 못하게 배치된다. 예를 들어, 단위 면적에 대하여 서울 시내와 같이 인구의 밀집도가 높은 지역에서는 지리적 객체를 많이 표기해야 하고, 도심의 외곽 지역과 같이 인구의 밀집도가 낮은 지역에서는 이를 적게 표기해도 될 것이다. 이 때, 지리 정보들의 밀집도가 높게 배치된 영역에서는 지리 정보를 표현하는 객체들 사이에 중첩이 빈번하게 발생하게 되어, 사용자가 원하는 지도의 논리적인 구조를 파악하도록 하는 것이 어렵다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 사용하는 것이 도식화 지도(schematic map)이다. 도식화 지도는 지도가 가진 전체적인 구조를 유지하면서 객체들의 밀집도가 균일하도록 변형시킨다. 또한 아이콘이나 레이블과 같이 것이 선분이나 지리 객체들과 중첩되지 않게 배치되어야 한다. 그러므로 도식화된 지도를 얻기 위하여 숙련된 서지가들의 수작업이 필요하다[1-3].

그림 1은 서울지역 신분당 지하철 노선도를 도식화한 후, 레이블을 배치한 지도이다. 두 노선도 모두 복잡한 지도 정보로부터 도식화 과정을 수행하였다. 그러나 그림 1의 (a)는 많은 역이 인구 밀집 주변에 조밀하게 배치되어 지도의 전체적인 가독성이 떨어짐을 알 수 있다. 반면에 그림 1의 (b)는 그림 (a)에서 조밀하게 배치된 강남역 주변의 역들을 분산시켜, 레이블을 배치할 공간을 확보하였다. 그 결과 정점의 위치를 고려하여 레이블을 보기 편하게 배치할 수 있었으며, 레이블간의 중첩 또한 발생하지 않았다. 구조적 지도가 가져야 할 좋은 특성은 1) 레이블

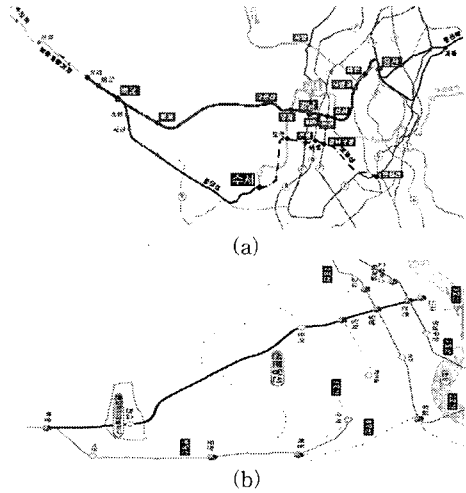


그림 1. 신분당의 노선도 : (a) 도심지의 고밀도 지점은 레이블 배치가 너무 조밀하여 가독성이 떨어진다, (b) 밀집된 객체를 분산시켜 만든 가독성을 고려한 지도

과 아이콘 객체와 도로정보와 같은 선분의 교차각을 적을 것 2) 레이블과 아이콘 객체간의 상호 오버랩이 적을 것, 3) 지리 객체와 이를 설명하는 아이콘과 레이블간의 거리가 가까울 것 등 있다[1-5].

본 논문에서는 그림 1의 (b) 지도와 같이 수작업으로 제작한 지도를 일괄적으로 도식화하기 위한 시스템을 제안한다. 먼저, 지도의 전체적인 구조를 유지하고 기하 객체들을 밀집도가 균일하게 배치하기 위해서 중심보로노이 조각화(Centroidal Voronoi Tessellation: CVT)와 그리드 스냅핑(Grid Snapping)을 적용하여 도로의 레이아웃을 생성한다. 여기서 중심 보로노이 조각화는 보로노이 조각화의 일종으로 조각화된 영역들의 밀도를 이용하여 중심점을 구하고, 이 중심점을 기준으로 다시 조각화를 반복 수행하는 기법이다. 조밀하게 모여 있는 정점들은 중심보로노이 조각화에 의해 밀집도가 균일하게 확장되는 성질이 있다. 이렇게 생성된 도로의 레이아웃을 기반으로 아이콘이나 레이블과 같은 기하 객체들을 배치하기 위해서 각각의 기하객체들의 기하학적 특성을 고려하여 기하 객체들을 배치할 후보영역을 결정한다. 그리고 후보 영역내에 난수점들을 생성하여, 객체들을 배치할 후보점으로 지정한다. 이 때, 각각의 기하객체들과 중첩을 최소화하며, 동시에 배치할 객체의 기하학적 특성이 반영된 후보영역과는 가장 많이 중첩되는 난수점을 선택하여 기하 객체들을 배치한다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 도로의 레이아웃 간략화 방법

지도의 전체적인 물리적 유사성을 유지하면서, 동시에 지리 정보 객체들이 논리적인 관계를 가지도록 표현하기 위해 많은 연구가 이루어졌다. Barkowsky는 지도의 레이아웃을 간략화하기 위해서 선분 간략화 알고리즘인 Discrete Curve Evolution(DCE) 기법을 제안하였다. DCE는 길이와 각도를 고려하여 중요도가 떨어지는 정점들을 차례대로 제거하는 방법이다[1].

Agrawala는 사람이 경로를 인식할 때, 방향의 전환점 위주로 인식한다는 점에 착안하여, 진행방향에서 같은 방향에 있는 정점들을 생각하는 방법인 라인 드라이브 시스템을 제시하였다[2,3]. 이 시스템은 경로상의 교차점과 커브길 같이 전체 경로의 진행 방향에 영향을 주는 정보들을 강조하였으며, 사람이 경로를 인식하여 수작업으로 작업한 지도와 같이 도로의 길이를 의도적으로 왜곡하고 단순화한다. Agrawala의 방법은 논리적 구조를 가지는 지도를 생성하기 위해서, Simulated Annealing 기법을 사용하여 비교적 많은 시간이 소요되는 단점이 있다.

### 2.2 기하 객체의 배치와 관련된 연구

지도상에 있는 지형물이나 표식에 적절한 위치를 배치하는 작업과 함께 레이블링(labeling)은 오래기간 동안 숙련된 서지자(cartographer)등의 작업에 의해 이루어졌다. 레이블링에서 중요한 요소 중의 하나는 한 레이블이 다른 레이블이나 표식과 중복되어 배치되지 않도록 하는 것이며, 동시에 레이블이 나타나야 할 위치와 가장 가까운 곳에 배치되어야 한다. Imhof는 100여가지 이상의 레이블링 배치에 관한 예제를 통하여 좋은 레이블링과 나쁜 레이블링을 구분하는데 필요한 판단 요소들을 제시하였고, Edmondson 등은 레이블링 문제의 복잡도를 증명하였으며, 레이블 배치 문제를 효율적으로 해결하기 위한 휴리스틱과 제약조건을 연구하였다[4,5].

그리고 점을 특징점으로 하여 레이블을 배치하는 기법들(Point Feature Label Placement: PFLP)에 대해서도 많은 연구가 이루어졌다. Christensen등은 PFLP에서 발생하는 문제점들을 해결하기 위해서 이

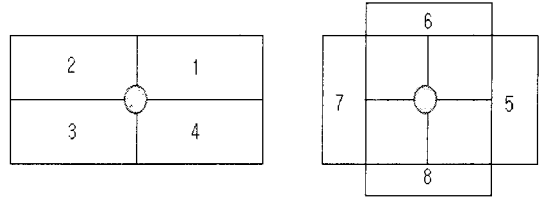


그림 2. PFLP에서 사용하는 바람직한 레이블링 위치. 우선순위가 낮을 수록 바람직한 레이블링이다.

산적인 형태의 기울기 감소(a discrete form of gradient descent) 탐색 기법과 통계적인 탐색 기법들을 제안하였다[7]. Doddy등은 강이나 도로와 같은 선 기반의 지형물과 국가나 호수와 같은 지역들 그리고 도시나 산의 정상을 표현하는 점 기반의 레이블링에 대해 연구하였으며, Kreveld등은 레이블링 문제를 해결하기 위해서, 1,2,4-고정점 모델과 각 모델에 슬라이딩 기법을 적용하여 더욱 좋은 레이블링 위치를 찾는 알고리즘을 제안하였다[8-9]. 또한 사용자의 배경지식과 지도 제작 목적을 반영하기 위해서, Nascimento와 Peter Eades는 사용자로부터 힌트를 입력받아 레이블링하는 기법을 제안하였다[10].

그림 2는 대부분의 PFLP에서 사용하는 바람직한 레이블링의 위치를 우선순위를 측정하여 표시한 그림이다. 그림과 같이 레이블의 위치는 가운데에 있는 정점을 기준으로 낮은 숫자의 우선순위를 가지는 사각형 후보 영역으로 결정하는 것이 가독성을 높이는 바람직한 레이블링으로 인식된다[7].

기존의 방법들은 레이블 배치를 최적화 하도록 하였지만 제한된 공간에 많은 표식이 존재할 경우에 레이블의 중첩이 필연적이다. 본 논문에서는 표식의 중첩을 해결하기 위해서, 도로정보를 간략화하고 구조화하는 기법과 이에 대한 효율적인 레이블링 기법을 연구하였다.

## 3. 도식화된 지도 생성 시스템

본 논문에서 제안한 도식화된 지도 생성 시스템의 전체 구조는 그림 3과 같다. 먼저, GIS 데이터베이스로부터 지도의 목적에 따라 지리 정보를 분석하여 지리 정보들을 분류하고 우선순위를 설정한다. 이렇게 파싱된 지리 정보들을 바탕으로 DCE 기법과 중심 보로노이 조각화, 그리고 그리드 스냅핑을 적용하여 도식화된 지도의 근간이 되는 도로 정보의 레이아웃

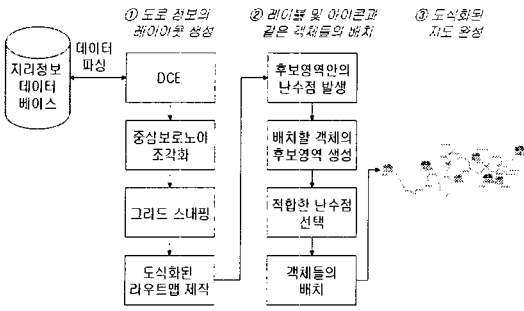


그림 3. 도식화된 지도 생성시스템의 구조

```
//노선도 구조체
//vt (경정) 구조체의 집합으로 이루어졌다.
struct {
    vt *vertices ;
}busRoad ;

//uts 구조체 (경정: vertex 구조체)
struct{
    int type ; // 정점의 타입을 표현한다.
    /* 0 : 키브, 생략 가능한 정점, DCE에 의해 제거 가능한 점.
       1 : 일반 버스 정류장
       2 : 시판역
       3 : 종과역 */
    int xPos, yPos ; // 정점의 x,y 좌표
    int icon ; // 정점을 설명하는 아이콘의 종류
    string label ; //정점을 표기하는 레이블
}vt ;
```

그림 4. 버스 노선도와 버스 노선도를 구성하는 정점의 자료 구조

을 생성한다. 그 후, 아이콘이나 레이블과 같은 객체들의 특성을 고려하고, 이를 바탕으로 각 객체들을 배치하여 도식화된 지도를 완성한다.

제안한 시스템에서 사용되는 버스 노선도의 자료 구조는 그림 4와 같이 정의 하였다. 버스 노선도의 데이터는 정점들의 연속적인 집합으로 구성되어 있으며, 정점 데이터는 정점의 타입과 아이콘의 종류, 레이블의 종류, 레이블의 문자열 정보로 구성된다. 그리고 연속된 정점 두 개가 하나의 도로를 정의한다.

#### 4. 도로정보의 레이아웃 생성 알고리즘

도식화된 지도를 제작하기 위해서 먼저 도로의 레이아웃을 생성해야 한다. 이를 위해서 GIS 데이터베이스로부터 정보를 추출하였으며, DCE 기법을 적용하여 불필요한 정점들을 제거하였다. DCE 기법은 다각형을 이루는 정점들 중에서 중요도가 떨어지는 정점을 선택적으로 제거하여 각 정점이 이루는 선분들

을 간략화하는 방법이다[1]. 데이터 파싱 단계에서 버스의 정류장과 같은 정점들은 버스 노선도라는 지도의 목적에 부합하기 위해서 우선순위가 높게 분류되며, 이러한 정점들은 DCE 기법의 제거 대상에 포함되지 않는다. 그 후 남아 있는 정점들을 기준으로 밀집도를 떨어뜨리기 위해 중심보로노이 조각화(Centroidal Voronoi Tessellation: CVT)를 적용한다.

중심보로노이 조각화는 각 정점을 보로노이 조각화한 후, 정점 주위에 형성된 볼록 다각형의 무게 중심을 기준으로 다시 보로노이 조각화를 수행하는 기법이다 [6]. 여기서 보로노이 조각화(Voronoi Tessellation)란 유클리드 거리척도를 기준으로 공간을 효율적으로 분할하는 수학적인 방법이며, 보로노이 조각화 수행 후 형성된 다각형들의 집합은 보로노이 다이어그램을 형성한다. 이러한 중심보로노이 조각화를 계속해서 반복 수행하면, 결국 별집모양의 보로노이 다이어그램을 얻게 된다. 그림 5는 정점들이 특정 공간에 밀집되어 밀도가 균일하지 못한 정점들의 집합인 (a)가 중심보로노이 조각화를 수행하는 과정을 보여준다. (b)는 (a)의 정점들을 보로노이 조각화 수행 후 형성된 보로노이 다이어그램이며, 각 다각형의 무게 중심을 기준으로 다시 보로노이 조각화를 실행한다. 이 때 밀집된 정점들이 무게 중심쪽으로 이동하면서 밀집도가 감소하게 되며, 위 과정을 여러번 반복하였을 경우 (c)와 같은 보로노이 다이어그램이 형성된다. (d)는 중심보로노이 조각화를 12번 수행한 후, 형성된 정점들의 집합이다.

본 논문에서는 밀집도가 균등하지 못한 정점들의 집합을 밀집도가 균등하게 확장하는 중심보로노이 조각화의 특성을 활용하여, 지역적으로 편중된 도로

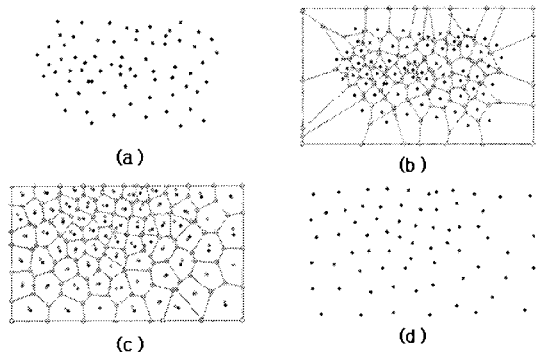


그림 5. 정점들이 CVT에 의해 밀집도가 균일하게 형성되는 과정

정보들의 간격을 균일하게 만들었다[13]. 중심 보로노이 조각화는 정점들의 분포를 균일하게 하는 좋은 특성을 가지고 있으나, 정점들을 단순히 중심 보로노이 조각화만을 사용하여 확장할 경우 원본 경로의 구조적인 형태 정보가 심하게 왜곡되는 문제점이 발생하게 된다.

본 논문에서는 중심 보로노이 조각화로 생성한 경로 정보에 지도의 전체적인 형태를 유지하도록 하기 위해서 그리드 스냅핑(Grid Snapping)이라는 제약조건을 적용하였다. 그리드 스냅핑은 지도상의 가상의 격자를 만들어 이 가상의 격자상에 정점이 배치되도록 한 방법으로, 이 그리드의 간격이 너무 넓을 경우 한 그리드에 많은 정점들이 모이게 되어 정점이 중복되게 배치되는 경우가 발생한다. 이런 경우 그림 6과 같이 간단한 벡터 연산을 적용하여 중복된 정점들을 보정한다. 그리드 스냅핑에 의해 중첩된 점이  $P_i$ 와  $P_{i+1}$ 라고 한다면,  $P_i$ 는  $P_i$ 에서  $P_i$ 의 이전 점  $P_{i-1}$ 의 방향으로  $P_i$ 와  $P_{i-1}$ 가 이루는 거리의  $\frac{1}{3}$ 만큼 이동 하도록 하였다. 중첩된 또 다른 한 점  $P_{i+1}$ 은  $P_i$ 와 동일한 방법으로  $P_{i+1}$ 에서  $P_{i+1}$ 의 다음점  $P_{i+2}$ 의 방향으로  $P_{i+1}$ 과  $P_{i+2}$ 가 이루는 거리의  $\frac{1}{3}$ 만큼 이동 한다. 즉 중첩된 정점  $P_i$ 와  $P_{i+1}$ 는 각각  $P'_i = \frac{1}{3}[\overrightarrow{P_i P_{i-1}}] \overrightarrow{P_i P_{i-1}}$ ,  $P'_{i+1} = \frac{1}{3}[\overrightarrow{P_i P_{i+1}}] \overrightarrow{P_i P_{i+1}}$ 의 벡터 연산에 의해  $P'_i$ 와  $P'_{i+1}$ 로 보정된다. 그 결과  $P_{i-1}, P_i, P_{i+1}, P_{i+2}$ 의 4개의 점은  $\overrightarrow{P_i P_{i-1}}$ 과  $\overrightarrow{P_{i+1} P_{i+2}}$  벡터의 방향과 크기를 각각  $\frac{1}{3}$ 씩 반영하여  $\frac{2}{3}\overrightarrow{P_i P_{i-1}}, \frac{1}{3}\overrightarrow{P_i P_{i-1}} + \frac{1}{3}\overrightarrow{P_{i+1} P_{i+2}}, \frac{2}{3}\overrightarrow{P_{i+1} P_{i+2}}$  간격을 유지하면서 배치되었기 때문에 확장되기 이전의 구조적인 정보를 반영할 수 있었다.

그림 7은 샘플로 사용한 43번 버스 노선도가 원본 지리 정보로부터 디지털화한 도로 정보들이 앞에서 논의한 처리과정에 따라 간략화 되고 구조화 되는 단계를 보여준다. (a)의 51개의 정점으로 복잡하게 구성된 지리 정보들 중에서 기하학적으로 중요도가

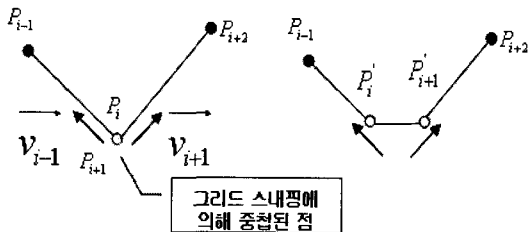


그림 6. 그리드 스냅핑에 의해 중첩된 정점을 해결하기 위한 벡터 연산

떨어지는 정점들과 우선 순위가 낮게 분류된 정점들 27개가 DCE에 의해 제거 되었다. 그 결과 15개의 버스 정류장과 12개의 정점들로 구성된 (b)의 도로 정보가 제작되었으며, 이렇게 간략화 된 정보들은 중심 보로노이 조각화와 그리드 스냅핑을 적용시켜서 밀집도가 균일한 (d)와 같이 구조화 된다. 본 논문에서 제시한 시스템은 (d)와 같은 도로 정보를 지도의 근간으로 설정하고, 아이콘과 레이블과 같은 기하객체들을 배치하여 도식화된 지도를 완성한다.

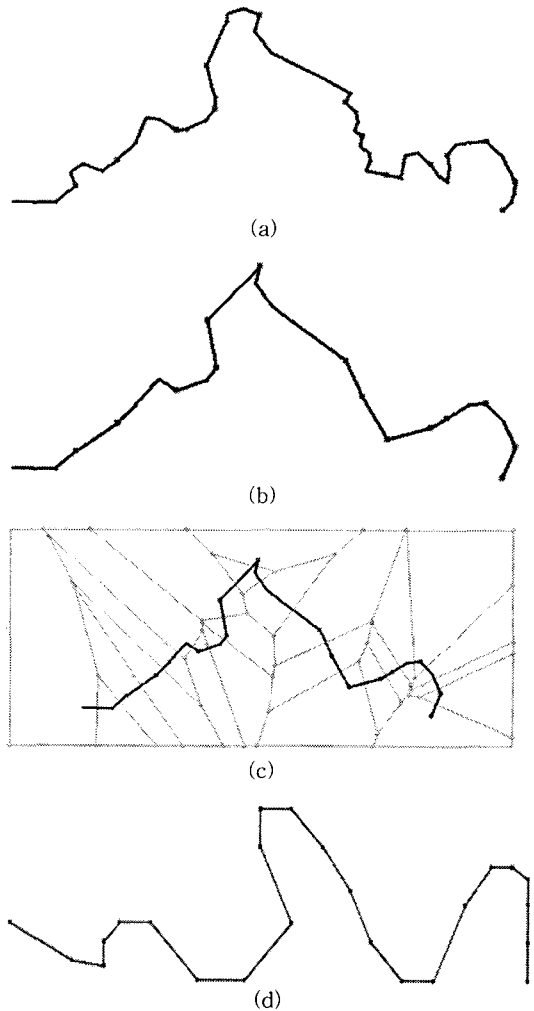


그림 7. 도식화된 지도의 도로 정보 : (a) 원본 지리 정보 데이터베이스로부터 디지털화한 도로 정보, (b) DCE를 적용하여 간략화한 지도, (c) 중심 보로노이 조각화를 적용하기 위해 도로를 구성하는 각 정점들을 보로노이 조각화한 모습, (d) 중심 보로노이 조각화와 그리드 스냅핑을 적용한 도식화된 지도의 레이아웃

### 5. 아이콘과 레이블의 배치 알고리즘

#### 5.1 레이블과 아이콘을 배치하기 위한 후보영역 설정

본 시스템에서는 정류장이나 중요 분기점등을 설명하는 기하객체들을 객체의 특성에 따라 그림 8과 같이 정점을 설명하는 레이블과 아이콘, 그리고 아이콘을 설명하는 레이블로 분류하였다. 정점을 설명하는 레이블은 아이콘에 비해 공간을 작게 차지하고 정점과의 거리가 가까워야 한다. 그리고 정점을 설명하는 아이콘은 다른 객체들에 비해 상대적으로 큰 면적을 차지하기 때문에, 설명하고자 하는 정점 주위에 있는 주변 도로의 구조적인 정보를 고려해서 배치되어야 한다. 또한 아이콘을 설명하는 레이블은 아이콘의 위치가 설정된 후에 아이콘 주위에 배치되어야 한다. 본 논문은 후보영역을 객체를 설명하는 아이콘과 레이블이 배치되는 것이 바람직한 것으로 여겨지는 영역으로 정의하였다. 이러한 후보영역의 특성으로 인하여 기하 객체들을 배치 할 때마다, 객체의 기하적인 특성에 따라 후보영역은 다르게 설정된다. 그러므로 본 논문에서는 중점적으로 각 기하 객체들의 특성을 고려하여 후보영역을 설정하는데 초점을 맞추었으며, 다음과 같이 후보영역을 설정하였다.

#### (1) 정점을 표기하는 레이블의 후보영역 설정 방법

레이블은 아이콘에 비해 상대적으로 큰 종횡비를 가지고 있다. 그러나 정점들간의 간격이 CVT에 의해 균일하게 배치되었기 때문에, 레이블과 같이 종횡비를 고려한 직사각형 형태보다는 정사각형 형태가 레이블을 배치하기 위한 후보영역으로 더욱 적합하다. 이러한 특성들을 반영하기 위하여 후보영역을 그림 9와 같이 설정하였다. 또한 레이블을 구성하는 글자의 수와 크기를 반영하기 위해서, 레이블의 너비  $w$ 와 높이  $h$ 의 평균으로 후보영역의 확장 길이  $e$ 를 설정하였다. 이렇게 설정한  $e$ 를 한 변의 길이로 하고 레이블이 표기할 정점이 중심인 정사각형을 레이블의 후보영역으로 설정한다.

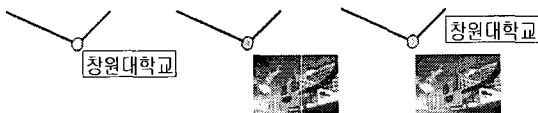
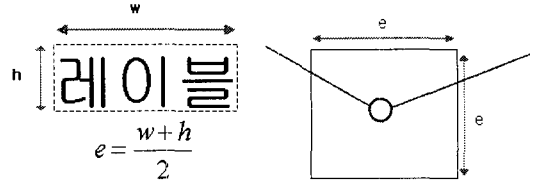


그림 8. 제안한 시스템에서 분류한 기하객체들 : (a) 정점을 설명하는 레이블, (b) 정점을 설명하는 아이콘, (c) 아이콘을 설명하는 레이블



$e$ : 후보영역의 확장 길이

그림 9. 정점을 기술하는 레이블의 후보영역 설정방법

#### (2) 정점을 표기하는 아이콘의 후보영역 설정 방법

아이콘은 레이블에 비해 상대적으로 큰 면적을 가지고 있기 때문에, 아이콘이 어디에 배치되는지에 따라서 아이콘 주변에 있는 다른 정점들과의 관계가 모호해진다. 그러므로 아이콘은 정점 주위에 있는 도로의 형태를 잘 반영해서 배치되어야 한다. 그림 10은 아이콘의 배치 영역을 결정할 때 주변 도로의 형태를 어떻게 반영해야 하는지를 설명하는 그림이다. 그림 10에서 아이콘이  $P_i$  정점 주변에 배치된다면, 아이콘의 후보영역은 그림 (a)와 같이 설정되어야 한다. 만약 그림 (b)와 같이 후보영역이 설정된다면, 아이콘이  $P_c$  정점을 표현하는 것인지  $P_i$  정점을 표현하는 것인지 모호하게 배치될 가능성이 있다. 즉 정점  $P_c$ 와 아이콘 사이의 간격  $l_c$ 가 아이콘과 정점  $P_i$ 와의 간격  $l_i$  보다 작아야 한다.

이러한 아이콘의 기하학적인 특성을 반영하기 위해서, 본 논문에서는 아이콘의 후보영역을 그림 11과 같이 설정하였다. 그림 11의  $\vec{v}_{max}$ 와  $\vec{v}_{min}$  벡터는  $P_i$  정점에서 후보영역을 확장하기 위해 설정한 벡터들이다. 먼저 정점  $P_i$ 를 포함하는 도로  $r_{i-1}$ 와  $r_i$  중에서 길이가 긴 도로를 선택한다. 길이가 긴 도로가 결정되면  $\vec{v}_{max}$ 의 방향인  $\vec{q}_{gt}$ 가 결정된다. 여기서  $\vec{q}_{gt}$ 는 아이콘을 배치하는 정점  $P_i$ 를 원점으로 하는 좌표계에서,  $P_i$ 를 제외한 정점  $P_{i-1}$ 가 놓여있는 사분면의

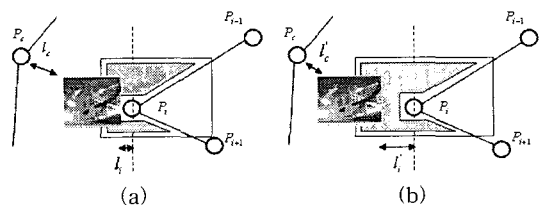


그림 10. 아이콘이  $P_i$  정점 주위에 배치될 경우, 아이콘이 반영해야 하는 주변 정보들 : (a) 바람직한 경우 ( $l_i < l_c$ ), (b) 바람직하지 못한 경우 ( $l_c < l_i$ )

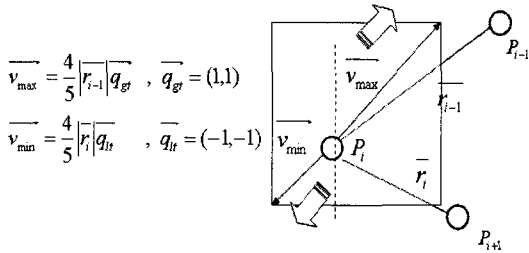


그림 11. 아이콘 배치를 위한 후보영역 설정 방법

대각 방향의 벡터이다. 예를 들어, 그림 11의 경우 길이가 긴 도로는  $\overline{r_{i-1}}$ 이며,  $\overline{r_{i-1}}$ 의 끝 점은  $P_{i-1}$ 이다. 이 점은  $P_i$ 를 원점으로 하는 좌표계에서 1사분면에 있다. 그러므로 원점에서 1사분면의 대각 성분의 벡터는 (1,1)이 된다. 이러한 방법으로  $\overline{q_{gr}}$ 가 설정되면  $\overline{v_{min}}$ 의 방향인  $\overline{q_h}$ 는  $\overline{q_{gr}}$ 의 반대 방향인  $-\overline{q_{gr}}$  = (-1,-1)로 설정한다.  $\overline{v_{max}}$ 와  $\overline{v_{min}}$ 의 크기는 각각  $\frac{4}{5}|\overline{r_{i-1}}|$ 와  $\frac{4}{5}|\overline{r_i}|$ 로 설정하는데, 이는 정점  $P_i$ 의 이웃 정점들에 배치될 기하 객체들과의 중첩을 고려하기 위해서 확장 영역의 크기를 제한하였다.

위와 같은 방법으로 설정된 벡터  $\overline{v_{max}}$ 와  $\overline{v_{min}}$ 을 확장 벡터로 활용하여, 그림 11과 같은 사각형 형태의 후보영역을 설정한다. 그러나 정점과 정점사이의 간격이 아이콘에 면적에 비해 너무 좁을 경우 아이콘을 효율적으로 배치할 수 없다. 그러므로 본 논문에서는 생성된 후보영역의 너비와 높이가 아이콘의 너비와 높이의 1/2 크기보다 작을 경우에, 후보영역의 너비와 높이를 일정 크기만큼 상하좌우로 확장하도록 하여 아이콘을 배치할 후보영역의 넓이를 보장하였다.

그림 12는 제안한 방법을 적용하였을 경우, 아이콘이 설명하는 정점이 어떤 점인지 명확한 경우와 명확하지 않은 경우를 설명하고 있다. 그림 (a)와 같은 형태로 정점과 모호한 점의 위치가 나열된 경우에는 일반적인 방법으로 아이콘의 후보영역을 설정하였을 경우에 아이콘이 모호하게 배치될 확률이 높게 된다. 그림 (a)에서 점선은 아이콘이 설명하는 정점과 모호하게 설정되는 정점의 경계 부분을 나타낸다. 그림 (b)는 제안한 기법이 해결할 수 없는 정점간의 위치관계를 설명하고 있다. (b)와 같이 제안한 기법을 적용하였을 경우에 아이콘이 설명하는 정점이 어떤 점인지 더욱 모호한 상황이 발생한다. 그러나 그림 13과 같이 정점들은 CVT에 의해 확장되기 때문에 이러한 경우는 발생할 확률이 극히 적다. 그림 14

는 43번 버스의 도식화된 노선도에서 제한한 시스템이 아이콘을 배치하기 위해서 후보영역을 설정한 그림이다.

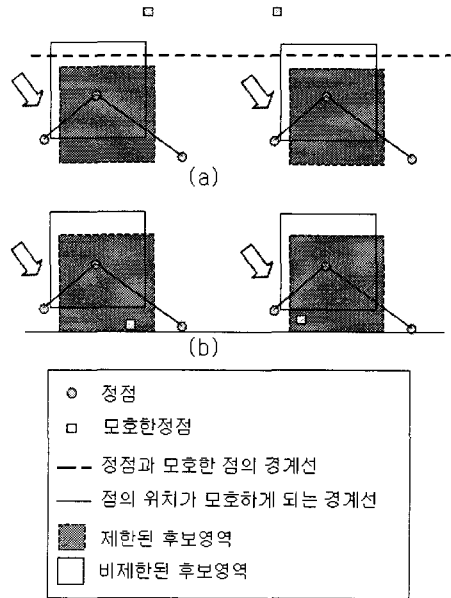


그림 12. 점의 위치에 따라 제한한 기법이 생성하는 아이콘의 후보 영역 : (a) 어떤 정점을 설명하는지에 대한 모호성이 제안한 방법으로 해결되는 경우, (b) 제안한 방법으로 해결되지 않는 경우

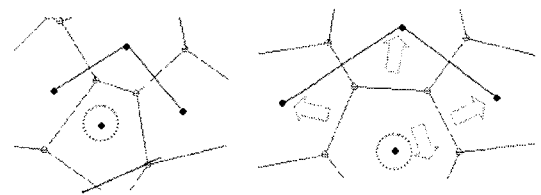


그림 13. CVT에 의해 정점들이 확장되기 때문에 그림 12의 b의 경우는 발생할 확률이 적다.

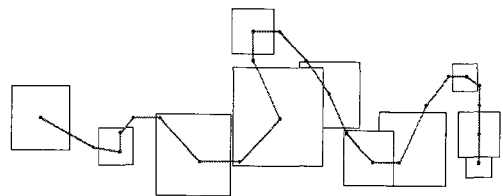


그림 14. 아이콘을 배치하기 위한 후보 영역을 설정한 그림. 정점을 구성하는 도로의 간격이 넓을 경우 아이콘을 배치할 수 있는 후보 영역의 공간은 넓어진다. 반면에 정점을 구성하는 도로의 간격이 좁을 경우에는 인접 정점들과의 중첩 문제를 고려하여 아이콘의 후보 영역은 작게 설정된다.

(3) 아이콘을 표기하는 레이블의 후보영역 설정 방법

아이콘을 표기하는 레이블은 아이콘 주위에 배치되기 때문에, 다른 기하객체들과 비교해서 상대적으로 넓은 배치 영역을 가진다. 본 논문에서는 그림 9와 같이 레이블의 글자 크기의 1.5배 만큼 후보영역의 확장 길이를 설정하였으며, 아이콘 영역을 확장하였을 때, 아이콘을 제외한 영역을 후보영역으로 지정하였다.

5.2 객체들의 배치 알고리즘

본 시스템에서는 아이콘 및 레이블과 같은 기하객체들의 배치를 위해, 그림 15와 같은 배치 알고리즘을 수행한다. 먼저 ① replacement 프로시저에 의해서 정점을 표기하는 레이블이 배치되며, 그 후에 아이콘이 배치된다. 아이콘을 표기하는 레이블은 아이콘의 위치를 참조하여 후보영역을 설정한 후 배치한다.

객체들의 세부적인 배치 알고리즘은 ② replaceGeoObject() 프로시저에 기술하였다. 먼저 배치할 객체의 형태와 정점들을 고려하여 후보영역을 생성한다. 그리고 생성된 후보영역 내부에 난수점을 발생시켜, 난수점과 정점의 위치를 기준으로 객체들을 배치한다. 정점을 원점으로 하는 사분면을 고려할 경우, 발생한 난수점의 사분면의 위치에 따라 그림 16과 같이 객체들을 배치하였다.

이렇게 배치된 객체들은 이미 위치가 정해진 객체들과 중첩되는지 검사한다. 만약 중첩되지 않는 난수점이 있다면 ③ placeMaxIntersection 함수에 의해서

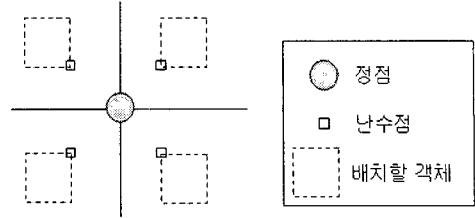


그림 16. 난수점의 발생 위치를 기준으로 한 객체의 배치도

후보영역과 가장 많은 영역이 교차하는 난수점을 선택하여 배치한다. 본 논문에서는 각 객체들의 특성을 고려하여, 객체들이 올바르게 배치될 수 있는 영역을 후보영역으로 선정하였기 때문에, 후보영역과 가장 많이 중첩되게 배치되는 위치가 각각의 객체들을 올바르게 배치할 수 있는 위치라고 판단하였다. 그리고 중첩되지 않는 난수점이 없다면, ④ placeMinIntersection()에 의해 위치가 정해진 객체들과의 중첩면적이 최소화되게 배치하는 난수점을 선택한다.

6. 실험 결과

그림 17과 18, 19는 본 논문에서 제시한 시스템을 활용하여 창원시내의 여러 버스 노선도에 대한 도식화된 지도를 생성한 결과이다. 지도의 전체 해상도는 상하좌우의 끝부분에 배치되어 있는 기하 객체들을 기준으로 측정했으며, 레이블의 평균글자수와 아이콘의 가로와 세로에 대한 평균 크기와 개수를 요약하였다. 실험에서 사용한 폰트의 크기는 가로 12픽셀과 세로 9픽셀의 크기로 지정하였다.

그림 17의 창원 시내 18-1번 버스 노선도는 941×520 픽셀의 해상도로 구성되어 있으며, 아이콘과 레이블은 각각 13개와 19개가 사용되었다. 평균 아이콘의 해상도는 78.62×58.08 이며, 레이블의 평균 글자수는 3.74 자이다. 그림 18의 창원 시내 71-1번 버스 노선도는 990×371 픽셀의 해상도로 구성되어 있으며, 아이콘과 레이블은 각각 13개와 20개가 사용되었다. 평균 아이콘의 해상도는 85.31×60.54 이며, 레이블의 평균 글자수는 3.60자 이다. 그리고 그림 19는 창원 시내의 43번 버스 노선도를 도식화한 지도이다. 그림 19의 43번 버스 노선도의 전체 해상도는 744×344 픽셀 이며, 아이콘의 개수는 11개, 그리고 15개의 레이블이 사용되었다. 평균 아이콘의 해상도는 81.64×59.09 이며, 레이블의 평균 글자수는 3.87자이다.

```

procedure replacement() ①
{
  replaceGeoObject(label)
  replaceGeoObject(icon)
  replaceGeoObject(labelwithicon)
}
procedure replaceGeoObject (geoObject){ ②
  while (*point){
    candiArea=geoObject.createCandidate(*point)
    *randPt=geoObject.generatePt(candiArea)
    while (*randPt){
      expectArea=geoObject->setPos(*randPt)
      sumArea+=geoObject->IsIntersection()
    }
    if (sumArea==0.0){
      expectArea=geoObject->setPos(*randPt)
      point->placeMaxIntersection(expectArea,candiArea) ③
    }
    else{
      expectArea=geoObject->setPos(*randPt)
      point->placeMinIntersection(expectArea,anotherGeoObject) ④
    }
  }
}

```

그림 15. 객체들을 배치하기 위해 제안한 알고리즘



본 논문에서 제안한 방법의 우수성을 판별하기 위하여 수작업으로 작성한 지도와 제안한 방법으로 작성한 지도를 두 가지 기준을 적용하여 비교하였다. 수작업은 100시간 이상의 레이블링 경험을 가진 숙련자를 기준으로 작업하였다. 시험에 사용한 세 가지

지도는 아이콘과 레이블이 각각 10-20개 정도인 데이터이며, 작업시간은 30분으로 제한하였다. 첫 기준은 선분과 레이블, 레이블과 레이블, 레이블과 아이콘의 중첩이 얼마나 발생하는 가이며, 두 번째 기준은 레이블 또는 아이콘과 정점과의 평균 거리를 픽셀

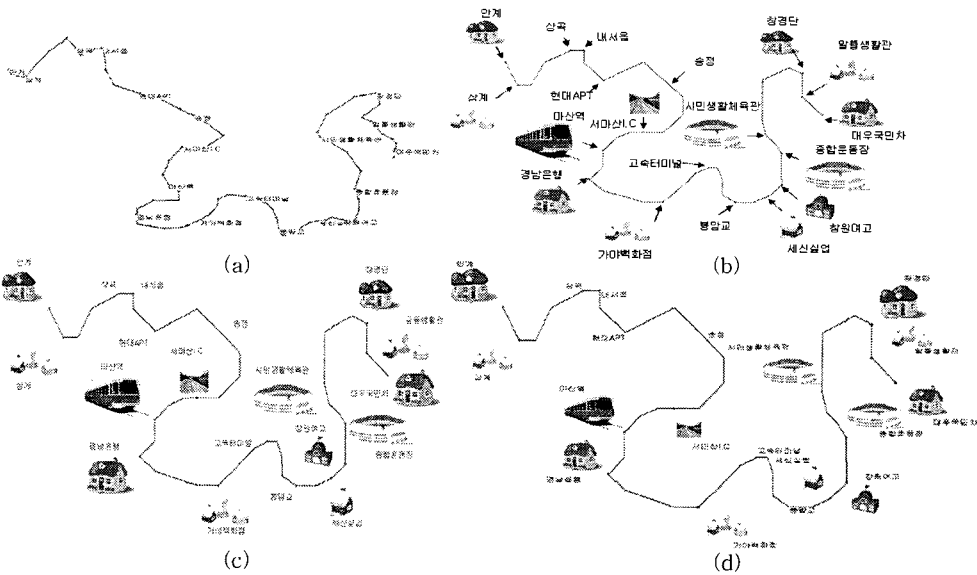


그림 17. 창원시의 18-1번 버스의 노선도를 도식화한 지도 : (a) 지리정보시스템의 데이터베이스로부터 추출한 원본 지리정보, (b) 아이콘과 레이블이 설명하는 정류소를 표기한 지도, (c) 수작업에 의해 아이콘과 레이블을 배치한 지도, (d) 제안한 시스템이 아이콘과 레이블을 배치한 지도

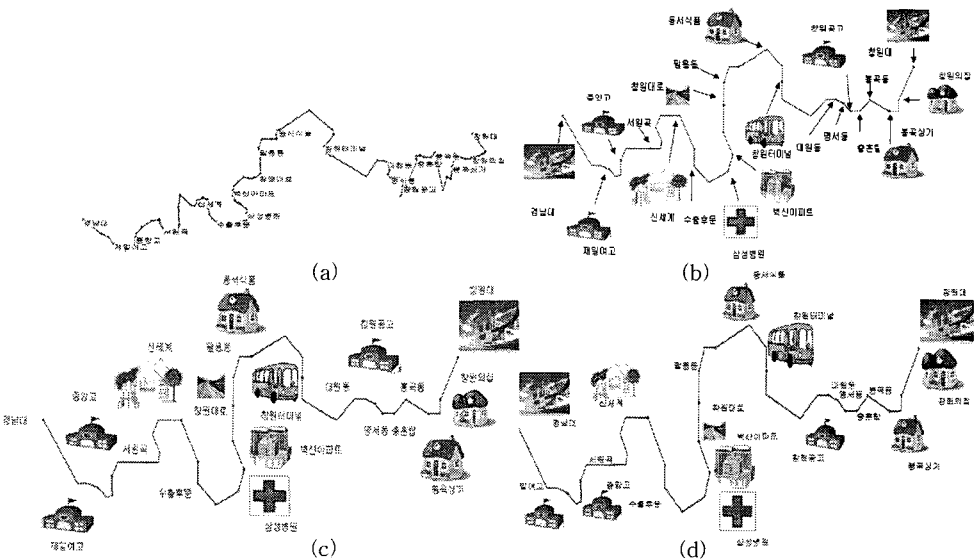


그림 18. 창원시의 71-1번 버스의 노선도를 도식화한 지도 : (a) 지리정보시스템의 데이터베이스로부터 추출한 원본 지리정보, (b) 아이콘과 레이블이 설명하는 정류소를 표기한 지도, (c) 수작업에 의해 아이콘과 레이블을 배치한 지도, (d) 제안한 시스템이 아이콘과 레이블을 배치한 지도

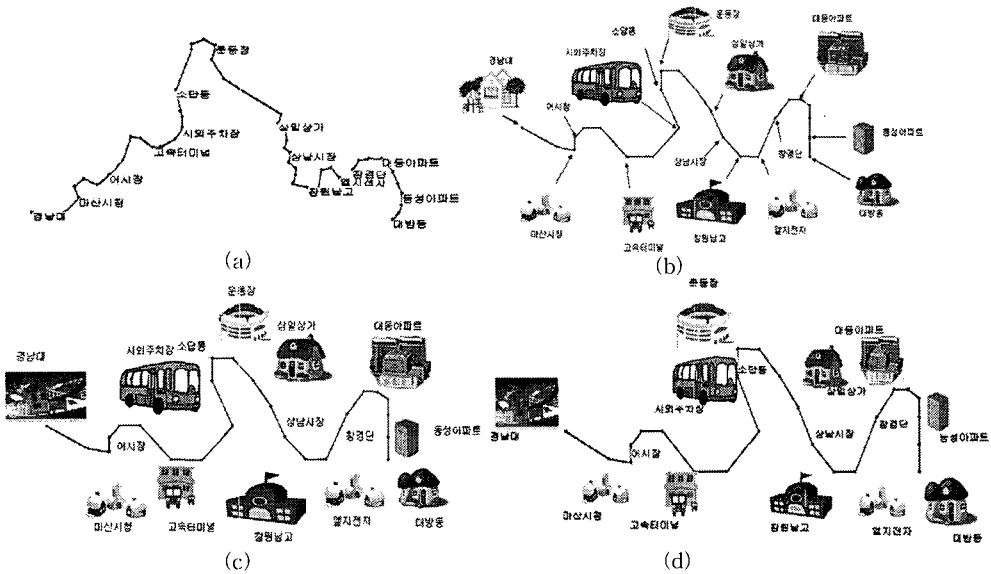


그림 19. 창원시의 43번 버스의 노선도를 도식화한 지도 : (a) 지리정보시스템의 데이터베이스로부터 추출한 원본 지리정보, (b) 아이콘과 레이블이 설명하는 정류소를 표기한 지도, (c) 수작업에 의해 아이콘과 레이블을 배치한 지도, (d) 제안한 시스템이 아이콘과 레이블을 배치한 지도

단위로 측정하였다. 그 결과 표 1과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 결과에서 볼 수 있듯이 제안한 방법은 정점간의 중복이 거의 없으면서도 수작업에 의한 방법에 비하여 레이블 또는 아이콘과 이와 관련된 정점간의 평균거리가 더욱 가까워짐을 알 수 있다. 수작업의 경우 대부분 중첩을 최소화 시키는데 중심을 두었으나, 중첩을 최소화시키다 보면 지리객체와 이를 설명하는 아이콘-레이블 사이의 간격이 너무 멀어지기 때문에 중첩의 최소화와 아이콘-레이블 사이의 거리의 최소화라는 상충되는 관계(trade-off)를 고려하여야 가독성이 높은 구조적 지도를 생성할 수 있다. 표 1의 결과에서는 기하 객체들을 배치하기 위해서

각 객체마다 특정 후보영역 내에서 50개의 난수점을 발생시켰다. 그러나 후보 영역이 작거나 객체들이 밀집된 지역에서는 발생한 난수점들 중에서 객체들이 중첩 하지 않는 난수점이 없는 경우도 있다. 71-1번의 도식화된 지도가 이러한 경우이며, 이 지도에서는 레이블 객체 사이에 중첩이 한 번 발생하였다. 두 번째 평가 기준인 평균 거리는 수작업에 의해 제작된 구조적 지도와 본 논문의 알고리즘에 의해 제작된 구조적 지도가 각각 13.4 픽셀, 7.9 픽셀로 측정되었다. 이 결과는 컴퓨터를 이용하여 객체들의 배치 작업을 수행하는 것이 수작업으로 작업하는 것보다 기하학적인 측면에서 더욱 정밀함을 반영한다.

표 1. 수작업으로 작성한 지도와 제안한 방법으로 작성한 지도를 비교한 실험 결과

버스 노선도	수작업		제안방법	
	중첩횟수	평균거리 (픽셀)	중첩횟수	평균거리 (픽셀)
18-1	0	12.0	0	7.2
43	0	15.1	0	7.3
71-1	0	13.0	1	9.1
평균	0	13.4	0.3	7.9

### 7. 결 론

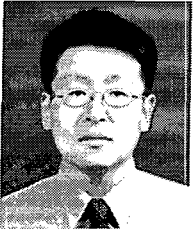
본 논문에서는 원본 지리 정보를 바탕으로 도식화된 지도를 제작하기 위한 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템은 복잡한 원본지리 정보의 밀집도를 균일하게 하기 위해서 중심보로노이 조각화를 적용하였으며, 그리드 스네핑을 적용하여 지도의 구조적인 정보를 유지하였다. 또한 아이콘과 레이블과 같이 지리 정보를 표현하는 기하 객체들을 적절하게 배치하기 위해서, 기하객체의 특성을 반영한 후보영역을 생성

하여 기하 객체들을 배치하였다. 이를 창원시내의 각 버스 노선도에 적용하여 아이콘과 레이블이 적절하게 혼합된 도식화된 지도를 제작 할 수 있었다.

최근 무선 인터넷 인프라의 확장과 무선 인터넷이 가능한 단말기의 눈부신 발전으로 인해서, 위치기반 서비스(LBS)와 같이 이동성을 필수로 하는 서비스들이 각광을 받고 있다. 본 논문에서 제안한 구조적 지도는 성능이나 디스플레이 크기가 제한되어 복잡한 지리 정보를 효과적으로 보여주기 힘든 단말기 상에서 효과적으로 지리정보를 시각화하는데 사용할 수 있다. 그러나 본 시스템에서 제안한 기법들은 원본 지리 정보들을 정확하게 시각화 할 수 없는 단점이 있다. 그러므로 본 논문에서는 실제 원본 지리 정보를 단계별로 도식화할 수 있는 기법들과 복잡하고 세부적인 원본지리 정보를 사용자가 편리하게 활용할 수 있는 인터페이스 개발을 향후 연구과제로 제시한다.

### 참 고 문 헌

- [1] T. Barkowsky, L. J. Latecki, and K-F. Richter, "Schematizing Maps: Simplification of Geographic Shape by Discrete Curve Evolution," *Spatial Cognition II*, Springer-Verlag, pp. 41-53, 2000.
- [2] M. Agrawala and C. Stolte, "Rendering Effective Route Maps: Improving Usability Through Generalization," *Proceedings of SIGGRAPH 2001*, pp. 241-250, Aug. 2001.
- [3] M.Agrawala and C.Stolte, "A Design and Implementation for Effective Computer-Generated Route Maps," *AAAI Symposium on Smart Graphics*, Mar, 2000.
- [4] E. Imhof, "Cartographic Relief Presentation," *Berlin: de Gruyter*, 1982.
- [5] S. Edmondson, J. Christensen, J. Marks, and S. Schieber, "A General Cartographic Labeling Algorithm," in *Cartographica* 33(4), pp. 12-33, 1997.
- [6] Du, Q., Faber, V. and Gunzburger, M, "Centroidal Voronoi Tessellations: Applications and Algorithms," *SIAM Review* 41, pp. 637-676, 1999.
- [7] Jon Christensen, Joe Marks, and Stuart Shieber, "An Empirical Study of Algorithms for Point-Feature Label Placement," *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Vol. 14 Issue 3, pp. 203-232, Jul. 1995.
- [8] Srinivas Doddi, Madhav V. Marathe, Andy Mirzaian, Bernard M. E. Moret, and Binhai Zhu, "Map Labeling and Its Generalizations," *Proceedings of the eighth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms*, pp. 148-157, Jan. 1997.
- [9] Marc van Kreveld, Tycho Strijk, and Alexander Wolff, "Point Set Labeling with Sliding Labels," *Proceedings of the fourteenth annual symposium on Computational geometry*, pp. 337-346, June 1998.
- [10] Hugo A. D. do Nascimento, and Peter Eades, "User Hints for Map Labelling," *Proceedings of the twenty-sixth Australasian computer science conference on Conference in research and practice in information technology*, Vol. 16, pp. 339-347, Feb. 2003.
- [11] 박동규, 류동성, 어윤, "모바일 핸드셋을 위한 라우트맵 시각화 방법에 관한 연구," *한국멀티미디어학회 논문지* 제 7권 제 2호, pp. 231-240, 2004년 2월.
- [12] 류동성, 박동규, 이도훈, "도식화된 지도 생성을 위한 아이콘과 레이블 배치 알고리즘," *한국멀티미디어학회 2003년도 춘계학술 발표대회*는 문집, 제 6권 제1호, GIS, pp. 596-599, 2003.
- [13] 류동성, 박동규, "중심 보로노이 조각화와 그리드 스냅핑을 이용한 도식화된 라우트맵 생성," *HCI 2005 PROCEEDING*, 제 1권, pp. 854-859, 2006.



박 동 규

1993년 부산대학교 전자계산학과 (이학사)  
1996년 부산대학교 전자계산학과 (이학석사)  
1999년 부산대학교 전자계산학과 (이학박사)  
2000년~ 2002년 영산대학교 멀티

미디어 공학과 전임강사

2002년~현재 창원대학교 정보통신공학과 조교수  
관심분야: 위치기반 서비스, 모바일 콘텐츠 개발, 컴퓨터 그래픽스

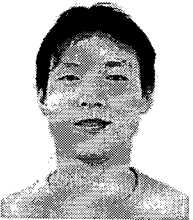


어 윤

1982년 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)  
1986년 한양대학교 전자통신공학과 (공학석사)  
1994년 일본 동북대 전기및통신공학과 (공학박사)  
1986년~1988년 금성전기 안양연

구소 연구원

1988년~1998년 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원  
1998년~현재 국립 창원대학교 정보통신공학과 부교수  
관심분야: 디지털통신시스템, 부호이론, 이동통신



류 동 성

1999년 인제대학교 정보컴퓨터공학부 입학  
2001년 창원대학교 정보통신공학과 편입학  
2004년~현재 창원대학교 정보시각화 연구실 석사과정

관심분야: 모바일 콘텐츠 개발, 위치기반 서비스, 컴퓨터 그래픽스