

효율적인 네트워크 데이터 관리를 위한 가변-축척 지도 제작 방안

A Study of Developing Variable-Scale Maps for Management of Efficient Road Network

주용진*
Joo, Yong Jin

要 旨

본 연구의 목적은 상세 레벨의 대규모 도로망 데이터를 대상으로 다양한 축척과 추상화 수준을 가진 상위 레벨의 소축척 도로 선형 사상을 유도하는 가변-축척 기반 네트워크 데이터의 생성 방안을 제시하는 것이다. 이를 위해 우선, 가변-축척 모델 구축을 위해 관련 용어의 정의와 모델 구축시의 이점과 구축 절차에 대해 살펴보았다. 둘째, 가변-축척 모델을 설계하기 위해 지도 표출을 위한 표현 레벨과 레이어 구성요소를 제시하였다. 또한 상위 LoD와 데이터 연계 방법과 인덱스 구조 생성을 위한 규칙을 정의 하였다. 마지막으로 설계된 모델의 구현과 검증을 위해 제시된 알고리즘을 실제적인 연구지역 도로망(제주도)에 적용하여 가변 축척 도로망을 유도하여 구축하고, 공간 데이터베이스(Oracle Spatial)에 저장한 후 성능 분석을 통해 모델의 효율성과 타당성을 검증하였다.

핵심용어 : 가변-축척, 다중 표현, 다중-축척, 상세수준, 공간 DBMS

Abstract

The purpose of this study is to suggest the methodology to develop variable-scale network model, which is able to induce large-scale road network in detailed level corresponding to small-scale linear objects with various abstraction in higher level. For this purpose, the definition of terms, the benefits and the specific procedures related with a variable-scale model were examined. Second, representation level and the components of layer to design the variable-scale map were presented. In addition, rule-based data generating method and indexing structure for higher LoD were defined. Finally, the implementation and verification of the model were performed to road network in study area (Jeju -do) so that the proposed algorithm can be practical. That is, generated variable scale road network were saved and managed in spatial database (Oracle Spatial) and performance analysis were carried out for the effectiveness and feasibility of the model.

Keywords : Variable-Scale, Multiple Representation, Multi-Scale, Level of Detail, Spatial DBMS)

1. 서 론

상세수준의 공간데이터 집합의 데이터와 기준 데이터 셋으로부터 자동으로 유도된 데이터의 레벨 관리에 많은 관심이 증가하고 있다(Bobzien et al., 2006; Ellsiepen, 2007; Stoter et al., 2008). 단일 수준의 지리적 데이터베이스에서 필요 이상으로 상세한 정보가 포함된 경우 사용자 요청을 처리하기 위한 대축척 객체의 공간 연산은 처리량이 높아짐에 따라 응답 시간을 지연시킬 수 있다. 이로 인해 상대적으로 정확도가 낮아도 큰 지장이 없고 복잡도가 요구되지 않는 업무에 대축척의 지도를 이용하여 최대 해상도 상에서 공간 데

이터의 처리작업을 하는 것은 데이터의 활용 목적과 경제성 측면에서 비효율적이다. 또한 해상도가 높을수록 얻어지는 정보의 정확도가 높아지는 장점이 있으나 그 모델을 저장하기 위한 공간과 이를 처리하기 위한 비용이 증가하는 단점이 있다. 이에 따라 발전된 형태의 공간 데이터베이스는 다양한 상세 수준(LoD : Level of Detail)에서 위상적인 정보를 접근하게 하는 다중 표현(Multiple Representation) 방식을 제안하고 있다(Joo and Park, 2010). 격자 모델에서의 LoD 구축은 원본 영상 픽셀의 서브 샘플링(Sub-sampling)에 의해 대상 영상의 공간 해상도를 반복적으로 축소하여 제작하는 비교적 단순한 절차로 구현된다. 이와 달리 도로 네트

워크를 위한 벡터 모델의 LoD 구축의 경우 매칭과 대응관계 정의에 많은 어려움을 가진다. 다중 LoD 객체 생성을 위한 일반화 절차는 특정 축척에서 질의를 만족시키는 적합한 표현을 유도하기가 어려워 다중 LoD 데이터에 대한 효율적 저장 관리를 위한 방안이 필요하다 (Joo and Hahm, 2011). 이에 본 연구의 목적은 대규모도로 네트워크를 대상으로 다중 버전 데이터의 기하학적 변형을 유도할 수 있는 가변-축척(Variable Scale) 모델을 제안하는 것이다. 이를 위한 연구의 내용으로 우선, 가변-축척 모델 구축을 위해 관련 용어의 정의와 모델 구축 시의 이점과 구축 절차에 대해 살펴보았다. 둘째, 가변-축척 모델을 설계하기 위해 지도 표출을 위한 표현 레벨과 레이어 구성요소를 제시하였다. 또한 일대일의 치수 제약을 극복하고 보다 복잡한 개체들의 대응 관계에 적용하기 위해 상위 LoD와 데이터 연계 방법과 인덱스 구조를 위한 규칙을 제시하였다. 마지막으로 설계된 모델의 구현과 검증을 위해 이렇게 제시된 모델을 실제적인 연구지역 도로망(제주도)에 적용하여 가변-축척 도로망을 유도하여 구축하고, 공간 데이터베이스(Oracle Spatial)에 저장한 후 성능 분석을 통해 모델의 효율성과 타당성을 검증하였다.

2. 가변-축척 모델 구축 방안

2.1 가변-축척 모델 개념

2.1.1 다중 표현

동일한 공간 객체를 다양한 축척-목적해상도에 따라 표현하는 것을 다중 표현이라 한다(Dogru, 2004). 이는 상세 수준의 지도 요소들에서 공간적 우선순위에 따라 여러 데이터 집합으로 구성된다. 다중 표현의 장점은 대용량 원시 데이터 집합에서 지도 요소들의 공간적 우선순위에 따라 효과적인 시각화와 데이터 교환을 가능하게 하는 다중 LoD를 유도(derivation)할 수 있다는 것이다. 또한 다중 표현은 상세 수준별 지도 데이터의 관리를 통해 시각화 시스템의 목표인 클라이언트와 서버 간 데이터의 교환량을 최소화시킬 수 있다(Follin et al., 2005).

2.1.2 다중 LoD (Multiple Level of Detail)

다중 표현 사이에 명확한 연결을 유지하기 위해 계층적 데이터 구조로 저장된 공간 객체(object)를 레벨(Level)이라 하며(Han, 2004), 위상적(topological) 관점으로부터만 발생하는 다양한 레벨에서의 지도의 변화를 저장한 계층적 데이터 구조를 다중-레벨이라 한다(Bertolotto 1998; Han, 2004). 상세 수준(LoD : Level

of Detail)이란 다중 표현을 위해 미리 정의된 다양한 축척 레벨에서 저장된 데이터의 집합이다(Cecconi, 2003). 다중 LoD는 지리적 형태 변화에 따라 동일한 지리 개체가 서로 다른 표현을 갖는 것으로, 다중 표현 사이에 명확한 연결을 유지하기 위해 계층적 데이터 구조로 저장된 공간 객체이다(Han, 2004). 또한 기준 데이터 집합(Base Data Set)의 상호적인 일반화에 의해 유도되며 데이터베이스 내에서 객체의 양적 변화 뿐 아니라, 객체에 포함된 기하학적(geometry) 정보와 위상 정보(topology)의 변형 모두를 의미한다(Joo and Park, 2010; Bertolotto, 1999).

2.1.3 가변-축척

다양한 상세 수준의 데이터를 다루기 위한 기본적인 두 가지 방법은 가변-축척과 다중-축척(multi-scale)이다(Cecconi and Galanda, 2002). 다중-축척은 지도의 여러 작은 축척의 버전을 생성하는 접근이다. 즉, 단순히 지도가 특정 축척을 필요로 할 때마다 사전에 정의된 집합으로부터 가장 적합한 축척이 선택되고 표현된다. 반면 가변-축척은 사전에 구축된 다양한 축척의 지도 집합대신, 응용 또는 사용자가 필요로 하는 순간의 적합한 축척의 지도를 추출하게 하는 기준 맵(base map)상에서 인덱스 구조를 생성하며, 이를 통해 특정 지역을 위한 적합한 축척의 지도를 원하는 즉시 구축할 수 있다. 따라서 가변-축척 모델의 장점은 단 하나의 데이터 셋이 운영됨에도 불구하고 그 데이터는 어떤 축척에서도 표시 될 수 있다는 것이다. 상기 언급된 다중 표현과 가변-축척 관련한 용어를 도식화하면 Fig. 1과 같다.

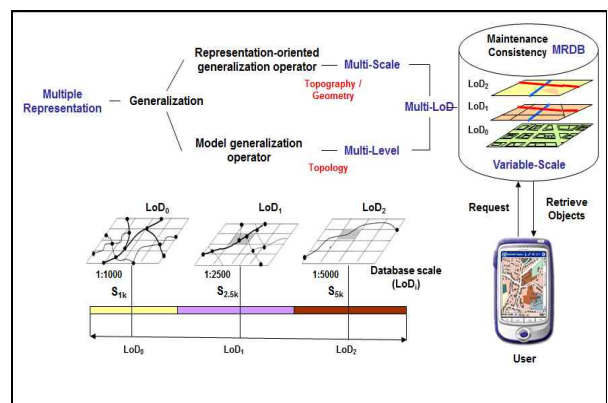


Figure 1. Concept of terminology related with variable-scale model (Joo, 2009)

2.2 모델 구축 절차

본 절에서는 네트워크를 위한 가변-축척 모델을 생성하기 위한 필요한 규칙과 공간 데이터의 구조화를 위한 처리 과정을 제시하였다. 모델 정의를 위해서는 지도 생성 과정에서 상세 레벨의 다수 공간 객체 집합을 동적으로 분류하고, 또한 이와 대응하는 유도 데이터와의 연결성과 기하 및 속성 스키마를 통합하며 이를 다중 표현 데이터베이스 내에 모형화 할 수 있어야한다. 이 절차는 다양한 지도 요소들을 대상으로 적용하기 때문에 언제, 어떻게, 어떠한 절차들을 적용할 것인가에 대한 방법론적인 검토가 필요하다. 가변-축척 모델의 구성 절차는 생성 규칙에 있어 목적과 축척에 따라 처리 조건을 제시하여 단계적으로 적용할 수 있는 방법을 나타내며 구조 인식, 인식 처리 과정, 실행과정 및 지도 시각화로 4단계로 구분하였다.

우선, 모델 구성의 첫째 단계인 구조 인식은 네트워크 입력 데이터의 공간적인 관계와 구조 측정을 통해 기본 데이터베이스의 품질, 대상 지도의 축척과 상세 수준별 대상물 인지를 위한 표현 레벨을 정의하고 대상물 사이의 계층적 구성과 위상 정보를 정립하는 단계이다. 지도 요소를 구성하는 공간객체들의 관계를 표현하는 위상구조는 규칙이나 알고리즘 적용 시 발생할 수 있는 공간정보의 오류를 최소화시킨다. 두 번째 인식 처리 과정은 다중 데이터 간 상호 연계를 위한 과정으로, 계층화된 데이터 사이에 기하학적인 매칭, 대응 규칙과 필요한 연산자 등이 정의된다. 다음으로 설계된 모델을 실행하는 과정이다. 이 과정은 가변-축척 모델을 생성하기 위한 규칙과 처리 과정이 일관된 결과를 산출해내기 위하여 기본 데이터베이스에 적용하는 일련의 실행과정을 의미한다. 따라서 지도 생성 절차는 입력 네트워크가 지도 요소 관계에 따라 정의된 링크 통합을 위한 우선순위 규칙을 거치게 되며, 최종 지도 인식 결과에 따라 지도 요소들을 계층화하여 상세 수준별 속성정보와 위상정보를 구축하게 한다. 이 단계는 가변-축척 모델 생성을 위한 핵심적인 단계로 단일 지리 정보를 지도화하는 것이 아니라, 수준 별 네트워크의 다양한 주제와 연관된 정보를 함께 지도화하게 하므로 지도 요소들 간 상호 관계와 의미 파악을 가능하게 한다. 즉, 축척이 감소되어 나타나는 상위 레벨의 도로망의 경우 형태가 변형된 통합 링크는 연관된 속성 역시 같은 단위로서 표현될 수 있다. 이는 각 상세 레벨에 따라 주제 별 단위에 의해 다양한 지도 요소의 공간적 배열과 표현이 가능하다. 모델의 마지막 단계인 자료 도식화 단계로 구축된 가변-축척 기반 데이터베이스를 이용하여 표현 대상 자료가 지도에 시각화된다.

3. 가변-축척 모델 설계

본 장에서는 가변-축척 데이터 모델의 구조 인식을 위한 표현 레벨과 위상의 계층 구성을 위한 데이터 연계 규칙을 정의하였다. 이를 통해 네트워크 개체는 레이어로 그룹화 되고 일련의 레이어는 지도를 형성한다. 개체의 표현은 레벨의 수준에 따라 변화하며 다양한 상세 수준의 레이어들로 구분된 네트워크 개체들이 고려될 수 있다.

3.1 표현 레벨

레이어(Layer)는 다양한 속성 명세를 가지고 결합된 개체들의 집합이다. 각각의 레이어는 도로망을 구성하는 특정 주제를 가지는 객체가 통합되어 저장된 집합체이다. 레벨에 따라 다양한 상세 수준을 가지는 레이어로 표현될 수 있다. 레벨은 계층적 데이터 구조 안에 공간 개체의 결합된 집합이다(Han, 2004). 레벨의 상세 수준 LoD는 구체화된 축척 또는 일반화를 위한 제약 조건의 모음이다. 이때 각 레벨은 값 i 로 표기될 수 있으며 i 는 0을 포함한 양의 정수 집합으로 한정 한다. 또한 레벨 사이에 다양한 변화는 위상적인 관점으로부터 발생하며, 레벨의 수준은 공간 객체 표현의 자세한 정도의 감소에 따라 순서화 되었다고 가정한다. 즉, 만약 $i_1 > i_2$ 라면, Level i_1 은 Level i_2 보다 단순한 정도를 표현한다. 또한 Level 0은 가장 상세한 정도를 가진 레벨이며 i 값이 증가함에 따라 연속적인 레벨들에서 개체 표현의 자세함은 감소한다. 지도는 주제에 따라 개체를 그룹화 하는 축척에서 연속된 레이어의 집합이다. 이때 도로 네트워크 객체를 위한 지도를 위해 다음과 같은 구성 요소의 집합을 고려한다.

- $L = \{l_1, l_2, \dots\}$: 레이어의 범위
- $A = \{a_1, a_2, \dots\}$: 속성 이름의 집합
- $R = \{r_1, r_2, \dots\}$: 속성 값의 범위
- $S = [e_{min}, \dots, e_{max}]$: 지도에서 정의된 축척 범위 ($1 \leq e_{min} < e_{max}$)
- $L^{lod} = \{l_1^a, \dots, l_1^b, \dots, l_n^c\}$: LoD 레이어의 범위 즉, L^{lod} 안에 한정된 LoD 레이어의 집합 (a, b, c 는 LoD 데이터를 표현하기 위해 구분된 상세 수준의 의미)

네트워크 지도 객체를 위한 레이어 L 은 도로 등급 별로 구분된 선형 객체와 유형별 노드의 집합으로 구성된다. 각 레이어는 객체의 특성을 기술하는 다양한 속성 A 을 가진다. 다중 표현을 실현하기 위해 지도 M 은 이

러한 객체를 축척에 따라 그룹화 시켜, 레벨에 따른 수준 별 레이어의 집합과 이들과 관련된 속성들의 집합 ($M = (L^{lod}, \Sigma A)$)으로 구성된다.

3.2 데이터 연계

데이터 조직을 위한 일반적인 원리는 단일-해상도 (Single-Resolution : 「단일 실세계 객체는 데이터베이스 안에 단일 인스턴스의 표현」)와 다중 해상도 (Multiple Resolution)구조로 구분된다. 본 연구에서 가변-축척 데이터는 「단일 객체는 다수의 단일-해상도 인스턴스들러 구성」 되는 다중 해상도 구조를 사용한다. 이 접근 구조는 각 네트워크 공간 선형 객체 사이에 상호 연계와 다중 표현을 가지도록 한다. 또한 다양한 LoD 상에 서로 다른 레이어 들을 가지며 이러한 레이어 들은 하나 원시 데이터로부터 유도 된다. 동일한 실세계 객체들 사이에 다양한 매칭의 구성은 관계와 차수로 [1:1], [1:n], [n:m]로 고려할 수 있다 (Fig. 2).

기존 연구에서는 [1:1] 매칭을 위한 네트워크 데이터 모델을 제시하였지만, 이 LoD 모델은 일반화를 통해 생성된 단일 LoD 데이터로 데이터 간에 기하적인 차이만을 가진다는 제약을 가지므로, 차수 제약을 극복하기 위한 보다 복잡한 관계에 대한 확장된 네트워크 모델 연구의 필요성을 강조하였다(Follin et al., 2005). 또한 Fig. 2에 제시된 [1:n]의 관계의 경우, 대응하는 객체들을 연계하기 위한 의미적 매칭 정보인 식별자 ID1이 두 LoD 데이터 사이에 연결 되지 못함을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 넓은 영역에 다양한 축척과 서로 다른 추상화 레벨을 가진 데이터에서 도로 요소들 간에 매칭을 고려하기 위한 [1:n] 계층적 매칭 방법을 설계 하였으며, 다양한 LoD 사이에 대응하는 개체 사이에 의미적 매칭과 위상적 매칭 정보를 유지하기 위한 절차와 모델을 고려하였다. 이를 통해 다중 표현 내에 대응하는 객체 또는 객체의 그룹의 기하학적 위치를 탐지하

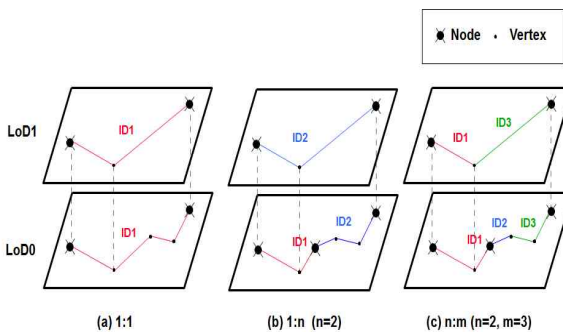


Figure 2. Multiple representation and relations among linear objects

고 표현하는 역할을 한다.

3.3 규칙기반(rule-based) 인텍싱 구조

상위 LoD 유도를 위한 인텍싱 구조는 상위 레벨 구성을 위한 링크의 공통 속성을 이용한다. 이를 위해 도로등급과 도로번호로서 노선이 정의된 연결성이 있는 도로를 대상으로 한다. 이때 도로망의 주 골격을 형성하여 지역 간을 연결하는 주간선도로나 고속도로 또는 주간선도로에 연계되는 보조 간선도로를 대상으로 하고 통행거리가 짧은 집산도로는 제외시킨다. 이때 상위 LoD을 위해 지도 축척에 따라 표현할 대상을 설정하고 저장하기 위한 계층 구조로 구축되어 레벨 간 디스플레이가 가능하도록 하며 개체 사이의 상하 관계를 정의할 수 있다. 이는 데이터베이스 내 도로의 위상구조에 따라 네트워크 연결성과 근접성을 고려한 저장구조로 검색의 성능을 향상될 수 있도록 하고, 계층적 구조에 따라 도로 DB가 차지하는 데이터 저장 용량이 경량화 되어 단순성을 지원하기 위함이다.

또한 모든 표현들 내에 상위 LoD 개체와 상세한 수준의 동일 객체 또는 객체들의 그룹을 탐지하는 방법은 상위 LoD의 구성과 이들 사이에 매칭을 실현함에 있어 가장 어려운 부분이다. 따라서 이러한 한계를 해결하고 매칭 절차를 자동화하기 위해 상위 LoD 링크는 하위 레벨의 여러 링크가 공통 속성을 가진 계층화된 상위 레벨 링크에 연계되도록 구성하며, 최하위 레벨의 링크는 식별번호(Unique Identifier)를 부여하여 사용한다. 공통된 속성을 가지는 기준 레벨 링크에 오름차순으로 증분 링크 아이디(Increment Based Link ID)를 부여한다. 상위 레벨의 링크는 통합화된 하위 레벨의 시점 링크 ID와 증분 링크 ID로 표현하여 상-하위 레벨 간에 1:n의 관계성을 정의한다. 가변-축척 모델의 네트워크

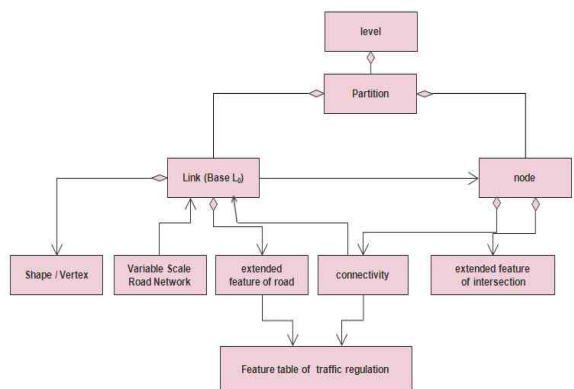


Figure 3. UML diagram of Variable-Scale Network

에서 위계별 노드와 링크의 구조를 정의하는 UML 모델은 Fig. 3과 같다.

실제 ITS용 네트워크의 노드와 링크의 구조를 고려하여 유형별 네트워크 통합을 위한 우선순위 절차와 인덱싱 방법을 제안하였다. 즉, 링크의 자동 매칭을 통합 상위 LoD 링크 생성을 위해 노드 탐색과정을 거쳐야 하며 링크 병합 조건은 아래와 같다.

- 규칙 1: 동일한 등급을 가지는 링크를 대상으로 아 이디가 연속된 링크들을 연결한다. 이때 응용의 목 적 따라 도로 번호는 없지만 상위 레벨에서 연결성 이 있는 간선도로도 병합 대상이 될 수도 있다. 아 래 Fig. 4는 링크 병합을 위한 노드 탐색 과정을 보 여준다. 이때 a, f는 일반국도 제1호선에서 전체 링 크 병합을 위한 시작과 종료 지점이 되며 b, c, d, e는 이를 위한 링크 병합 대상이 섹션을 구성하는 중간 노드 점들이다. 즉, 노드 b는 톨게이트(요금 소), 검문소 등 교통 통제점으로 차량운행이 물리 적으로 통행되는 지점이며 노드 c, d는 휴게소, 주 차장, 대형시설 또는 취락시설의 진출입 지점 등 교통 진출입점이며, 노드 e는 IC와 JC 등 연결로와 교차하는 지점으로 이 유형의 노드들은 링크 병합 이 이루어지는 대상 노드가 된다.
- 규칙 2: 규칙2는 규칙1에서의 도로 교차점을 레벨 과 실제 접속하는 인접 링크 수와의 관계에 따라 병합 조건을 상세하게 정의한다. 레벨이 다른 동일 도로등급이 교차 시에는 동일 레벨의 노선번호가 같은 링크를 우선하여 연결한다. 단, 동일 레벨에 서 도로 교차점 경우 도로등급이 같은 링크일지라 도 연결되지 않는다.

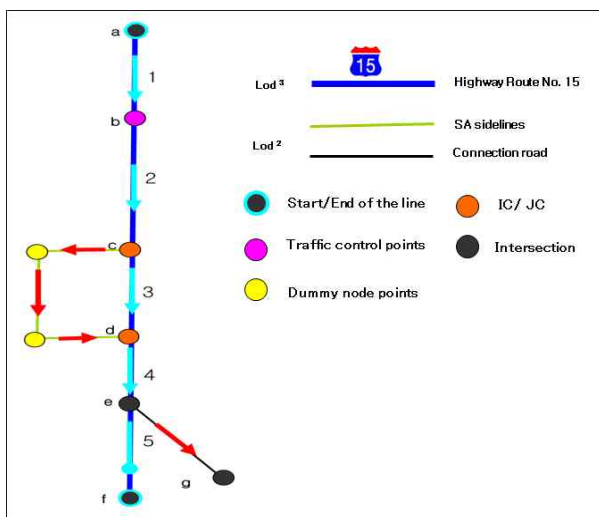


Figure 4. The same road rank and route

- 규칙 3: 도로등급과 노선번호가 같은 링크가 다수 일 경우에는 속도가 같은 링크(본선)를 우선 하여 연결한다.
- 규칙 4: 도로구조 변환점, 즉 터널, 교량, 고가, 지하차도 등 도로 시설이 설치되어 운영 중인 구간의 시 종점 노드인 경우와 도엽 경계로 끊어진 링크에 존재하는 도엽 경계노드에서의 링크들은 연결시킨 다. 또한 도로의 차로수, 속도 등의 변화가 발생하 여 도로의 운영 방법이 변화하는 도로 운영 변환점 에서의 링크도 연결시킨다. 하지만, 도로등급의 변 화, 노선의 시-종점, 자동차 전용도로와 유료 도로 의 시-종점에서는 링크를 연결시키지 않는다.

4. 모델 구현과 평가

본 장에서는 설계된 가변-축척 네트워크 모델을 공간 데이터베이스에 구축하고, 제시된 네트워크 모델의 효율성과 적용 가능성을 검증하였다. 먼저 구현된 방법론의 적용을 위해 연구 사례 지역을 선정하고 필요 자료를 획득·구축한다. 그리고 제시 LoD 모델을 적용하여 그 결과를 성능과 질의 처리, 위치 정확도 측면에서 분석한다. 최종적으로 제시된 모델의 효율성과 타당성 분석 작업이 이루어진다. 제안된 다중 표현 네트워크 구축을 위한 공간 데이터베이스를 구축하기 위해 제주도를 선정하였다. 연구 지역은 제주시, 서귀포시 등 도로망이 밀집한 지역과 희소적인 지역이 고르게 반영되어 있는 공간적 특성을 가진다. 즉, 제주시의 19개의 모든 행정구역을 다 포함하는 비교적 넓은 지역에서 다양한 개체 타입과 레코드 수에 따른 성능을 비교하기 위해 선정하였다.

4.1. DB 저장 구조와 공간질의 설계

가변-축척 네트워크를 위한 물리적 구현 스키마로서 오라클 스페셜(Oracle 11g)을 적용하였다. 오라클 스페셜은 오라클에서 공간 데이터를 효율적으로 저장, 접근, 분석할 수 있도록 제공되는 함수와 프로시저의 집합으로 기하정보를 표현하기 위한 객체-관계형 모델을 지원하며, 오라클의 공간 원시 요소 표현은 오라클 스페셜의 MDSYS.SDO_GEOMETRY를 이용하고 각 기하학의 하나의 행으로서 표현된다. 그러므로 오라클은 많은 전통적인 데이터 형(문자열을 위해 VARCHAR2, 날짜를 위해 DATE, 숫자들을 위해 NUMBER 형 포함)을 포함하여 공간적 특성의 좌표들을 저장하기 위한 SDO_GEOMETRY 형을 지원한다. 이를 이용하여 상위 계층 도로망 LoD를 위한 MultiLoD 스키마를 정의

하면 아래 표와 같으며, MultiLoD 테이블에서 행의 삽입은 SQL의 insert문을 이용하여 삽입을 할 수 있다. 테이블은 하위 LoD 네트워크와의 관계를 대응하기 위한 속성 데이터와 MDSYS.SDO_GEOMETRY 타입의 하나의 공간 속성 등으로 구성된다. 아래 Table 1은 (1,2), (2,2), (2,1)의 좌표로 이루어진 라인 스트링을 입력하는 경우를 나타낸다. SDO_GEOMETRY의 첫 번째 변수 2는 라인 스트링을 가리키는 요소 타입을 말하며, 세 번째 변수는 null값임을 나타낸다. 네 번째 변수 MDSYS.SDO_ELEM_INFO_ARRAY (1, 2, 1)는 버텍스를 연결한 라인 스트링의 타입을 지정한다. 2은 선형 개체를 말하고, 1는 직선의 형태임을 자세히 설명한다. 마지막 변수 MDSYS.SDO_ORDINATE_ARRAY 는 좌표 값을 나타낸다.

구현된 스키마를 이용하여 개체간의 다중 표현, 상호 연관성 정의와 계층적 특성을 지원하는 공간 데이터 분석을 지원하기 위해 오라클 공간 연산자를 이용하여 공간 질의를 설계하였다. 아래에 설계된 두 개의 질의는 하나 또는 그 이상의 차원을 위한 영역이 주어지는 경우 해당 범위 안에 검색된 부분 또는 전체 형상의 집합을 표현하기 위한 것이다. 첫 번째 질의 Q1은 SDO_

Table 1. Design of Database Scheme

```

CREATE TABLE MULTILOD (
  GroupID NUMBER,
  STARTID NUMBER,
  ENDID NUMBER,
  Lev VARCHAR2(1),
  GEOM MDSYS.SDO_GEOMETRY);

CREATE TABLE BASENET (
  LINKID NUMBER,
  ....
  Lev VARCHAR2(1),
  GEOM MDSYS.SDO_GEOMETRY);

INSERT INTO MULTILOD VALUES (
1, -- GroupID
1, -- STARTID
20, -- ENDID
4, -- Lev
SDO_GEOMETRY
(
  2002, -- (1) SDO_GTYPE
  2097, -- (2) SDO_SRID
  NULL, -- (3) SDO_POINT_TYPE is null
  SDO_ELEM_INFO_ARRAY -- (4) SDO_ELEM_INFO
attribute
(
  1, -- Offset
  2, -- Element-type
  1 -- Interpretation
),
  SDO_ORDINATE_ARRAY --(5)
SDO_ORDINATES attribute
(
  1,1, -- Xa, Ya values
  2,2, -- Xb, Yb values
  2,1 -- Xc, Yc values
)
);
    
```

Table 2. Location-based Spatial Query

```

Point-based spatial query (Q1)
SELECT GROUPID, geom
FROM MULTILOD
WHERE SDO_WITHIN_DISTANCE ( MULTILOD.GEOM,
SDO_GEOMETRY(2001,2097,SDO_POINT_TYPE(Px,Py,NULL)
,NULL,NULL), 'DISTANCE = A ') = 'TRUE' AND LEV >= B

Winodw-based spatial query (Q2)
SELECT GROUPID, geom
FROM MULTILOD
WHERE SDO_RELATE (MULTILOD.GEOM,
SDO_GEOMETRY(2003,2097,NULL,sdo_elem_info_array(1,100
3,3),SDO_ORDINATE_ARRAY(PX1, PY1, PX2,PY2)),
'MASK=ANYINTERACT') = 'TRUE' AND LEV>=B
    
```

WITHIN_DISTANCE 공간 연산자를 이용하여 사용자로 하여금 주어진 포인트 형상(Px, Py)에서 A 반경(m)에 포함된 개체의 정보를 반환할 수 있도록 설계한 것이다. 계층별 도로 데이터를 디스플레이하기 위해 조건절에 해당 레벨에 대한 정보가 포함되어 질의 결과에서 필터링 되도록 하였다. 두 번째 질의 Q2는 SDO_RELATE 공간 연산자를 이용하여 사각 윈도우 영역의 좌하단과 우상단을 정의하는 두 지점의 형상(PX1, PY1, PX2, PY2)안에 교차하는 개체의 정보를 반환할 수 있도록 설계 하였다. 계층별 도로 데이터를 디스플레이 하기 위해 조건절에 해당 레벨에 대한 정보가 포함될 수 있다. 설계된 포인트 및 윈도우 기반 공간 검색 질의 내용은 Table 2와 같다.

4.2 모델 평가 결과 분석

Fig. 5는 본 연구에서 제시한 가변-축척 네트워크 데이터 모델을 이용하여 구현한 프로토타입 시스템이다. 분할되어 있는 링크를 하나의 객체로 만들어주면서 일반화를 동시에 적용하였으므로 레벨별 도로를 디스플레이 할 경우 복잡한 도로를 간단하게 보여줄 뿐 아니라 많은 객체를 질의하지 않고 몇 개의 객체만을 질의하기 때문에 질의 처리 시간에 효과적인 방법이다. 이러한 가변-축척 네트워크의 다중 LoD 생성과 네트워크 계층 모델에 대한 효율성 검증을 위해 질의 영역 확대에 따른 레벨 변화에 대한 네트워크 질의 성능 평가를 실시하였다.

이를 위해 제시된 가변-축척 다중 LoD과 기존 노드-링크 체계를 적용한 일반 모델과의 실행 성능에서 어떠한 차이를 보이는지 비교 분석하였다. 즉, 성능평가 실험은 다중 LoD 링크와 일반 링크를 사용하여 영역질의에 대한 질의처리 응답시간에 대한 측정 비교로 이루어

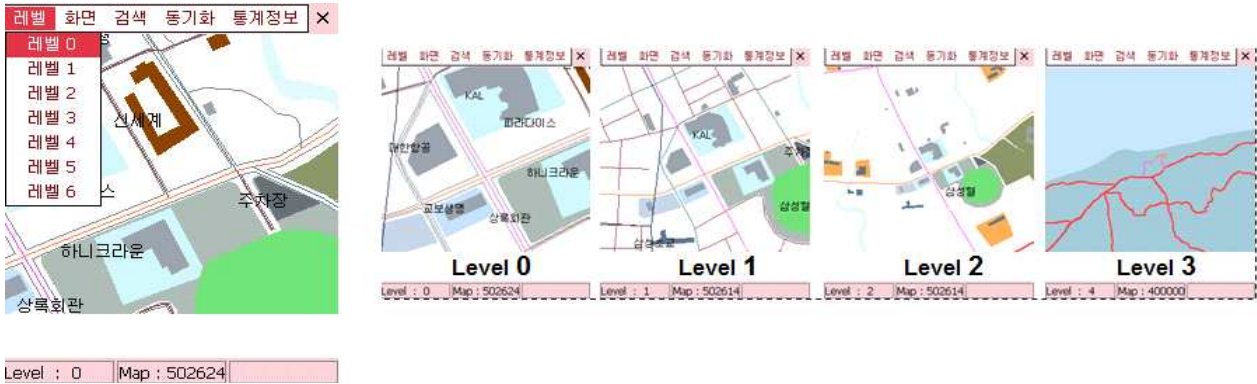


Figure 5. Visualization of Variable-Scale road maps according to Level

졌다. 연산 평가를 위한 공간질의는 3 레벨 이상의 데이터에 대해 수행되었으며, 연산의 수행시간은 밀리세컨드(1/1000초) 단위로 측정하였다. 이 실험에서 주어진 위치와 각 레벨에 따른 그리드 영역(공간 인덱스) 조건은 두 모델에 동일하게 처리되었다.

공간질의는 Table 2에서 제시된 포인트 기반의 영역 검색(Q1)을 이용하여 MultoLoD 테이블과 BaseNet 테이블에 각각에 대해 영역을 3km, 5km, 10km, 20km 등으로 확장 시키면서 반환되는 레코드 수와 이에 따른 질의 처리 수행시간을 측정하였다. 원본 네트워크 데이터는 질의 영역이 증가 될수록 다수의 링크의 검색과 반환으로 질의 처리시간과 레코드 개수가 현저히 증가되었다. 반면, 질의 영역이 3km, 5km, 10km, 20km로 증가할수록 다중 표현 네트워크의 경우 평균 수행 시간이 원본 네트워크에 비해 각각 1.21, 1.73, 2.68, 4.41배 감소되었다(Table 3).

Fig. 6(a)와 6(b)는 질의 번호에 대한 결과 개체수와 수행 시간을 나타낸다. 반경 20km에서의 원본 네트워크는 86,964개의 레코드를 반환하고 평균 실행시간이 120ms인 반면, 가변-축척 기반 네트워크는 44,730개의 레코드를 반환하고 평균 실행시간이 27ms로 나타나고

Table 3. The result of range query (Q1) (measurement unit : ms)

	BaseNet Table			
	3km	5km	10km	20km
Total Records	3916	9708	30230	86964
Average Execution Time	24.333	34.667	53.667	120.667
	MultiLod Table			
	3km	5km	10km	20km
Total Records	1494	4388	14942	44730
Average Execution Time	20	20	20	27.333

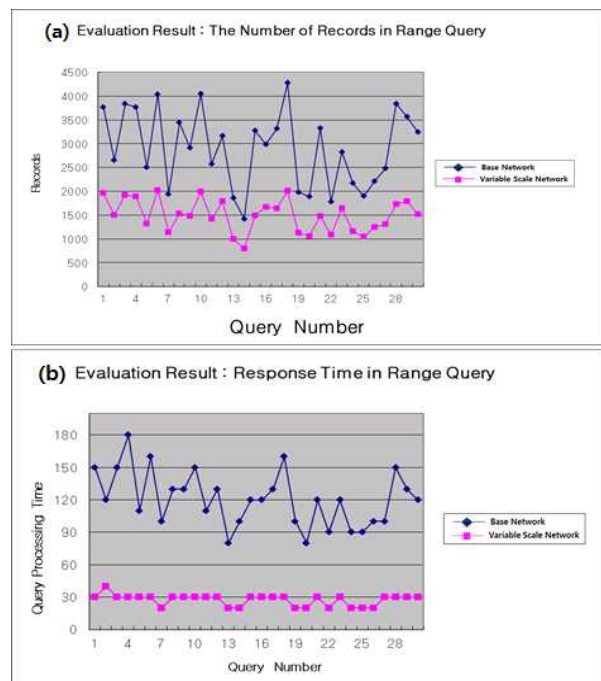


Figure 6. (a)The number of retrieved objects (b) Query processing time on range queries (20km)

있다. 이는 원본 네트워크의 병합 결과로 생성된 가변-축척 네트워크의 개수가 상위 레벨에서 1.94배가량 줄어들었음을 알 수 있다.

5. 결론

가변-축척은 기준 맵 상에서 인덱스 구조를 생성하여 응용 또는 사용자가 필요로 하는 적합한 축척의 지도를 추출하여 원하는 즉시 지도를 구축 할 수 있는 모델이다. 벡터 도메인에서의 네트워크 데이터의 다중 LoD의 생성은 특정 축척에서 질의를 만족시키는 적합한 표

현을 유도하는데 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 상세 레벨의 대규모 도로망 데이터를 대상으로 다양한 축척과 추상화 수준을 가진 상위 레벨의 소축척의 도로 선형 사상을 유도하는 가변-축척 기반 네트워크 데이터 생성 방안을 제시하였다. 우선, 도로 네트워크 선형 사상을 대상으로 하는 효율적인 가변-축척 모델을 구현하기 위해 기존 네트워크 LoD 모델의 한계와 문제 유형을 정의하고, 다양한 상세 수준의 데이터를 다루기 위한 다중 표현의 관련한 개념과 필요성을 고찰하였다. 또한 레벨 별 네트워크 생성을 위한 가변-축척 LoD 모델을 설계-구현하였으며, 구현된 스키마, 공간 질의에 대한 성능 분석을 주요 내용으로 하였다. 프로토타입 시스템을 구현을 위한 물리적 구현 스키마로서 오라클 스페셜(Oracle Spatial 11g)을 적용하였으며 다중 LoD를 위한 공간 데이터 스키마 구조, 공간 질의 등을 설계하고 구현하였다. 마지막으로 다중 LoD 링크 생성 규칙과 네트워크 계층 모델에 대한 효율성 검증을 위해 실험을 실시하였다. 구현된 가변-축척 모델에 기반한 네트워크 데이터에 대해 질의 처리와 모델의 활용 가능성 측면에서 분석하고, 최종적으로 제시된 모델의 효율성과 타당성 분석 작업을 수행하였다. 본 연구에서 가변-축척 네트워크 데이터 모델은 적합한 축척의 지도를 추출하기 위한 인덱스 구조를 생성시켜, 기하학적 형태 변화와 공간적 패턴의 변화에 따른 선형 사상의 다중 표현, 일반화된 개체 표현의 단순성을 지원하고, 위상적 일관성 유지를 위한 LoD 표현 사이의 대응이 가능하게 되었다.

실험결과, 간소화된 개체와 이를 통한 반환 개체수의 감소로 질의 성능 측면에서 모두 기존 모델에 비해 수행시간이 단축되어 검색과 디스플레이에 효율적이고 우수한 성능을 나타내었다. 성능 평가 결과에서 나타난 바와 같이 상위 레벨에서 가변-축척 LoD 모델을 적용할 경우 질의 처리 시간이 안정적으로 유지될 뿐 아니라 적은 처리 시간을 통하여 질의를 수행하는 것을 확인할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2012학년도 인하공업전문대학 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

1. Bertolotto, M. and Egenhofer M., 1999, Progressive vector transmission, 7th ACM Symposium on Advances in Geographic Information Systems, Kansas City, ACM Press, pp. 152-157.
2. Bobzien, M., Burghardt, D., Petzold, I., Neun, M. and Weibel, R., 2006, Multi-representation databases with explicitly modelled intra-resolution, inter-resolution and update Relations. In Proceedings Auto-Carto 2006, Vancouver.
3. Cecconi, A. and Galanda, M., 2002, Adaptive Zooming in Web Cartography. In Computer Graphics Forum, Vol. 21, pp. 787-799.
4. Dogru, A. and Ulugtekin, N., 2004. Junction modeling in vehicle navigation maps and multiple representations, Proceedings of the Congress of ISPRS, Vol. 35, Part B4, pp. 244-248.
5. Ellsiepen, M., 2007, Partial regeneration and its requirements on data structure and generalization functions. In Kremers, H., editor, Proceedings 2nd ISGI 2007: International CODATA symposium on Generalization of Information, Lecture Notes in Information Sciences, pp. 72-84.
6. Follin, J.M., Bouju, A., Bertrand, F. and Boursier P., 2005, Multi-resolution extension for transmission of geodata in a mobile context", Computers & Geosciences, Vol. 31, pp. 179-188.
7. Han Qiang and M. Bertolotto, 2004, A multi-level data structure for vector maps, GIS 2004, pp. 214-221.
8. Joo, Y., 2009, Multiple representation database model for hierarchical consistency of topology on the road networks, Ph.D. Dissertation, Department of Geoinformatic Engineering, Inha University.
9. Joo, Y. and Hahm, C., 2011, Design of multi-variable scale model for dynamic network visualization, Proc. of 2011 Spring Conference on the Korean Society for Geospatial Information System. pp. 137-138.
10. Joo, Y. and Park, S., 2010, A multi-resolution database model for management of vector geodata in vehicle dynamic route guidance system, Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, Vol. 18, No. 4, pp. 101-107.
11. Stoter, J., Morales, J., Lemmens, R., Meijers, M., Van Oosterom, P., Quak, W., Uitermark, H., and van den Brink, L., 2008, A data model for multi-scale topographical data. In Headway in Spatial Data Handling 13th International Symposium on Spatial Data Handling, pp. 233-254.