이종의 도로망 데이터 셋에서 면 객체 매칭 기반 변화탐지 Automatic Change Detection Based on Areal Feature Matching in Different Network Data-sets

김지영¹⁾ · 허용²⁾ · 유기윤³⁾ · 김정옥⁴⁾

Kim, Jiyoung · Huh, Yong · Yu, Kiyun · Kim, Jung Ok

Abstract

By a development of car navigation systems and mobile or positioning technology, it increases interest in location based services, especially pedestrian navigation systems. Updating of digital maps is important because digital maps are mass data and required to short updating cycle. In this paper, we proposed change detection for different network data-sets based on areal feature matching. Prior to change detection, we defined type of updating between different network data-sets. Next, we transformed road lines into areal features(block) that are surrounded by them and calculated a shape similarity between blocks in different data-sets. Blocks that a shape similarity is more than 0.6 are selected candidate block pairs. Secondly, we detected changed-block pairs by bipartite graph clustering or properties of a concave polygon according to types of updating, and calculated Fréchet distance between segments within the block or forming it. At this time, road segments of KAIS map that Fréchet distance is more than 50 are extracted as updating road features. As a result of accuracy evaluation, a value of detection rate appears high at 0.965. We could thus identify that a proposed method is able to apply to change detection between different network data-sets.

Keywords : Updating, Road Network, Areal Feature Matching, Bipartite Graph Clustering, Fréchet Distance

초 록

차량용 내비게이션의 빠른 확산과 스마트폰 등 개인 단말기의 측위 기술 발달로 사용자 중심위치기반서비스, 특히 보행자 내비게이션 서비스에 대한 관심이 증대되고 있다. 보행자 내비게이션 서비스를 위한 핵심정보인 수치지도는 대용량이고 짧은 갱신주기를 요구하는 경우가 많아 수치지도의 효율적인 갱신이 중요한 이슈가 된다. 본 연구에서는 구축시기가 상이한 이종의 도로망 데이터 셋에 형상유사도 기반 면 객체 매칭을 적용하여 변화 탐지하는 기법을 제안하였다. 변화탐지에 앞서 이종의 도로망 데이터 셋의 면 객체 매칭에서 탐지될 수 있는 갱신 유형을 정의하였다. 면 객체 매칭 기반 변화 탐지를 위하여 이종의 두 도로망 데이터 셋의 선형인 도로객체를 이들로 둘러싸인 면인 블록으로 변환하였다. 변환된 블록을 중첩하여 중첩된 블록 간의 형상유사도를 계산하고, 이 값이 0.6 이상인 것을 후보 블록 쌍으로 추출하였다. 객체 유형별로 이분 그래프 군집화와 오목다각형 특성을 적용하여 정의된 갱신 유형별 블록 쌍을 탐지하고, 해당 블록 쌍을 구성하거나 내부에 있는 도로 세그먼트 간의 프레셰 거리를 계산하였다. 이때, 프레셰 거리가 50 이상인 도로명주소기본도 도로구간의 도로객체가 갱신 도로객체로 추출된다. 그 결과 0.965의 높은 탐색율을 보여 제안된 기법이 이종의 도로망 데이터 셋의 선형 객체의 변화탐지에 적용될 수 있음을 확인할 수 있었다.

핵심어 : 갱신, 도로망, 면 객체 매칭, 이분 그래프 군집화, 프레셰 거리

1) Member · Dept. of Civil & Environmental Engineering, Seoul National University (E-mail: soodaq@snu.ac.kr)

2) Member · Integrated Research Institute of Construction and Environmental Engineering, Seoul National University (E-mail: huh Yong@gmail.com)

3) Member · Dept. of Civil & Environmental Engineering, Seoul National University (E-mail: kiyun@snu.ac.kr)

4) Corresponding Author · Member · Spatial Information Research Institute (E-mail: jungok@lx.or.kr)

1. 서론

차량용 내비게이션의 빠른 확산과 GPS가 탑재된 스마트폰 등 개인 단말기의 측위 기술발달로 사용자 중심 위치기반서비스, 특히 보행자 내비게이션 서비스에 대한 관심이 증대되고 있다. 그러나 이들 보행자 내비게이션 서비스는 아직까지 보행자가 이동할 수 있는 공간인 보행공간이 반영되지 않은 도로망을 이용하거나 보행자 도로망을 이용하더라도 일부 지역만을 대상으로 제한적으로 제공되고 있는 실적이다. 도화사와 같은 전문가가 현장조사 등으로 취득된 공간정보에서 디지털 이징하는 일반적인 수치지도(digital map) 구축 방법으로 보행자 도로망을 구축한다면 정확한 공간정보를 생성할 수 있으나 넓은 지역을 대상으로 할 경우 시간과 비용이 많이 소요되는 노동집약적 사업이라는 한계가 있다. 이에 최근에는 그 활용성이 증대되는 보행자 도로망을 국가기본도나 항공사진 등의 기 구축된 공간정보를 이용하여 구축하는 연구가 꾸준히 진행되고 있다(Elias, 2007; Karimi and Kasemsuppakorn, 2012; Kasemsuppakorn and Karimi, 2013; Kim *et al.*, 2009; Pun-Cheng *et al.*, 2007). 그러나 보행자 도로망과 같은 수치지도는 대용량인 경우가 대부분이며, 또한 짧은 갱신주기를 요구하는 경우가 많아 효율적인 갱신이 중요한 이슈가 된다.

대용량의 도로관련 수치지도의 효율적인 갱신을 위하여 최신의 항공사진이나 위성영상에서 도로망을 추출하여 변화를 탐지하거나 구축시기가 상이한 이종의 공간정보를 이용하여 변화를 탐지하고 갱신하는 연구가 꾸준히 진행되고 있다(Agouris *et al.*, 2001a; Agouris *et al.*, 2001b; Beyen *et al.*, 2012; Eidenbenz *et al.*, 2000; Fortier *et al.*, 2001; Yang *et al.*, 2000; Zhang and Baltsavias, 2002; Zhang and Couloigner, 2005). 특히 벡터 자료구조의 수치지도 간 변화탐지를 위한 연구에서는 이종의 공간정보간의 매칭 기법을 기반으로 두 지도간의 모든 객체를 비교하여 변화를 탐지하는 방법이 적용되고 있다(Badard, 1999; Gabay and Doytsher, 1994; Goesseln and Sester, 2003; Uitermark *et al.*, 1999; Saalfeld, 1988; Sui *et al.*, 2004; Walter and Fritsch, 1999; Xiong and Sperling, 2004; Zhang *et al.*, 2010). 그러나 도로망을 구성하는 세그먼트, 즉 선형인 도로객체는 고속도로 주변의 복잡한 구조물이나 차선 방향 표현 방식 등 두 공간정보 간의 세밀도(Level of details, LODs) 차이로 동일한 객체의 묘화나 위상(topology)이 상이하여 두 도로 세그먼트 간의 유사도를 산출하여 매칭하는데 어려움이 있다(Zhang *et al.*, 2010).

따라서 본 연구에서는 구축시기가 상이한 도로관련 수치지도를 갱신하기 위하여 이종의 도로망 데이터 셋에서 변화

를 탐지하는 기술을 제안하고자 한다. 이를 위하여 도형과 위상정보가 상이한 선형 객체로 이루어진 도로망을 선인 도로 세그먼트로 둘러싸인 블록, 즉 면으로 변형하여 갱신 도로객체를 탐지하는 기법을 개발한다. 최근에 그 필요성이 높아진 보행자 도로망과 매월 갱신되는 도로명주소기본도의 도로구간을 대상으로 한다.

2. 이종의 도로망 데이터 셋에서의 갱신

본 연구에서는 Kim *et al.*(2009)이 제안한 기 구축된 공간정보에서 보행자 도로망을 생성하는 방법을 적용하여 기 구축된 공간정보로부터 보행자 도로망을 생성하였다. 이때, 생성된 보행자 도로망은 도로의 폭이 12m 이상이고 횡단보도나 육교와 같은 도로횡단시설물이 존재하는 도로에서는 도로 양안의 보도에 링크가 생성되고, 그 외의 보행자가 이동할 수 있는 공간은 그 중심에 링크가 구축된다. 이를 갱신하기 위하여 이용될 도로명주소기본도는 도로를 기준으로 건물의 주소가 부여되어 보행자가 이동할 수 있는 도로가 구축·관리되고, 매달 갱신된 데이터가 국가공간정보유통시스템(www.nsic.go.kr)에서 무료로 배포되고 있어 취득이 용이하다는 장점이 있다.

보행자 도로망 링크와 도로명주소기본도 도로구간(TL_SPRD_MANAGE)의 객체가 선으로 묘화되어 있으며, 이들 선 객체로 둘러싸인 면, 즉 블록을 생성하여 갱신 도로객체를 탐지하게 되므로 이종의 도로망 데이터 셋에서의 갱신을 정의함에 있어 선 객체에서 변형된 블록을 기준으로 한다.

대상 도로망 데이터 셋에서 생성된 블록 객체를 중첩하면 각 블록별로 중첩되는 블록의 수가 상이하며, 이들 중첩되는 블록간의 관계를 분석함으로써 변화가 발생한 블록을 탐지할 수 있다. 따라서 이종의 도로망의 블록 간 매칭 관계를 바탕으로 이종의 도로망에서 도로신설로 인한 갱신을 Table 1과 같이 정의할 수 있다. 이때, 현장조사가 진행되지 않고 기 구축된 공간정보만을 이용하여 도로망을 갱신하기 위해서는 보행자 도로망과 도로명주소기본도 도로구간의 LODs 차이로 발생한 변화까지 탐지하는데 한계가 있으므로 구축된 보행자 도로망 링크가 참이라고 가정한다. 보행자 도로망 링크에서 생성된 블록(링크블록)과 도로명주소기본도 도로구간에서 생성된 블록(도로구간블록)을 서로 중첩하였을 때 각 블록간의 매칭 관계가 1:0이나 M:1인 경우는 갱신이 아니라 LODs차이로 나타난다고 판단할 수 있다. 다시 말하면 보행자 도로망 링크의 LODs가 도로명주소 기본도 도로구간보다 높아 링크블록은 있는데 도로구간블록이 없거나 또는 링크블록 여러 개가 하나의 도로구간블록과 중첩될 수 있다. 그 외 1:1, 1:N, 그리고 M:N 매칭 관계인

경우는 도로가 신설됨으로써 발생한 변화로 판단하고, 갱신 대상으로 정의하였다. 1:1 매칭 관계는 링크 블록(A1, Fig. 1(a))과 매칭되는 도로구간 블록(B1) 내부에 신설 도로가 존재하는 경우(Fig. 1(b))는 갱신(갱신I)으로 정의될 수 있으나 도로가 신설되지 않은 경우도 있을 수 있으므로 이를 구분할 필요가 있다. 1:N과 M:N 매칭 관계는 도로구간 블록이 여러 개인 경우로 이는 신설된 도로로 여러 개의 도로구간 블록이 구성되는 경우(갱신II)이다. Fig. 1(c)와 같이 링크 블록(A1, Fig. 1(a))이 신설 도로로 구성된 도로구간 블록 B11과 B12에 매칭된다.

Table 1. Definition of update by cardinality of matching

Cardinality of matching		Update	Details
Link block in Pedestrian network	Street block in KAIS map		
1	0	×	Different LODs between two data-sets
1	1	○	Constructing new roads or not
1	N	○	Constructing new roads
M	1	×	Different LODs between two data-sets
M	N	○	Constructing new roads

Fig. 1. Examples of update type in this paper

Fig. 2. Work flow of this paper

따라서 본 연구에서는 도로가 신설되어 변화가 발생한 갱신을 기존의 도로구간 블록 내부에 도로가 신설되는 경우(갱신I)와 도로가 신설되어 도로구간 블록이 여러 개로 분리된 경우(갱신II)로 구분하고, 갱신I은 링크 블록과 도로구간 블록간의 매칭 관계가 1:1인 경우, 갱신II는 1:N이나 M:N 매칭 관계로 정의할 수 있다. 정의된 갱신에 해당하는 도로구간 블록이 판별되면 이후 탐지된 도로구간 블록에서 갱신 유형별로 신설된 도로를 탐지하게 된다.

3. 이종의 도로 데이터 셋에서 면 객체 기반 갱신 도로객체 탐지 기법

본 연구에서는 이종의 도로망 데이터 셋에서 면 객체기반 갱신 도로객체를 탐지하기 위한 연구 흐름은 Fig. 2와 같다. 먼저 보행자 도로망 링크와 도로명주소기본도의 도로구간을 이용하여 선 객체로 둘러싸인 면 객체인 블록을 생성하고, 생성된 블록을 중첩하여 중첩되는 블록 간의 형상유사도를 측정하여 후보 갱신블록 쌍을 추출한다. 이때, 후보 갱신블록 쌍을 인접행렬 기반의 이분 그래프 군집화를 통하여 1:1 매칭 관계인 블록 쌍은 갱신I에 해당하는 경우로, 그 외에는 갱신II에 해당하는 경우로 본 연구에서 정의하는 갱신이 발생한 블록 쌍으로 판별한다. 마지막으로 이들 블록 쌍과 원시 도로망 데이터와의 중첩을 통하여 추출된 도로객체를 대상으로 프레셰 거리(Fréchet distance)를 산출하여 일정값 이상인 객체를 갱신 도로객체로 최종 추출한다.

3.1 면 객체 기반 매칭을 통한 후보 갱신블록 쌍 판별

링크 블록과 도로구간 블록을 중첩하여 링크 블록과 중첩되는 도로구간 블록에 대하여 Kim *et al.* (2011)이 제안한 형상유사도를 이용한 면 객체 기반 매칭 알고리즘을 적용하여 형상유사도가 0.6 이상인 후보 갱신블록 쌍을 판별한다. 이때, 본 연구에서는 동일한 방향성을 보이는 도로 선형으로 둘러싸인 블록에서 매칭인 객체를 판별하므로 선행연구에서 사용된 매칭 기준을 본 연구에서 생성된 블록(면) 간의 중첩이

나 포함 관계를 설명할 수 있는 매칭 기준으로 재구성하였으며, 두 블록 간의 형상이 유사하거나 그렇지 않다는 판단하는 형상유사도도 블록 간 형상의 유사한 정도가 판별될 수 있도록 실험을 통하여 0.6으로 재설정하였다. 형상유사도 도출과 관련된 자세한 내용은 Kim *et al.* (2011)의 논문을 참고한다.

- 위치 기준(Position Criterion, PC)

링크 블록(A_m)과 도로구간 블록(B_n)의 무게중심 사이의 유클리드 거리를 의미하며, 그 거리가 짧을수록 두 자료간의 공간적 위치 일치가 높다(Eq. 1).

$$PC_{(A,B)_i} = |Distance(Centroid(A_m^i), Centroid(B_n^i))| \quad (1)$$

- 형상 기준 (Shape Criterion, SC)

둘레와 면적 비로 산출되는 형상 지수(Shape index)로 면 객체의 형상을 판별할 수 있음. 형상 지수는 0과 1사이의 값을 가지며 1에 가까울수록 해당 면 객체는 더 콤팩트 형상(compact shape)을 의미한다(Eq. 2).

$$SC_{(A,B)_i} = \left| \frac{\sqrt{Area(A_m^i)}}{0.282 \times Perimeter(A_m^i)} - \frac{\sqrt{Area(B_n^i)}}{0.282 \times Perimeter(B_n^i)} \right| \quad (2)$$

- 면적 기준(Area Criterion, AC)

면 객체간의 중첩 및 포함 관계를 설명할 수 있는 지수로,

그 값이 클수록 두 자료간의 공간적 위치 일치가 높다(Eq. 3).

$$AC_{(A,B)_i} = \frac{Area(A_m^i \cap B_n^i)}{Min(Area(A_m^i), Area(B_n^i))} \quad (3)$$

3.2 갱신 유형별 변화탐지

3.2.1 이분 그래프 군집화를 통한 블록 탐지

형상유사도($SS_{(A_m^i, B_n^j)}$)가 0.6 이상인 후보 갱신블록 쌍에서 1:1 매칭 관계인 블록 쌍은 갱신I 변화가 발생한 블록 쌍, 1:N이나 M:N 매칭 관계인 블록 쌍은 갱신II 변화가 발생한 블록 쌍으로 판별된다. 후보 갱신블록 쌍에서 Huh *et al.* (2011)이 제안한 인접행렬 기반 이분 그래프 군집화를 적용하여 갱신 유형별 블록 쌍을 판별할 수 있다.

링크 블록(A_m)과 도로구간 블록(B_n)의 후보 갱신블록 쌍(A_m^i, B_n^j)의 인접행렬($C(i,j)$)은 각 후보 갱신블록 쌍에 해당하는 링크 블록(A_m^i)의 개수(m)와 도로구간 블록(B_n^j)의 개수(n)인 $m \times n$ 행렬 C 로 나타나며, Eq. (4)와 같이 표현될 수 있다.

$$C(i,j) = \begin{cases} 1 & \text{if } SS_{(A_m^i, B_n^j)} \geq 0.6 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

인접행렬을 이용하여 군집화를 수행하기 위해서 Eq. (5)와 같은 자신 노드와의 인접(self-adjacency)을 포함하는 행렬 C' 을 생성하고, 행렬 C' 에서 값이 0인 원소가 변하지 않

(a) Candidate blocks of data-set A

(b) Candidate blocks of data-set B

(c) Bipartite graph

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
A1	1						
A2		1					
A3			1	1			
A4				1			
A5					1	1	
A6						1	1

(d) Adjacent matrix C

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
A1	1						1						
A2		1						1					
A3			1						1	1			
A4				1						1			
A5					1						1	1	
A6						1						1	1
B1	1						1						
B2		1	1					1					
B3			1	1					1				
B4				1						1			
B5					1	1					1		
B6						1						1	
B7							1						1

(e) Matrix C'

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
A1	1						1						
A2		1	1	1				1	1				
A3			1	1	1				1	1			
A4				1	1	1				1	1		
A5					1	1					1	1	1
A6						1	1					1	1
B1	1						1						
B2		1	1	1				1	1				
B3			1	1	1				1	1			
B4				1	1					1	1	1	1
B5					1	1					1	1	1
B6						1	1					1	1
B7							1	1					1

(f) After 4 times multiplication of matrix C'

Fig. 3. Matrix manipulation for detection of update block pairs (Reconstruct the inserted figure in Huh *et al.*(2011))

을 때까지 거듭제곱을 수행한다. 이때 계산을 위한 0이 아닌 값은 모두 1로 대체한다. 대각성분이 0이 아닌 원소 중에서 군집을 이루는 후보 갱신블록 쌍이 갱신Ⅱ 변화가 발생한 블록 쌍으로 판별되고, 그 외 1:1 매칭관계인 후보 갱신블록 쌍이 갱신Ⅰ 변화가 발생한 블록 쌍으로 판별된다.

$$C' = \begin{bmatrix} I_{m \times m} & C \\ C^T & I_{n \times n} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Fig. 3과 같이 이중의 도로 데이터 셋에서 형상유사도가 0.6 이상인 후보 갱신블록 쌍 A와 B(Fig. 3(a) and (b))를 이분 그래프로 Fig. 3(c)와 같이 표현할 수 있다. 이분 그래프를 군집화하기 위해서는 Fig. 3(d)와 같이 인접행렬 C 로 나타내고 이를 다시 행렬 C' (Fig. 3(e))으로 변환한다. 행렬 C' 의 값이 0인 원소가 변하지 않는 4회 거듭제곱 수행한 후 대각성분이 0이 아닌 원소 중 군집을 이루는 후보 갱신블록 쌍이 갱신Ⅱ 변화블록 쌍(Fig. 3(f), 실선)으로 탐지된다. 이외의 후보 갱신블록 쌍이 갱신Ⅰ 변화블록 쌍에 해당한다.

3.2.2 오목다각형 특성을 이용한 갱신Ⅰ 변화블록 쌍 탐지

이분 그래프 군집화를 통하여 탐지된 갱신Ⅰ 변화블록 쌍은 모두 갱신 도로객체가 존재하는 것은 아니다. 즉 이분 그래프 군집화를 통하여 탐지된 갱신Ⅰ 변화블록 쌍으로 탐지된 블록 중에 도로구간 블록에 도로가 신설된 경우는 갱신이 발생한 객체이지만 링크 블록과 도로구간 블록의 형상이 일치하는 경우는 갱신이 발생한 객체가 아니다. 따라서 갱신Ⅰ 변

화블록 쌍은 도로구간 블록에 도로객체가 신설된 경우만을 재탐색할 필요가 있다.

도로구간 블록에 도로가 신설된 경우에는 도로구간 블록이 오목다각형(concave polygon)으로 구성된다. 오목다각형은 한 번 또는 여러 변을 연장할 때, 그 연장한 선이 그 도형안을 통과하는 다각형으로 하나 이상의 내각이 180° 보다 커야한다. 이런 오목다각형 특성을 이용하여 갱신Ⅰ 변화블록 쌍에 해당하는 링크 블록과 도로구간 블록의 각 꼭짓점에서 그 내각의 크기가 180° 보다 큰 내각의 개수를 비교하여, Fig. 4와 같이 그 개수가 상이한 경우를 최종 갱신Ⅰ 변화블록 쌍을 탐지할 수 있다.

3.3 갱신 도로객체 탐지

갱신Ⅰ 변화블록 쌍에서 최종 갱신 도로객체를 탐지하기 위하여 3.2.2절에서 그 내각의 크기가 180° 보다 큰 꼭짓점에 2m 버퍼를 수행하여 원시 도로망 데이터, 즉 보행자 도로망 링크와 도로명주소기본도 도로구간과 중첩한다. 이때, 꼭짓점에 2m 버퍼로 생성된 폴리곤과 중첩되는 선형 객체가 각 블록 내부에 있는 객체이다. 추출된 보행자 도로망 링크를 기준으로 2m 이내에 있는 추출된 도로구간 객체 간의 프레셰 거리를 산출한다. 곡선 매칭에 널리 사용되는 프레셰 거리는 두 개의 곡선의 프레셰 거리는 어떤 사람이 강아지를 데리고 산보를 하는데 한 사람은 하나의 곡선을 따라 걷고, 강아지는 다른 곡선을 따라 걷는다(단, 서로 반대방향으로 걷는 것이 허용되지 않음)고 가정할 때, 사람과 강아지를 연결하는데 필요한 끈의 최소 길이이다. Alt and Godau(1995)에 의하면 두 곡선 $f: [a, b] \rightarrow V$ ($a, b \in R, a < b$)와 $g: [a', b'] \rightarrow V$ 가 주어질 때, 이들 간의 프레셰 거리는 Eq. (6)과 같이 정의된다.

$$\delta_r(f, g) = \inf_{\substack{\alpha: [0, 1] \rightarrow [a, a'] \\ \beta: [0, 1] \rightarrow [b, b']}} \max_{t \in [0, 1]} \|f(\alpha(t)) - g(\beta(t))\| \quad (6)$$

여기서, α, β 는 $\alpha(0) = a, \alpha(1) = a', \beta(0) = b, \beta(1) = b'$ 인 연속 증가함수이고, $f(\alpha(t))$ 는 곡선 f 의 위치를 시간(t)에 관한 함수로 표현한 것이고, $g(\beta(t))$ 는 곡선 g 의 위치를 의미한다. 두 곡선간의 프레셰 거리가 0이면 두 곡선이 동일하다는 의미이고, 그 값이 클수록 두 곡선은 유사하지 않음을 의미한다. 본 연구에서는 갱신Ⅰ 변화블록 쌍 내부에 있는 선형 간의 프레셰 거리가 실험을 통해 얻어진 임계값 50보다 큰 도로구간 객체가 갱신 도로객체로 탐지하였다. 또한 추출된 도로구간 객체를 기준으로 2m 이내에 추출된 보행자 도로망 객체가

Fig. 4. Principles for detection of Update I block pairs

없는 경우 해당 도로구간 객체도 갱신도로 객체로 추출된다.

갱신Ⅱ 변화 블록 쌍은 신설 도로로 인하여 도로구간 블록이 여러 개의 블록으로 나뉘게 되는 경우이다. 먼저 갱신Ⅱ 변화 블록 쌍 중 링크 블록에 네거티브 버퍼를 수행 후, 원시 도로망 데이터인 도로명주소기본도 도로구간과 중첩하여 교차되는 객체를 추출하고, 다음으로 반대로 갱신Ⅱ 변화 블록 쌍 중 도로구간 블록에 네거티브 버퍼를 수행 후, 원시 데이터인 보행자 도로망 링크와 중첩하여 교차되는 객체를 추출한다. 마지막으로 추출된 보행자 도로망 객체와 2m 이내에 있는 추출된 도로구간 객체간의 프레스 거리를 산출하여 임계값 50 보다 큰 도로구간 객체가 갱신도로 객체로 탐지된다.

4. 적용 및 평가

2006년 촬영되고, 2007년에 갱신된 수치지도2.0 37709081 도엽과 2009년 8월 배포된 도로명주소기본도를 이용하여 Fig. 5(a) 빨간색 실선과 같이 보행자 도로망을 생성하였다. 생성된 보행자 도로망 링크와 2013년 4월 배포된 도로명주소기본도

(a) Test data

(b) Blocks generated in Test data

Fig. 5. Test data in this paper

도로구간을 이용하여 Fig. 5(b)와 같이 328개의 링크 블록과 286개의 도로구간 블록을 생성하고 실험 자료로 사용하였다.

보행자 도로망의 링크 블록과 도로명주소기본도의 도로구간 블록에서 형상유사도 기반 면 객체 매칭 알고리즘을 적용한 결과 Fig. 6과 같이 형상유사도가 0.6 이상인 332개의 후보 갱신블록 쌍이 추출되었다. 이들 후보 갱신블록 쌍에서 이분 그래프 군집화를 통하여 Table 2와 같이 1:1 매칭관계인 후보 블록 쌍이 225개, M:1 매칭관계가 26개, 1:N 매칭관계가 9개, 그리고 M:N 매칭관계가 3개가 판별되었다. 이때, Fig. 7과 같이 1:1 매칭관계인 후보 블록 쌍에 오목다각형 특성을 적용하여 변화탐지를 수행한 결과 91개의 블록 쌍이 갱신Ⅰ 변화 블록 쌍으로 최종 판별되었으며, 1:N과 M:N 매칭관계인 12개의 블록 쌍이 갱신Ⅱ 변화 블록 쌍에 해당한다.

Fig. 6. Candidate block pairs that shape similarity is more than 0.6

Table 2. Update block pairs detected by the proposed method

Cardinality of matching	1:1	M:1	1:N	M:N	Total
No. of pairs	225	26	9	3	263
No. of update pairs	91	-	12		118

Fig. 7. Detected update block pairs

마지막으로, 본 연구에서 정의하는 변화가 탐지된 블록 118 개를 이용하여 각 블록 내부 및 블록을 구성하는 도로 객체를 추출한다. 추출된 보행자 도로망 링크와 도로구간 객체를 이용하여 보행자 도로망 링크 객체에서 2m 버퍼 내에 있는 도로구간 객체와의 프레셰 거리를 산출하여 그 값이 50 이상인 도로구간 객체를 갱신 도로객체로 Fig. 8과 같이 최종 추출되었다.

Fig. 8. Extracted update road features

탐색된 갱신 도로객체의 정확도 평가는 Kim (2011)이 사용한 매칭율을 차용한 탐색율(Detection Rate, DR)로 수행하였다. 탐색율(DR)은 정확히 탐색된 도로객체의 개수(N_{ad})와 갱신 객체로 오 탐색된 도로객체의 개수(N_{md}) 그리고 갱신 도로객체로 탐색되지 못한 객체의 개수(N_{ud})의 합에 대한 정확히 탐색된 갱신 도로객체의 개수(N_{ad})의 비로 계산될 수 있다(Eq. 7).

$$DR = \frac{N_{ad}}{N_{ad} + N_{md} + N_{ud}} \quad (7)$$

본 연구에서 정확도 평가에 사용된 수치는 Table 3과 같이 정확히 탐색된 도로객체가 167개, 갱신 도로객체로 오 탐색된 객체는 없으며, 갱신 객체로 탐색되지 못한 도로객체가 6개로 탐색율이 0.965로 높게 나타났다. 갱신 도로객체로 탐색되지 못한 도로객체는 후보 갱신블록 쌍으로 판별되지 않는 블록에 포함된 도로객체로, 갱신 도로객체 탐지의 정확도에 후보 갱신블록 쌍 판별의 정확도가 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Table 3. Assessment of detected update road features (No. of features)

Accurate detections (N_{ad})	Mis-detections (N_{md})	Non-detections (N_{ud})	Total ($N_{ad} + N_{md} + N_{ud}$)	Detection rate
167	0	6	173	0.965

5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 구축시기가 상이한 이중의 도로망 데이터셋을 이용하여 선형인 도로객체를 면형으로 변형하여 면 객체 기반의 매칭 기법을 적용하여 변화를 탐지하는 기법을 제안하였다. 갱신 도로객체를 탐지하기에 앞서 본 연구에서는 신설된 도로로 인하여 발생할 수 있는 이중의 도로망 데이터셋의 갱신을 블록의 형상은 동일한데 도로구간 블록 내부에 도로가 신설된 경우(갱신I)와 기존의 도로구간 블록이 여러 개로 나뉘는 경우(갱신II)로 구분하였다. 정의된 갱신에 해당하는 도로객체를 탐지하기 위하여 보행자 도로망 링크와 도로명주소기본도 도로구간의 선형 객체를 도로로 둘러싸인 블록인 면형으로 변형하였다. 다음으로 중첩되는 블록에 형상유사도 기반 면 객체 매칭을 수행하여 형상유사도가 0.6 이상인 중첩 블록을 후보 블록 쌍으로 판별하였다. 이들 후보 블록 쌍에 오목다각형 성질을 이용하여 갱신I 변화를 탐지하고, 인접행렬 기반 이분 그래프 군집화를 통하여 갱신II 변화를 탐지하였다. 변화가 탐지된 블록 쌍 내부에 있거나 이들 블록 쌍을 구성하는 세그먼트 간의 프레셰 거리를 산출하여 프레셰 거리가 50 이상인 도로명주소기본도의 도로구간 세그먼트를 갱신 도로객체로 추출하였다. 정확도 평가를 수행한 결과, 탐색율이 0.965로 높게 나타났다.

제안된 기법은 이중의 도로망 데이터 셋에서 후보 블록 쌍을 탐색하고, 탐색된 블록 쌍 내부나 이를 구성하는 도로 세그먼트를 이용하여 갱신 도로객체를 추출하므로 후보 블록 쌍을 탐색하는 과정이 갱신 도로객체 추출에 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 이에 보다 정확한 후보 블록 쌍을 탐색하기 위한 연구가 진행되어야 할 것이다. 아울러 넓은 지역 및 다른 LODs로 구축된 도로망 데이터 셋에 제안된 기법을 적용함으로써 이 기법의 강건함(robustness)을 검토할 필요가 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 서울대학교 건설환경종합연구소의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- Agouris, P., Gyftakis, S. and Stefanidis, A. (2001a), Quality-aware deformable models for change detection. *Proceedings of International Conference on Image Processing (ICIP)*, Thessaloniki, Greece. Vol. 2, pp. 805–808.
- Agouris, P., Gyftakis, S. and Stefanidis, A. (2001b), Differential snakes for change detection in road segments. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 67, No. 12, pp. 1391–1399.
- Alt, H. and Godau, M. (1995), Computing the Fréchet distance between two polygonal curves, *International Journal of Computational Geometry and Applications*, Vol. 5, pp. 75–91.
- Badard, T. (1999), On the automatic retrieval of updates in geographic databases based on geographic data matching tools. *Proceedings of the 19th International Cartographic Conference (ICA'99)*, ICA, 14–21 August, Ottawa, Canada, pp. 47–56.
- Beyen, J., Ziems, M., Mueller, S., Roovers, S. and Heipke, C. (2012), Semi-automatic update and quality control of road databases, *Proceedings of the 4th International Conference on GEographic Object Based Image Analysis (GEOBIA 2012)*, ISPRS, 7-9 May, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 443–448.
- Elias, B. (2007), pedestrian navigation-creating a tailored geodatabase for routing. *Proceedings of 4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC'07)*, IEEE, 22 March, Hannover, Germany, pp. 41–47.
- Eidenbenz, C., Käser, C. and Baltsavias, E. (2000), ATOMI—automate reconstruction of topographic objects from aerial images using vectorized map information. *Proceedings of International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 33, Part. B3/1, pp. 462–471.
- Fortier, M.A., Ziou, D., Armenakis, C. and Wang, S. (2001), Automated correction and updating of road databases from high-resolution imagery, *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 27, No. 1, pp. 76–89.
- Gabay, Y. and Doytsher, Y. (1994), Automatic adjustment of line maps, *Proceedings of GIS/LIS'94 Annual Convention*, Phoenix, Arizona, USA, pp. 333–341.
- Goesseln, G.V. and Sester, M. (2003), Change detection and integration of topographic updates from ATKIS to geoscientific data sets. *Proceedings of International Conference on Next Generation Geospatial Information*, 19–21 October, Boston, USA, pp. 69–80.
- Huh, Y., Yu, K. and Heo, J. (2011), Detecting conjugate-point pairs for map alignment between two polygon datasets, *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 35, No. 3, pp. 250–262.
- Karimi, H.A. and Kasemsuppakorn, P. (2013), A pedestrian network construction algorithm based on multiple GPS traces, *Transportation Research Part C*, Vol. 26, pp. 285–300.
- Kasemsuppakorn, P. and Karimi, H.A. (2012), Pedestrian network map generation approaches and recommendation, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 1, pp. 1–6.
- Kim, J.O. (2011), *A method of feature matching for geospatial datasets using the geographic context*, Ph.D. dissertation, Seoul National University, Korea, 65p. (in Korean with English abstract)
- Kim, J., Park, S., Bang, Y. and Yu, K. (2009), Automatic Derivation of a Pedestrian Network Based on Existing Spatial Data Sets, *Proceedings of San Antonio 2009 ASPRS /MAPPS Fall Conference*, ASPRS, 16–19 November, San Antonio, Texas, USA, unpaginated CD-ROM.
- Kim, J., Huh, Y., Kim, D.S. and Yu, K. (2011), A new method of automatic areal feature matching based on shape similarity using CRITIC method, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 29, No. 2, pp. 113–121. (in Korean with English abstract)
- Pun-Cheng, L.S.C., Tang, M.W.F. and Cheung, I.K.L. (2007), Exact cell decomposition on base map features for optimal path finding, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 21, pp. 175–185.
- Saalfeld, A. (1988), Automated map compilation. *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 2, No.3, pp. 217–228.
- Sui, H., Li, D. and Gong, J. Automatic feature-level change detection (FLCD) for road networks. *Proceedings of International Society For Photogrammetry And Remote*

- Sensing, Geo-Imagery Bridging Continents*, July, Istanbul, Turkey, pp. 459–464.
- Uitermark, H.T., Vogels, A.B.M. and van Oosterom, P.J.M. (1999), Semantic and geometric aspects of integrating road networks, *Proceedings of 2nd International Conference on Interoperating Geographic Information Systems (INTEROP'99)*, Lecture Notes in Computer Science, 10-12 March, Zürich, Switzerland, pp. 177-188.
- Walter, V. and Fritsch, D. (1999), Matching spatial data sets: a statistical approach. *International Journal of Geographic Information Science*, Vol. 13, No. 5, pp.445– 473.
- Xiong, D. and Sperling, J. (2004), Semiautomated matching for network database integration, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 59, pp. 35– 46.
- Yang, I.T., Kim, D.M., Cho, H.M., Im, H.R. and Chun, K.S. (2000), A study on the updating of digital maps based on the completion drawing, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 20, No. 2-D, pp. 241-247. (in Korean with English abstract)
- Zhang, M., Meng, L. and Bobrich, J. (2010), A road-network matching approach guided by 'structure', *Annals of GIS*, Vol. 16, No. 3, pp. 165-176.
- Zhang, C. and Baltsavias, E. (2002), Improving cartographic road databases by image analysis, *Proceedings of International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 34, Part. 3A, Graz, Austria, September 9-13, pp. 400–405.
- Zhang, Q. and Couloigner, I. (2005), Spatial-temporal modeling in road network change detection and updating, *Proceedings of International Symposium on Spatio-temporal Modeling, Spatial Reasoning, Analysis, Data Mining and Data Fusion*, ISPRS, 27-29 August, Beijing, China, <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/2-W25/> (last date accessed: 26 Nov. 2013).

(Received 2013. 11. 27, Revised 2013. 12. 04, Accepted 2013. 12. 13)