영상의 선형 정보를 이용한 GIS 자료의 갱신에 대한 연구
Updating GIS Data using Linear Features of Imagery

손홍규*·최종현**·피문희***·이진화****

*정회원·연세대학교 사회환경시스템공학부 조교수·공학박사·
e-mail: sohn1@yonsei.ac.kr
**정회원·연세대학교 사회환경시스템공학부 토목·환경전공 박사과정·
e-mail: jonghyun@yonsei.ac.kr
***정회원·연세대학교 사회환경시스템공학부 토목·환경전공 석사과정·
e-mail: moonp77@yonsei.ac.kr
****정회원·연세대학교 사회환경시스템공학부 토목·환경전공 석사과정·
e-mail: vudvud@yonsei.ac.kr

요약

도시화 속도의 증가와 더불어 3차원 자료 획득의 출처가 다양해지면서, 도로 및 건물 경계선과 같은 선형 GIS 정보에 대한 신속한 갱신 또한 요구되고 있다. 임의의 출처 자료로부터 대상 자료를 갱신하기 위해서는 가장 먼저 두 자료 간의 위치 관계를 결정하여야 하며, 특히 영상정보와 같은 출처 자료와 GIS 자료와 같은 대상 자료 간의 위치 관계를 결정하기 위하여 기존에 제시되어온 대부분의 방법들은 두 개 자료 간의 관계를 정의할 수 있는 기준점과 같은 정확한 점 정합 요소(point matching entities)를 요구하고 있다. 따라서 정확한 정합 요소들을 획득할 수 없는 경우 영상과 GIS 자료 간의 위치 관계를 결정할 수 없을뿐더러 위치 관계 정립의 결과는 정합 요소들의 분포 및 정확도에 매우 의존하게 된다. 또한 이러한 점 정합 요소들을 정의하기 위해서는 대부분의 경우 수동적으로 이루어질 수밖에 없다.

따라서 본 연구에서는 영상 및 GIS 자료의 선형 정보를 이용하여 정확한 점 정합 요소들을 모르더라도 영상과 GIS 자료 간의 위치 관계를 결정할 수 있는 기법을 제시하고자 한다. 사용된 알고리즘은 개선된 Hough 변환(Modified Hough Transform)을 기반으로 다수의 선형 정보 중에 정합되는 요소들을 자동으로 찾아내고 이들을 최소제곱법으로 풀이함으로써 두 데이터 간의 기하학적 변환 관계를 결정하는 기법이다. 본 연구에서는 이와 같은 접근을 통해 데이터 간의 기하학적 변환 관계를 결정한 후, 영상 상에는 존재하지만 GIS 자료에는 존재하지 않는 선형 정보에 대한 갱신 여부를 확인하고 갱신함으로써 3차원 위치 자료의 자동 생성에 대한 가능성을 제시하고자 한다.

1. 서론

최근 도시화 속도가 증가하면서, 도로 및 건물 경계선과 같은 선형 정보들은 좀 더 복잡하게 변화하고 있으며 육안으로 그 변화를 탐지하기는 더욱 어려워지고 있다. 따라서 과거에 구축된 GIS 자료의 선형 정보들은 영상 자료와 같은 출처 자료를 근거로 하여 비용과 시간을 최소화 할 수 있는 방법으로 갱신되어야 한다.

임의의 출처 자료로부터 대상 자료에 대한 3차원 정보를 갱신하기 위해서는 가장 먼저 두 자료 간의 기하학적 변환 관계를 결정하고 갱신점에 대한 공액점을 찾아야 한다. 한편 영상정보와 GIS 자료 간의 위치 관계를 결정하기 위해 기존에 제시되어온 대부분의 방법들은 두 자료 간에 일치하는 기준점과 같은 정확한 점 정합 요소들을 요구한다. 따라서 정확한 점 정합 요소를 알 수 없는 경우 두 자료 간의 관계를 정의할 수 없으며, 점 정합 요소를 입력하는 경우에는 어떠한 기존 프로그램 상에서도 수동으로 수행될 수밖에 없는 한계가 있었다.

한 편 두 자료 간의 공액점을 찾기 위하여 제시되었던 영역기준(Area based Matching), 형상기준(Feature based matching), 관계기준(Relational matching) 등의 정합 기법들은 모두 두 자료간의 유사성을 이용한다. 영역기준 정합의 경우 유사성을 결정하기 위하여 두 자료의 상관계수를 이용하거나, 두 자료의 기하 차이를 최소화시키는 최소제곱법을 사용하기도 한다. 형상기준 정합의 경우 점이나 선 같은 형상들의 유사성을 이용하여 정합점을 찾게 되며, LoG나 canny 연산자 등이 자주 활용된다. 그러나 이러한 모든 정합 기법들은 정합 과정에 있어 사실상 두 자료 간의 수학적 모델은 고려하지 않으며, 단지 두 자료의 유사성에 근거하여 판단한다.

본 연구에서 제안하는 Modified Hough Transform을 이용한 접근법은 두 자료로부터 선형 정보만 주어진다면 정확한 점 정합 요소들을 알 수 없더라도, 두 자료 간의 수학적 모델을 고려하여 위치 관계를 결정함과 동시에 점 정합 요소들을 찾아낼 수 있는 장점이 있다(Habib, 2000).

더불어 본 연구를 가능케 한 가장 중요한 배경은 3차원 데이터의 획득이 보다 정확하고 다양한 방법으로 가능하게 된 것이다. GPS van, airborne laser scanner 과 같은 첨단 기기들의 활용으로 인하여 3차원 데이터 취득이 매우 용이해짐에 따라, ****년부터는 수치지도의 모든 정보에 3차원 좌표가 함께 기입될 예정이다. 따라서 본 연구에서는 선형 자료를 기반으로 하는 Modified Hough Transform를 통하여 3차원 위치 자료를 갱신함으로써 GIS 자료의 자동 갱신 가능성을 검정하고자 한다.

2. Modified Hough Transform을 이용한 위치 관계 결정

2.1. 영상의 외부 표정 요소 결정을 위한 공선 조건식

지상좌표와 이에 대응하는 사진좌표를 기초로 영상의 공간상의 위치와 회전요소를 결정하는 공간후방교선법은 공선조건식을 수학적 함수로 사용하며 이는 식(1)과 같다.

$$\begin{pmatrix} x_{ij}-x_p \\ y_{ij}-y_p \\ -f \end{pmatrix} = \lambda R^T(\omega,\phi,\kappa) \begin{pmatrix} X_j-X_0 \\ Y_j-Y_0 \\ Z_j-Z_0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기에서, f는 사진기의 초점거리, x_{ij}, y_{ij}는 사진 상에서 i로 나타나는 지상점 j의 사진좌표, X_j, Y_j, Z_j 는 점 j의 지상좌표를 의미하며, X_0, Y_0, Z_0는 사진기 중심의 지상좌표, M은 사진 중심의 회전 요소 w, ϕ, κ의 회전 행렬을 의미한다.

일반적으로 공선조건식의 매개변수 X_0, Y_0, Z_0와 w, ϕ, κ는 영상과 지상에서 동일한 점으로 간주되는 기준점을 사용하여 최소제곱조정법으로 결정한다.

2.2. Modified Hough Transform을 이용한 외부표정요소결정

누적 배열을 사용하여 영상으로부터 선형 정보를 추출하기 위하여 개발된 Hough Transform(Hough, 1962)은 두 자료의 관계를 정의하는 수학적 모델의 매개변수 값들을 구하는 데에도 적용될 수 있다. Modified Hough Transform 알고리즘은 Hough Transform알고리즘을 기반으로 완전한 정합 요소를 모르는 두 자료로부터 정합 요소를 찾아내는 동시에 기하학적 변환 모델의 매개변수 값들을 계산하는 기법이다(Habib, 2000).

Modified Hough Transform 알고리즘은 서로 다른 자료들 간의 정합 관계는 하나의 수학식으로 표현할 수 있다는 가정 아래 이 수학식을 관측 방정식으로 사용한다(그림 1 참조). 사용되는 수학적 모델의 매개변수들은 그 개수에 따라 순차적으로 또는 동시에 계산된다. 가능한 모든 정합 요소들에 대하여 계산된 변수들의 값을 누적 배열 상에 표현하였을 때 가장 높은 누적 값을 갖는 위치가 바로 가장 정확한 해라고 풀이한다. 따라서 가장 높은 누적 값을 갖는 요소들을 추적함으로써 정합 관계를 결정할 수 있게 된다.

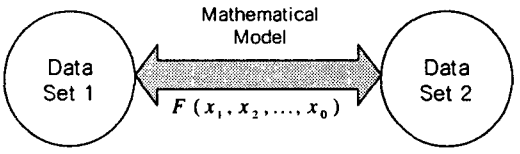


그림 1 . 두 자료간의 수학적 모델

Modified Hough Transform을 이용하여 정합 문제를 풀이하고 외부표정요소를 결정하기 위해서는 다음과 같은 자료가 필요하다.

- 지상의 선형 정보에 대한 3차원 좌표
- 영상의 선형 정보에 대한 2차원 좌표
- 카메라의 내부표정요소

Modified Hough Transform을 이용한 외부표정요소 결정에 사용되는 영상좌표 및 지상좌표는 선분 상의 모든 점을 사용할 수 있기 때문에, 6개의 외부표정요소에 대하여 영상 전체에 대한 모든 점들을 사용하면 컴퓨터의 메모리 문제를 발생시킬 수 있다. 따라서 영상을 몇 개의 구역으로 나누어 매개 변수를 적용함으로써 적은 영향을 미치는 구역의 점들을 배제하고 매개변수를 계산하여 이러한 문제를 해결할 수 있다. 본 연구에서는 하나의 영상을 그림 2와 같이 9개의 구역으로 나누어 적용하였으며, 각 매개변수에 영향을 미치는 영상의 구역은 식(2)을 통해 결정할 수 있다.

$$e_x \approx \frac{f}{H}dX_0 + \frac{x}{H}dZ_0 - \frac{xy}{f}d\omega + \left(f + \frac{x^2}{f}\right)d\phi + y\kappa$$

$$e_y \approx \frac{f}{H}dY_0 + \frac{y}{H}dZ_0 - \left(f + \frac{y^2}{f}\right)d\omega + \frac{xy}{f}d\phi - x\kappa \qquad (2)$$

여기서, e_x, e_y는 외부표정요소의 변화량 $dX_0, dY_0, dZ_0, dw, d\phi, d\kappa$에 대한 영상의 x, y축에 대한 이동량을 의미한다. 표1은 9개의 구역에 대한 외부표정요소 변화의 영향을 나타내고 있다.

표 1. 외부표정요소 변화의 구역별 영향

구역	dX_0		dY_0		dZ_0	
	x	y	x	y	x	y
1	f/dZ	0	0	f/dZ	$-x/dZ$	y/dZ
2	f/dZ	0	0	f/dZ	0	y/dZ
3	f/dZ	0	0	f/dZ	x/dZ	y/dZ
4	f/dZ	0	0	f/dZ	$-x/dZ$	0
5	f/dZ	0	0	f/dZ	0	0
6	f/dZ	0	0	f/dZ	x/dZ	0
7	f/dZ	0	0	f/dZ	$-x/dZ$	$-y/dZ$
8	f/dZ	0	0	f/dZ	0	$-y/dZ$
9	f/dZ	0	0	f/dZ	x/dZ	$-y/dZ$

구역	dw		$d\phi$		$d\kappa$	
	x	y	x	y	x	y
1	xy/f	$-f-y^2/f$	$f+x^2/f$	$-xy/f$	y	x
2	0	$-f-y^2/f$	f	0	y	0
3	$-xy/f$	$-f-y^2/f$	$f+x^2/f$	xy/f	y	$-x$
4	0	$-f$	$f+x^2/f$	0	0	x
5	0	$-f$	f	0	0	0
6	0	$-f$	$f+x^2/f$	0	0	$-x$
7	$-xy/f$	$-f-y^2/f$	$f+x^2/f$	xy/f	$-y$	x
8	0	$-f-y^2/f$	f	0	$-y$	0
9	xy/f	$-f-y^2/f$	$f+x^2/f$	$-xy/f$	$-y$	$-x$

한편 Modified Hough Transform을 이용하여 외부표정요소를 결정하기 위해서는 메모리 문제를 고려하여 한 번에 결정되는 외부표정요소의 순서로 풀이되어야 한다. 외부표정요소간의 상관관계가 높은 경우, 먼저 계산된 매개변수의 정확도는 다음에 계산될 매개 변수의 정확도를 좌우할 수 있기 때문이다. 그러므로 매개변수 풀이의 순서는 전 단계의 조정에 의하여 다음 단계의 매개변수 조정의 결과에 영향을 미치지 않도록 구성되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 해석적 상호표정시 외부 표정 요소를 조정하는 순서와 동일하게 $(X_0, Y_0) \rightarrow (\kappa) \rightarrow (Z_0) \rightarrow (w, \phi)$의 순으로 외부표정요소를 풀이하였다(Slama, 1980)).

9개의 구역 모두는 외부표정요소의 결정에 모두 영향을 주지만 각각 다른 크기로 적용된다. 따라서 9개의 구역에 대하여 선형 정보가 부족한 경우에는 단지 자료 처리의 속도를 감소시킬 뿐이다.

Modified Hough Transform를 적용한 최종 단계의 누적 배열을 통해 영상과 지상간의 일치하는 점 정합 요소를 찾아낼 수 있으며, 이렇게 얻은 점 정합 요소를 사용하여 최소제곱을 풀이하면 외부표정요소를 결정할 수 있게 된다.

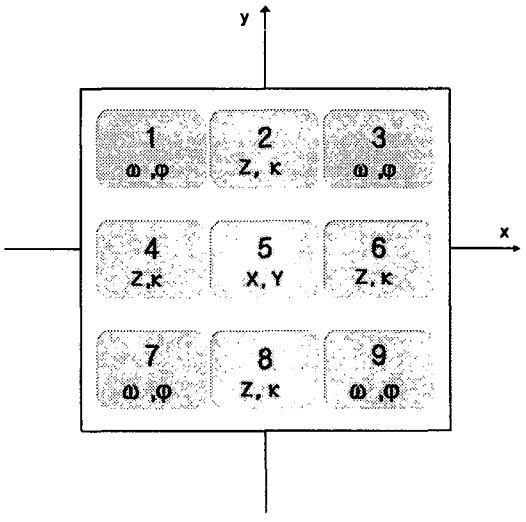
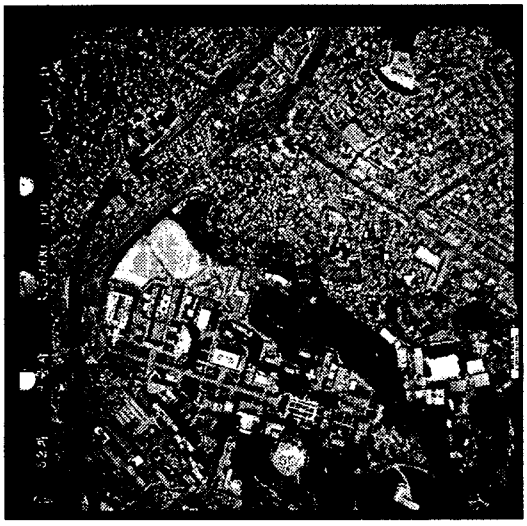


그림 2.
순차적 외부표정요소 결정

3. 자료처리 및 결과

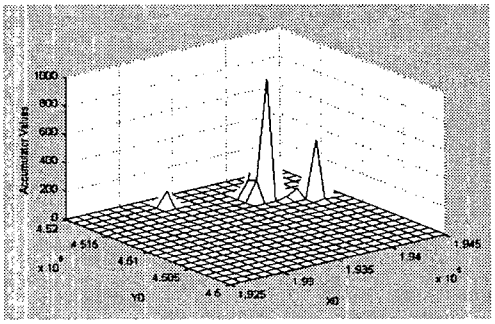
본 연구에서는 1999년에 획득된 축척 1/5,000 항공사진을 출처 자료로 하여 1996년에 제작된 축척 1/1,000 GIS 자료의 갱신 여부를 판별하고자 하였다. 두 자료 간의 위치 관계 결정에 Modified Hough Transform을 적용하기 위하여 영상의 도로 성분을 선형 자료로 사용하였다(그림 3 참조).



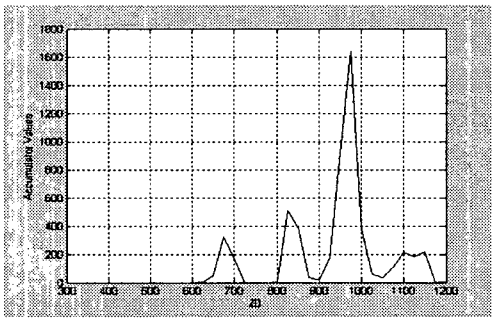
(a) 항공사진 (1999년)

(b) 수치지도 (1996년)

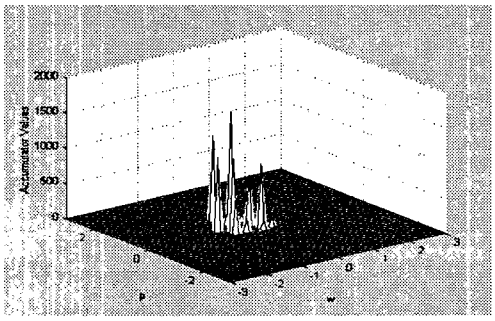
그림 3. 출처자료(a) 및 대상GIS자료(b)



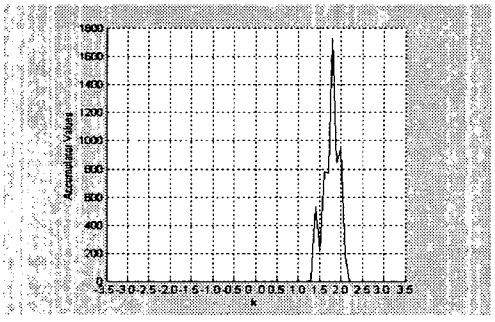
(a) (X_0, Y_0) : cell size 100m



(b) (Z_0) : cell size 100m



(c) (w, ϕ) : cell size 0.1 rad



(d) (κ) : cell size 0.1 rad

그림 4. 각 매개변수에 대한 누적 배열

점 정합 요소 결정은 700개의 2차원 영상 좌표와 800개의 3차원 지상 좌표를 사용하여 총 560,000쌍을 대상으로 Modified Hough Transform을 적용하였다. 각각의 매개변수에 대한 누적 배열은 그림 4와 같으며, 9번의 반복 조정을 통하여 53쌍의 점 정합 요소를 찾을 수 있었다.

위의 방법으로 검색한 53쌍의 점 정합 요소를 사용하여 최소제곱법을 통해 표 2와 같은 외부표정요소를 얻을 수 있었다.

표 2. 최소제곱조정을 통한 외부표정요소 계산 결과

	초기값	근사값	RMSE
X_0(m)	190000	194098.7829	±0.5542
Y_0(m)	450000	451441.9154	±0.5223
Z_0(m)	1000	958.0397	±0.2203
w(rad)	0	-0.0063	±0.0005
ϕ(rad)	0	-0.0006	±0.0007
κ(rad)	2	1.5910	±0.0002

4. 결론

본 연구에서는 정합 여부를 알 수 없는 지상좌표와 영상좌표의 쌍으로부터 Modified Hough Transform을 적용하여 점 정합 요소 및 지상좌표와 영상좌표의 기하학적 변환 관계를 결정할 수 있었으며, 계산된 외부표정요소는 X_0에 대하여 ±0.5542, Y_0에 대하여 ±0.5223, Z_0에 대하여 ±0.2203m, w에 대하여 ±0.0005, ϕ에 대하여 ±0.0007, 그리고 κ에 대하여 ±0.0002의 RMSE를 가졌다. 따라서 갱신이 요구되는 GIS 자료와 갱신의 출처가 되는 자료(예를 들면 영상)에 대한 Modified Hough Transform 알고리즘 적용을 통하여 GIS 자료의 자동 갱신 가능성을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. Habib, A., D. Kelley, and A.Asmamaw, 2000, New Approach to Solving Matching Problems in Photogrammetry, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Amsterdam, pp.257-264.

2. Hough, 1962, Methods and Means for Recognizing Complex Patterns, U.S. Patent 3,069,654.

3. Slama, C., 1980, Manual of Photogrammtry, American society of photogrammtery, pp.574-577.

4. Mikhail, E., 1993, Linear Features for Photogrammetric Restitution and Object Completion, Integrating Photogrammetric techniques with Scene Analysis and Machine Vision, SPIE proc., Orlando, Florida, USA, No.1944, pp.16-30.