

다항식비례모형을 이용한 위성영상의 활용에 관한 연구

Application of Satellite Image Using RFM

손홍규* · 유형욱** · 박정환***

Sohn, Hong-Gyoo · Park, Choung-Hwan · Yoo, Hyung-Uk

요 旨

다항식비례모형(Rational Function Model)은 센서의 종류에 상관없이 적용이 가능한 범용적 모델이다. 다항식비례모형계수를 결정하기 위해서는 고르게 분포된 다수의 지상기준점이 필요한데 기준점의 취득 방법에 따라 크게 terrain-independent solution과 terrain-dependent solution 두 가지로 나눌 수 있다. 최근에 이루어진 대부분의 연구는 terrain-independent solution에 집중되어 있다. 그러나 비전문가 집단에서의 위성영상 활용성을 증가시키기 위해서는 terrain-dependent solution 방법을 적용한 정확도 향상에 관한 연구가 필요하다. 따라서 이번 연구에서는 KOMPSAT 입체영상에 대하여 terrain-dependent solution을 이용해 다항식비례모형계수를 구하였으며 상관도 분석을 통해 정확도를 향상시켰다. 또한 이를 이용해 영상정합을 수행하고 수치고도모형을 생성하였다. 엄밀 센서모델을 통해 제작한 수치고도모형과 비교해 정확도를 검증해본 결과 두 수치고도모형사이에 각각의 방향별로 $dx=18.11m$, $dy=32.29m$, $dz=34.58m$ 의 표준편차를 나타내었다. 또한 서로 다른 위성영상으로부터 상관도 분석을 통해 다항식비례모형계수를 구하고 3차원 위치결정을 한 후 검사점과 비교하여 정확도를 분석한 결과 수평방향의 평균오차는 $dx=13.08m$, $dy=18.12m$ 이고 수직평균오차는 $23.75m$ 를 나타내었다.

Abstract

RFM is believed to be universally applicable to any type of the sensor. Most of researches carried out lately are concentrated on terrain-independent method, but the researches about improvement of accuracy by way of terrain-dependent method are required to increase a practical use of satellite imagery in nonprofessional groups. This research focused on a means to improve RFM solution, a matching technique, and a generation of DEM through a correlation analysis, with terrain-dependent solution. The result shows that accuracy problem which is caused by over-parameterization on RFCs was removed through correlation analysis, and it was possible to generate a accurate DEM with terrain-dependent solution. And also, the application of RFM with different satellite images show sensor independent characteristics of RFM

1. 서론

현재 운용중인 각국의 초고해상도 위성영상의 경우 안보상의 이유로 ephemeris data의 공개를 허락하지 않는 추세이다. 따라서 위성정보의 제공과 별개로 사용가능한 일반적 센서모델에 대한 연구와 활용에 대한 관심이 고조되고 있다. 다항식비례모형(RFM: Rational Function Model)은 일반적 센서모

* 정희원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 조교수 · 공학박사 · 02-2123-2809 (e-mail: sohn1@yonsei.ac.kr)

** 정희원 · 연세대학교 사회환경 · 시스템공학부 토목 · 환경전공 석사과정 (e-mail: divestar@hanmail.net)

*** 정희원 · 연세대학교 사회환경 · 시스템공학부 토목 · 환경전공 박사과정 (e-mail: c142520@yonsei.ac.kr)

델의 일종으로서 많은 연구가 진행되고 있는데 다항식비례모형계수(RFCs: Rational Function Coefficients)를 구하기 위해서는 고르게 분포된 다수의 기준점이 필요하다. 최근에 발표된 대부분의 연구에서는 엄밀 센서모델을 이용하여 기준점을 취득하는 terrain-independent solution을 사용하였다. 하지만 향후 초고해상도 위성영상은 센서정보를 공개하지 않을 것으로 예상되기 때문에 엄밀 센서모델을 사용하지 않고 기준점을 취득하는 terrain-dependent solution에 의한 연구가 시급하다. 따라서 본 연구에서는 엄밀 센서모델을 사용하지 않고 기준점을 취득하는 terrain-dependent solution을 사용, 다항식비례모형계수를 구하고 이를 이용하여 3차원 위치결정 및 수치고도모형을 제작하고자 한다. terrain-dependent solution을 사용할 경우 기존의 지도나 수치고도모형 등을 이용하여 기준점을 취득하는데, 다수의 기준점을 취득하기 위해서는 많은 시간적, 경제적 비용이 든다. 따라서 본 연구에서는 최소한의 기준점만을 취득하여 다항식비례모형계수를 산출하며 이로 인해 야기될 수 있는 과대오차문제를 해결하기 위해서 상관도분석을 수행하고자 한다. 또한 수치고도모형제작에 있어 필수적인 영상정합의 정확성을 향상시키기 위해서 기하학적 관계를 이용한 RFM 영상정합법을 개발하고자 한다. 한편 서로 다른 위성영상에 대하여 역시 최소의 기준점만을 사용하여 상관도분석을 통해 다항식비례모형을 산출하고 3차원 위치결정을 수행 한 후 정확도를 평가해 봄으로서 그 활용가능성을 점쳐 보고자 한다.

2. 동일 위성영상에 대한 다항식비례모형의 적용 및 활용

2.1 연구대상영역 및 영상

본 연구에 사용된 KOMPSAT 입체영상은 그림 1과 같이 17km × 17km의 영역으로 대전광역시를 중심으로 촬영되었다. 좌측영상은 2796(line) × 2592(column), 우측영상은 2798(line) × 2592(column)의 크기를 갖으며 영상소의 해상도는 6.6m이다. 이 영상에서 전반적으로 구릉지로 판단되는 부분(높은 산악지형은 없음, 강과 평지 그리고 주위의 구릉성산지로 구성됨)만을 따로 절취하여 대상지역으로 삼았다. 항공사진과 달리 위성영상의 경우 심한 기하학적 왜곡이 발생할 수 있기 때문에 동일지역일지라도 좌우측 영상의 크기는 차이가 난다. 절취된 영상의 크기는 좌측 750(line) × 750(column), 우측 749(line) × 945(column)으로 그림 1의 흰색으로 표현된 부분이다.

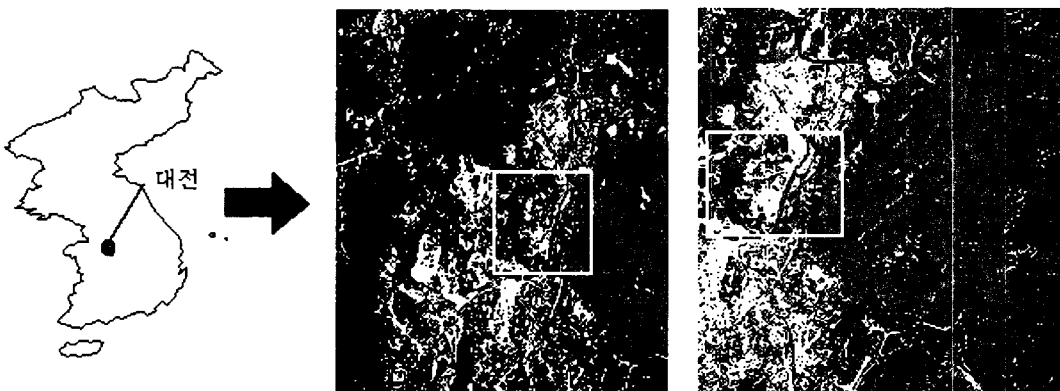


그림 1. 대전지역의 KOPSAT영상(좌측: 2796 × 2592, 우측: 2798 × 2592)

2.2 RFCs 결정 및 상관도 분석

일반적인 다항식비례모형은 식 (1), (2)와 같이 나타낼 수 있다

$$x_l = \frac{A_l(X_n, Y_n, Z_n)}{B_l(X_n, Y_n, Z_n)} \quad y_l = \frac{C_l(X_n, Y_n, Z_n)}{D_l(X_n, Y_n, Z_n)} \quad (1)$$

$$x_r = \frac{A_r(X_n, Y_n, Z_n)}{B_r(X_n, Y_n, Z_n)} \quad y_r = \frac{C_r(X_n, Y_n, Z_n)}{D_r(X_n, Y_n, Z_n)} \quad (2)$$

여기서, x_l, y_l 은 좌측 영상, x_r, y_r 은 우측 영상의 행과 열의 위치로 X_n, Y_n, Z_n 은 그 영상좌표에 대응하는 지상의 3차원 좌표이다. 본 연구에서는 다항식비례모형의 적용에 있어 지상좌표에 대한 다항식 차수는 최대 2차로 제한하였다. $A \sim D$ 는 다항식 형태로 다음의 식 (3)과 같다.

$$A_l = \sum_{i=0}^{m_1} \sum_{j=0}^{m_2} \sum_{k=0}^{m_3} a_{l,ik} x^i y^j z^k = a_{l_0} + a_{l_1}X + a_{l_2}Y + a_{l_3}Z + \dots + a_{l_4}X^2 + a_{l_5}Y^2 + a_{l_6}Z^2 \quad (3)$$

여기서, $a_{l,ik}$ 은 일반적인 다항식비례모형 계수를 나타낸다. 본 연구에서 기준점은 1:5000 수치지도에서 취득하였으며 수직 및 수평 분포를 고려하여 좌측 25점, 우측 24점의 총 49점을 취득하였다. 이를 이용하여 다항식비례모형계수를 산출하였으며 이들 계수들 중 상관성 분석을 통해 최적의 계수만을 선택 하였다(손홍규 등, 2002).

2.3 RFM을 이용한 영상정합

항공사진과 달리 위성영상의 경우 off-nadir 현상으로 인해 동일 영상내의 공칭 해상도가 달라질 수 있고 관측각에 따라 보다 심한 기하학적 왜곡이 발생할 수 있다. 따라서 일반적인 영상정합방법을 적용하기가 용이하지 않으며 이러한 정합문제의 해결을 위해 본 연구에서는 대상공간 영상정합법을 적용 하였다(정수 등, 1999). 즉, 상관도 분석을 통해 결정한 다항식비례모형 계수를 이용, 영상과 지상점사이의 기하학적 관계를 다항식비례모형으로 표현하고 이를 이용하여 탐색영역을 제한하는 방법이다. 전체적인 영상정합 알고리즘은 그림 3과 같다. 우선 좌측영상에서 Canny 연산자를 사용하여 초기점을 추출한다. 이 초기점의 영상좌표에 대응하는 실제 지상좌표를 식(1)을 이용하여 구하였다. 하지만 2개의 방정식을 이용 3개의 미지수(지상좌표 X, Y, Z)를 구할 수 없기 때문에 고도에 해당하는 Z값은 가정하였다. Z값의 범위는 기준점의 Z값 중 최대값, 최소값을 고려하여 위 아래로 약 200m의 여분을 주어 범위를 결정하였으며 그 범위 내에서 100m 간격씩 6개 구간으로 분리하여 각각의 구간에 대하여 대상공간 영상정합 기법을 적용하였다. 식 (1)을 X, Y에 대한 함수 형태로 정리하면 비선형 형태로 표현되므로 이를 Talyor 급수 전개를 통해 선형화 시키고 행렬 형태로 표현하면 식 (4)와 같다.

$$\begin{bmatrix} \nu_{x_l} \\ \nu_{y_l} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x_l}{\partial X} & \frac{\partial x_l}{\partial Y} \\ \frac{\partial y_l}{\partial X} & \frac{\partial y_l}{\partial Y} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_l - x_0 \\ y_l - y_0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서 x_0, y_0 은 초기 영상좌표, ν_{x_l}, ν_{y_l} 은 잔차, $\Delta X, \Delta Y$ 는 지상좌표 X, Y에 대한

미세 증가량을 의미한다. 각 구간별 Z 값의 최대값 Z_{max} 과 최소값 Z_{min} 에 대하여 식 (4)를 이용해 얻은 지상좌표를 각각 $G_{max}(\hat{X}_{max}, \hat{Y}_{max}, Z_{max})$, $G_{min}(\hat{X}_{min}, \hat{Y}_{min}, Z_{min})$ 라 하고 이에 대응하는 우측영상의 영상좌표를 식 (2)를 통해 계산하게 되면 $I_{ax}(i_{max}, j_{max}), I_{e}(i_{min}, j_{min})$ 를 얻을 수 있다. 우측영상에서의 제한구간은 식 (5)와 같은 직선의 방정식을 이용하여 구하였으며 정합구간에 대한 보다 안정적인 정합을 위해서 해당 영상소의 상하로 5영상소씩 더 탐색하도록 설정하였다 (그림 4 참조).

$$(i - i_{max}) = \frac{(i_{max} - i_{min})}{(j_{max} - j_{min})} (j - j_{max}) \quad (5)$$

이렇게 획득된 우측영상에서의 탐색영역에 대하여 좌측 영상의 초기점에 대응하는 공역 점을 찾기 위해 cross-correlation 영상정합을 수행하였다. 정합점들에 대해 다시 최소제곱 영상정합법 사용, 향상된 정확도의 정합결과를 얻을 수 있었다.

효율적인 영상정합을 위해 고도 Z 값의 범위를 6개 구역으로 나누었을 때 3번째 구역 ($-50m < Z < 50m$)과 4번째 구역 ($50m < Z < 150m$), 5번째 구역 ($150m < Z < 250m$)에서 가장 좋은 결과를 얻었다 (표 1 참조). 각 구간에서 생성된 영상정합점의 총 개수는 75,359점으로 이중 3,4,5구간에서 정합된 점들에 대하여 다항식비례모형을 이용한 전방교선법을 사용하여 최종적인 3차원 위치를 계산하였다.

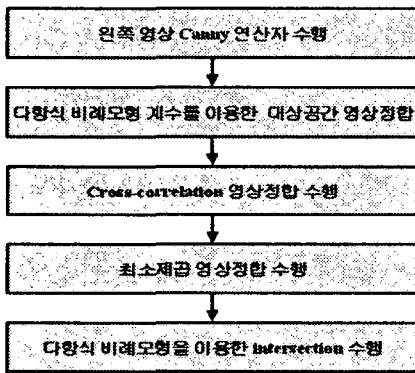


그림 2. 영상정합 알고리즘

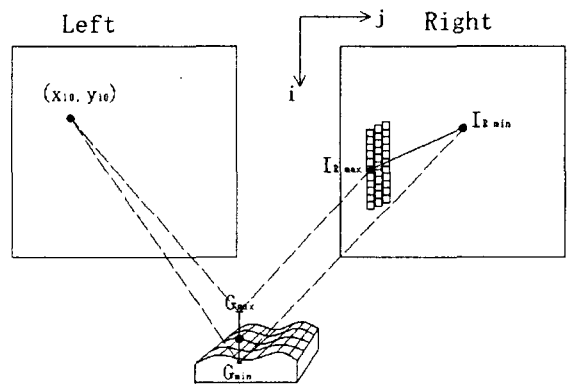


그림 3. 다항식비례모형계수를 이용한대상공간 영상정합

표 1. 영상정합과 3차원 위치결정 결과

구간			영상정합 정합점의 개수	3차원 위치결정		
구간번호	최소 Z값	최대 Z		intersection 수행 후 수렴한 점의 개수	intersection 수행 후 발산한 점의 개수	수렴한 점의 백분율 (%)
1	-250	-150	6809	3311	3498	48.63
2	-150	-50	6305	1336	4969	21.19
3	-50	50	20818	18680	2138	89.73
4	50	150	22473	21788	685	96.95
5	150	250	11889	8895	2994	74.82
6	250	350	7065	2483	4582	35.15
3,4,5 구간 총 합계			55180	49363	5817	89.46
총 합계			75359	56493	18866	74.97

2.4 수치고도모형 제작

3,4,5 번째 구간에서는 영상정합이 정확하게 수행되었기 때문에 3차원 위치결정 수렴율도 높게 나타났고, 나머지 구간에서는 영상정합이 정확하게 수행되지 않아 상대적으로 3차원 위치결정 수렴율이 낮게 나타났다. 따라서 3,4,5 구간에서의 수렴점들만을 사용하여 그림 8과 같이 수치고도모형을 제작하였다. 한편 정확도를 평가하기 위하여 3,4,5 구간에서 정합점들에 대해 엄밀 센서모형을 사용하여 3차원 위치결정을 하였고 이를 이용해 그림 9와 같이 수치고도모형을 제작하였다. 두 수치고도모형을 비교한 결과 수평방향으로 $dx=13.08m$, $dy=18.12m$ 의 평균오차를 나타내었으며, 수직평균오차는 $23.75m$ 를 나타내었다.

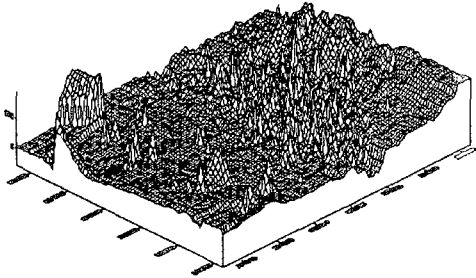


그림 4. 다항식비례모형을 이용 제작한 DEM

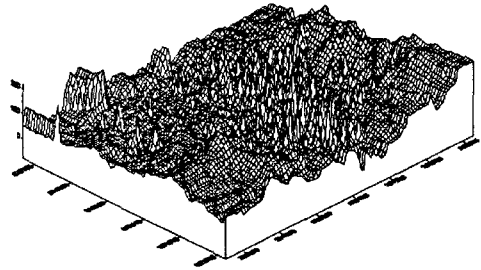


그림 5. 엄밀센서모형을 이용 제작한 DEM

3. 상이 위성영상에 대한 다항식비례모형의 적용 및 활용

3.1 연구대상영역 및 영상

다항식비례모형은 서로 다른 센서에 범용적으로 적용할 수 있는 일반적 센서모델이다. 따라서 동일 지역에 대해 서로 다른 위성영상을 사용하여 다항식비례모형계수를 구하고 3차원 위치결정을 할 수 있다. 대상영역은 KOMPSAT 스테레오영상을 사용한 지역과 동일 영역이다. 좌측 영상은 KOMPSAT 스테레오영상 중 좌측영상을, 우측 영상은 SPOT 스테레오영상(6000×6000, 해상도 10m) 중 우측영상을 사용하였다. 그림 7, 8 에서 흰색 사각영역이 대상영역으로 동일 지역을 산정하기 위해 우측 SPOT 영상을 32° 반 시계 방향으로 회전하여 절취하였다. 절취된 영상의 크기는 좌측 영상(750×750), 우측 영상(750×916)이다. 좌 우측 각 영상에서 35점의 기준점을 취득 29점을 지상기준점으로 6점을 검사점으로 사용했다.

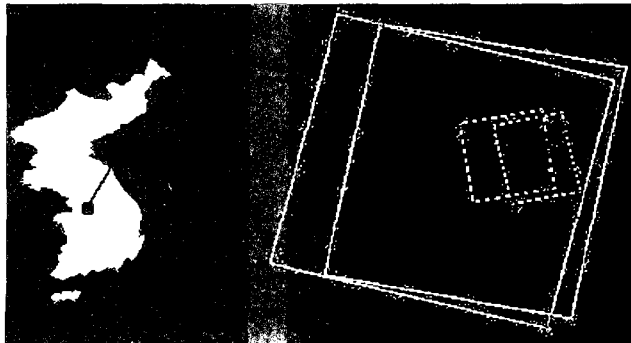


그림 6. 대상영역 및 영상의 위치

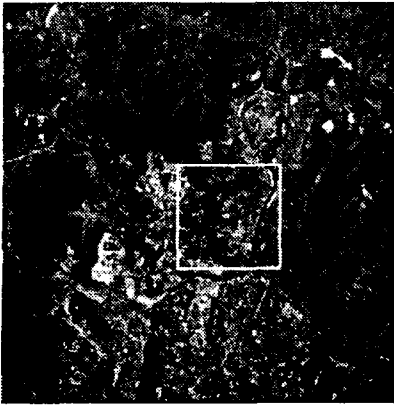


그림 7. 좌측 KOMPSAT 영상



그림 8. 우측 SPOT 영상

3.2 다항식비례모형계수 산정 및 3차원 위치결정

서로 다른 두 영상을 사용하였을 뿐 전체적인 알고리즘은 동일영상에서 사용한 방법과 동일하다. 상관도 분석을 통해 다항식비례모형계수를 산정하고 이를 이용하여 6점의 검사점에 대응하는 영상좌표에 대하여 3차원 위치결정을 하였다. 또한 이 값을 검사점과 비교하였다 (표 2).

표 2. 3차원 위치결정 정확도

CKPs				Result of intersection			Deviation		
NO.	Northing	Easting	Height	Nnorthing	Easting	Height	dx	dy	dz
8	234505.38	322602.22	132.1	234526.450	322610.196	84.930	21.0701	7.97679	47.16986
24	237050.463	322760.819	42.8	237052.626	322749.278	26.55299	2.16333	11.54135	16.24701
28	234727.58	321169.13	73.7	234696.436	321145.247	61.57111	31.1437	23.88346	12.12889
32	235691.815	320073.897	79.2	235708.919	320104.97	56.63699	17.10389	31.07293	22.56301
33	234316.71	323530.16	46.8	234316.951	323528.557	90.5002	0.24143	1.60315	43.7002
35	236134.343	322831.173	38.5	236127.582	322798.561	39.20957	6.7609	32.61238	0.70957
					Average of Deviation		13.08	18.12	23.75
					RMS		18.74	23.66	31.80

4. 결론

본 연구에서는 엄밀 센서모델을 사용하지 않고 최소의 기준점만을 이용하여 2차 다항식 비례모형에 대한 계수를 구하였으며 상관도분석을 통해 과대오차를 제거하고 최적의 다항식비례모형계수로 재구성할 수 있었다. 이들 계수를 이용 위성영상과 지상점 사이의 기하학적 관계를 다항식비례모형으로 표현하고 탐색영역의 범위를 제한하는 대상공간 영상정합법을 개발하고 수치고도모형을 제작한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. KOMPSAT 영상에 대하여 엄밀 센서모델을 사용하지 않고 총 49점(좌측 25점, 우측 24

점)의 기준점만을 사용하여 상관도 분석을 통해 2차 다항식 비례모형계수를 산출하였고, 이를 이용하여 대상공간 영상정합을 실시하였다. 위성영상은 항공영상에 비하여 기하학적 왜곡이 크기 때문에 다수의 영상정합을 찾기가 힘들지만 대상공간 영상정합을 통해 좌측영상의 초기점에 대하여 우측영상에서 적절한 탐색영역을 설정할 수 있었고 약 55000점의 영상정합점을 찾아내었다.

2. 대상공간 영상정합을 통해 결정된 영상정합점에 대하여 다항식비례모형을 이용, 최소제곱법을 통한 반복법에 의하여 3차원 위치결정을 수행한 결과 약 89%의 수렴율을 보였다. 대상공간영상정합을 수행하기위해 지상고도 Z값을 가정하였는데 Z값을 실제지형과 유사하게 잘 가정하였을 때 영상정합이 정확하게 이루어지고 다항식비례모형에 의한 3차원 위치결정의 수렴율도 높음을 알 수 있었다.
3. 3차원 위치결정과정을 통해 수렴된 점을 사용하여 수치고도모형을 제작하였다. 정확도 평가를 위하여 동일한 영상정합점에 대해 엄밀센서모형을 사용하여 3차원 위치결정을 하고 이를 이용하여 수치고도모형을 제작하였다. 두 수치고도모형을 비교한 결과 수평방향으로 $dx=18.11m$, $dy=32.27m$ 의 평균오차를 나타내었으며, 수직평균오차는 34.58m를 나타내었다. 이를 통해 센서의 물리적 모형이 없는 경우라도 적정 수의 기준점이 취득된다면 다항식비례모형을 적용하여 비교적 정확한 수치고도모형의 제작이 가능함을 알 수 있었다.
4. 서로 다른 두 영상에 대하여 29점의 기준점만을 이용하여 상관도 분석을 통해 다항식비례모형계수를 결정하고 이를 이용하여 3차원 위치결정을 하였다. 검사점과 비교하여 정확도를 검증한 결과 수평방향으로 $dx=13.08m$, $dy=18.12m$ 의 평균오차를 나타내었으며, 수직평균오차는 23.75m를 나타내었다. 이를 통해 서로 다른 센서모델에 대하여 범용적으로 사용가능한 다항식비례모형의 일반성을 확인하였고 향후 상이 영상에 대한 활용가능성을 점쳐 볼 수 있었다.

5. 참고문헌

1. 손홍규, 박정환, 송영선, 정진석(2001), 고해상도 위성영상을 이용한 3차원 위치결정 정확도에 관한 연구, 대한토목학회 학술발표회, 대한토목학회.
2. 손홍규, 박정환, 유형욱(2002), 위성영상의 3차원 위치결정을 위한 RFM의 상관성 분석, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제22권 제4-D호, pp. 777-789.
3. 정수, 박정환, 유복모(1999), 상호표정의 자동화를 위한 대상공간 영상정합, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제19권, 제3-2호, pp. 313-323.
4. Tao, C. V. and Y. Hu(2001), Comprehensive Study of the Rational Function Model for Photogrammetric Processing, PE&RS, 67(12), pp. 1347-1357.
5. OGC(OpenGIS Consortium)(1999), The OpenGIS Abstract Specification-Topic 7: The Earth Imagery Case, URL: <http://www.opengis.org/public/abstract/99-107.pdf>.
6. Tao, C. V. and Y. Hu(2002), 3D Reconstruction Methods Based on the Rational

Function Model, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 68, No. 7, pp. 705-714.

7. CDAL (CGDI Data Alignment Layer)(1999), Creating the CGDI Data Alignment Layer", URL; <http://cdal.cgdi.gc.ca/html/frameese.html>
8. Grodecki, j.(2001), IKONOS geometric accuracy, Proceedings of ISPRS Workshop on High Resolution Mapping from Space 2001, 19-21 September, Hannover, Germany, pp. 77-86 (CD-ROM).