

기준점 패치 및 보조점 정합에 의한 지상기준점의 영상좌표 자동관측 Automatic Measuring of GCP's Image Coordinates using Control Point Patch and Auxiliary Points Matching

강명호* · 방수남** · 이용웅***

Kang, Myung-Ho · Bang, Soo-Nam · Lee, Yong-Woong

要 旨

위성으로부터 정확한 3차원 위치정보를 계산하기 위하여 영상획득순간의 정확한 센서의 외부표정요소(위치와 자세)를 알고 있어야 한다. 이미 정확한 3차원 정보를 알고 있는 지상기준점을 이용하여 센서의 외부표정요소를 결정하는 엄밀법은 정확한 3차원 정보를 추출할 수 있는 최선의 방법 중 하나이다. 엄밀법에 의하여 센서 모델링을 할 때 지상기준점의 영상좌표 관측작업이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 지상기준점 영상패치 및 보조점 정합에 의해 입체영상 3차원 모형화에 필요한 지상기준점의 영상좌표를 자동으로 추출할 수 있는 기법을 개발하였다. 관측정확도는 수작업으로 관측한 값과 자동 계산된 영상좌표의 결과를 비교분석하여 평가하였으며, SPOT 위성영상의 3차원 모형화에 적용하여 정확도를 평가하므로써 SPOT 위성영상 3차원 모형화 과정에서 지상기준점의 영상좌표 관측을 자동화 할 수 있음을 입증하였다.

Abstract

An approach is described for automatic measuring of GCP's image coordinates from SPOT imagery and focused on the fulfillment an automatic orientation of satellite images. For the orientation of a stereopair of digital images, firstly, GCP(Ground Control Point) should be selected and then the work for measuring of image coordinates correspond to GCPs is required. In this study, we propose the method for extracting the GCP's image coordinates automatically using an image patch for control points and auxiliary points matching. For the evaluation of measurement accuracy, a comparison between points those are extracted manually and automatically by a proposed method have made. Finally, we shows the feasibility of automatic image coordinates measurement by applying in stereo modeling for SPOT images.

1. 서 론

위성영상으로부터 위치자료가 포함된 지리 및 지형정보를 얻기 위해서는 영상획득순간의 센서 위치 및 자세와 영상좌표간의 관계를 해석하여야 한다. 위성영상에 대한 수학적 모델링을 위해서 먼저 입체영상에서 지상기준점(Ground Control Point : GCP)을 선정하고 선정된 지상기준점에 대한 영상좌표 및 영상좌표 관측작업이 수행되어야 한다^{[1][2][3]}.

국방과학연구소에서는 SPOT 영상과 측량기준점 그리고 궤도파라미터등을 이용하여 한반도전역에 대한 지상기준점 DB 개발을 완료하였다^[4]. 따라서, 위성 영상 모

델링을 위한 지상기준점에 대한 영상좌표 관측시 시간적 비용을 절약하고 구축된 지상기준점 DB를 이용한 효율적인 영상좌표 관측에 관한 연구의 필요성이 대두되었다. 본 연구에서는 지상기준점 데이터베이스에 포함된 정보들을 이용하여 관측대상 입체영상 3차원 모형화에 필요한 지상기준점의 영상좌표를 자동으로 추출할 수 있는 기법을 개발하였다. 관측정밀도는 수작업으로 관측한 값과 자동계산된 영상좌표의 결과를 비교분석하여 평가하였으며, SPOT 위성영상의 3차원 모형화에 적용하여 정확도를 평가하므로써 유사한 해상도의 영상을 활용하는 3차원 모형화 과정에서 지상기준점의 영상좌표 관측을 자동화 할 수 있는 가능성을 입증하는 것을 목표로

* 국방과학연구소 선임연구원 (kangpaul@add.re.kr)

** 국방과학연구소 선임연구원 (snbang@add.re.kr)

*** 국방과학연구소 책임연구원 (lpilyw@add.re.kr)

하였다. 위성영상 모델링을 위한 지상기준점의 영상좌표 자동관측을 위해서 SPOT 헤더에 포함되어 있는 영상의 네 모서리 및 중심 위치좌표와 아핀(affine) 변환식을 이용하여 초기 영상좌표를 계산하는 방법과 지상기준점 영상패치와 대상영상간의 상관매칭을 통한 정밀 영상좌표 계산 방법을 제안 하였다. 상관 매칭에 의해 계산된 영상좌표 중 잘못 계산된 매칭오류점을 검출하기 위해 지상기준점외에 n개의 보조점에 대한 매칭을 이용하여 매칭오류점을 검출하는 기법과 반복적 모델링에 의해 과대오차점을 소거함으로써 검출할 수 있는 기법을 제안하고 마지막으로, 자동관측한 영상좌표를 적용하여 SPOT 위성영상 3차원 모델링을 수행하여 사용자의 요구정확도를 만족하는지를 검증하는 실험을 수행하였다.

2. 지상기준점의 영상좌표 자동관측

그림1은 본 논문에서 제안한 지상기준점 영상좌표 자동관측 알고리즘의 처리과정을 보여준다. 먼저, 위성보조자료를 이용하여 영상 좌표의 초기추정치를 계산하고 상관매칭을 통해 영상좌표를 계산하는 영상좌표 추출과정이 수행된다. 추출된 영상좌표들 중에서 관측오류가 발생한 점들을 자동으로 검출하기 위하여 보조점 매칭을 이용한 매칭오류점 검출과 3차원 모델링에 의한 매칭오

류점 검출과정이 수행된다.

지상기준점에 대한 영상좌표 자동관측을 위하여 기준점 DB에 저장되어 있는 SPOT영상에서 추출한 지상기준점 패치영상을 이용하였다. 지상기준점에 대한 패치영상은 256×256(픽셀)크기의 SPOT-PAN 전처리 수준 1A 영상에서 추출된 것이며, 패치영상 내에서의 영상좌표는 1/32픽셀의 서브픽셀 정밀도로 저장되어있다.

2.1 위성보조자료를 이용한 초기영상좌표 계산

정밀한 상좌표 관측에 앞서 모델링 대상이 되는 SPOT 영상의 헤더에 포함되어 있는 영상의 네 모서리 위치 좌표와 중심위치좌표를 이용하여 영상에서의 지상기준점의 초기영상좌표를 결정하였다(그림 2).

지상기준점에 대한 초기영상좌표 계산하기 위해 아핀 변환식을 이용하였으며, 아핀 변환식은 변환할 영상의 영상좌표와 변환 후 영상의 영상좌표에 대한 1차 다항식으로 이루어지며, 그 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} x' &= ax + by + c \\ y' &= dx + ey + f \end{aligned} \quad (1)$$

SPOT 영상의 헤더에 포함되어 있는 위치좌표는 최대 1.5 km 까지의 오차를 가지고 있다. 따라서, 그림 3에서 보는바와 같이 실제 지상기준점 위치와 아핀변환에 의해 계산된 위치가 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 정밀한 영상좌표를 관측하기 위한 영상매칭의 초기 추정치로 활

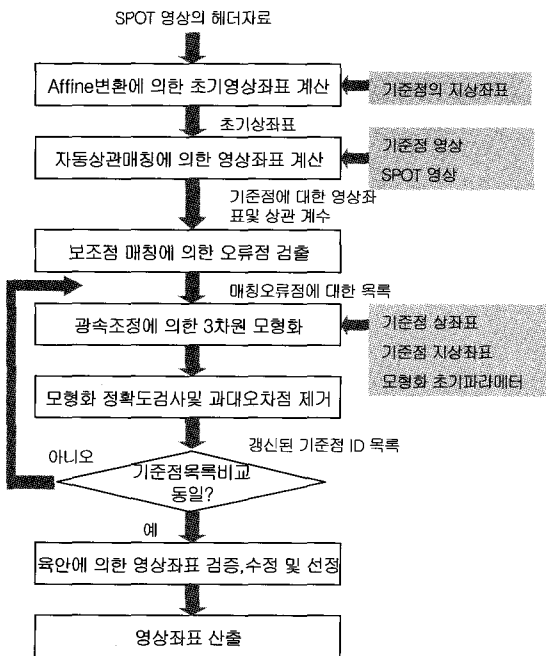


그림 1. 제안된 방법에 대한 작업 흐름도

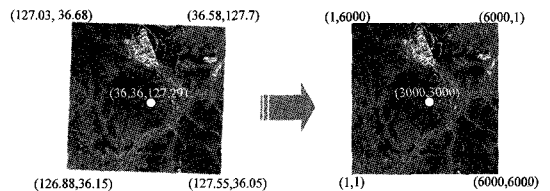


그림 2. 초기영상좌표 측정을 위한 아핀 변환

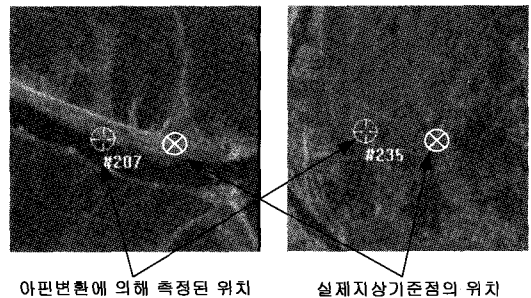


그림 3. 초기 영상좌표 계산 결과 예

용함으로써 전체영상이 아닌 시작위치로부터 상하좌우 약 150픽셀(지상거리 약 1.5 Km 이상)정도의 영역만을 탐색하여 영상 전 영역에 대해 매칭을 수행하는 것에 비해 시간적 비용을 줄일 수 있으며, 지상기준점에 대한 영상에서의 패턴이 반복되어 나타남으로 인해 발생할 수 있는 매칭오류를 방지할 수 있는 효과가 있다.

2.2 상관매칭에 의한 영상좌표 자동계산

지상기준점의 정확한 위치를 관측하기 위해 영상매칭 분야에서 가장 널리 쓰이고 있는 영역기반 상관매칭기법을 적용하고, 생성되는 정합점의 정밀도를 개선하기 위하여 서브픽셀 정확도의 매칭점 근사식을 적용하였다. 일반적으로 상관매칭기법을 적용할 경우의 문제점(특징 변화 부족인 지역, 선형경계 지역, 반복패턴 발생지역에서의 매칭오류 발생)을 해결하기 위하여 계층적 구조를 적용하였다^{[5][6][7]}.

2.2.1 상관매칭

영상매칭 기법에서 대표적인 상관매칭기법은 기준이 되는 영상의 기준점의 위치로 계산된 탐색영역에 포함되는 모든 위치에 대해서 매칭 대상 영상의 기준점과의 상관계수를 계산하고, 그 중에서 가장 큰 값을 갖는 위치를 찾아내는 것이다. 그림 4에서와 같이 기준영상(지상 기준점 영상)의 화소를 중심으로 $p \times p$ 크기의 패치(patch) f 를 설정하고, 우측영상에서 $m \times n$ 크기의 검색영역(search area)을 설정한다. 검색영역의 모든 점들에 대해 기준영상패치와 같은 크기의 패치 g 를 설정하여 상관계수 r 을 계산하며, 이 중에서 가장 큰 상관계수 값을 갖는 점을 정합점으로 선택하는 방법이다. 상관계수 r 은 식 (2)에 의해 계산된다.

$$r = \frac{\sum_x \sum_y (f(x, y) - \mu_f)(g(x, y) - \mu_g)}{\sqrt{\sum_x \sum_y (f(x, y) - \mu_f)^2 \sum_x \sum_y (g(x, y) - \mu_g)^2}} \quad (2)$$

여기서 $f(x, y)$ 와 $g(x, y)$ 은 각각 기준영상 패치와 검색

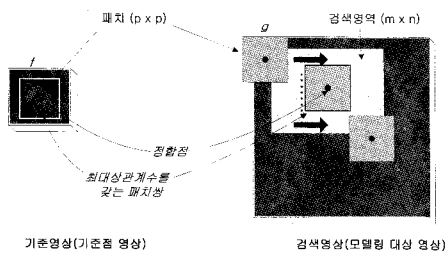


그림 4. 상관매칭에서의 패치와 검색영역

영상 패치에서 (x, y) 위치의 화소 값을 의미한다. μ_f 는 기준영상 패치의 화소평균값이고 μ_g 는 검색영역패치의 화소평균값이다. 상관계수는 $-1 \leq r \leq 1$ 의 범위의 값을 갖게 되는데, 상관계수가 큰 값을 가질수록 두 패치의 유사성이 크다는 것을 의미한다.

2.2.2 계층구조에 의한 매칭

계층구조의 영상매칭을 수행하기 위해서 입력자료인 기준점 영상 및 모델링 대상 영상을 축소하여 영상계층 구조를 구성한다. 계층구조의 입체매칭에서는 상위계층에서부터 매칭을 수행하여 그 결과를 하위계층에서 적용한다. 계층적 구조의 매칭전략은 수행시간의 단축뿐만 아니라 앞서 언급한 특징변화 부족지역, 선형경계지역, 반복패턴 발생지역에서 발생하는 매칭오류를 크게 감소시키는 효과가 있다. 특히, 기준점은 도로교차점과 같이 매칭 오류가 발생하기 쉬운 도심지에 위치한 경우가 많으므로 매칭성공률을 높이는 데 도움을 준다.

따라서, 기준점영상 클립은 최상위계층에서 매칭이 수행될 수 있도록 충분한 크기만큼 저장될 필요가 있다. 그림 5는 영상매칭에 의해 계산된 기준점의 위치를 보여준다.

2.3 매칭 오류점 검출

지상기준점의 영상좌표 자동관측시 중요하게 요구되는 과정은 매칭오류점에 대한 검출작업이다. 기준점 영상과 모델링 대상영상간의 매칭은 두 영상, 즉 기준점 패치 영상을 생성하기 위해 사용되었던 원시영상과 대상영상에 대한 영상획득조건 및 획득 시간 등의 차이로 인해

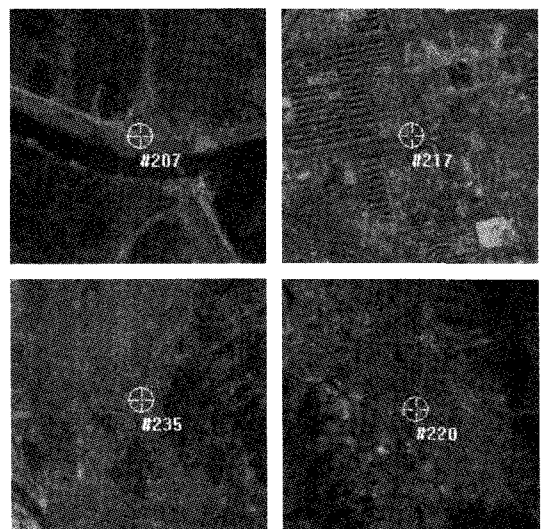


그림 5. 영상매칭에 의해 계산된 기준점의 위치

방사 및 기하학적으로 상당한 오차를 포함하고 있으며, 특히 계절 및 날씨 차이로 인해 발생하는 요인들(눈, 구름, 안개, 얼음 등)이 매칭오류를 발생시키는 주원인이 된다(그림 6). 그리고 촬영날짜의 차이가 클 경우 지형의 변화 또한 매칭오류의 한 원인이 될 수 있다. 본 논문에서는 이러한 요인으로 인해 발생하는 매칭 오류 점들을 검출하기 위해 3차원 모델링의 반복 적용 방법 및 보조점 매칭에 의한 방법을 제안하였다.

2.3.1 3차원 모델링에 의한 매칭 오류점 검출

상관매칭에 의한 지상기준점의 영상좌표 자동측정 후 측정된 영상좌표 및 지상좌표를 이용하여 광속조정(bundle adjustment)을 수행하고 모델링 결과를 분석하여 잔차가 3σ범위를 벗어나는 점들을 소거함으로써 매칭 오류점들을 검출하였으며, 여기서 3σ범위를 벗어나

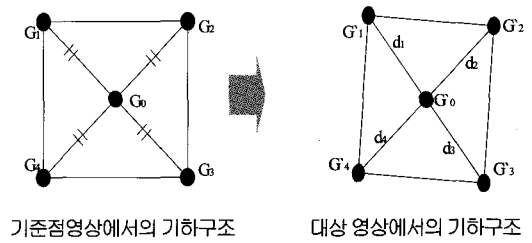


그림 7. 지상기준점과 보조점의 기하구조

는 점들을 과대 오차점이라 한다.

광속조정을 통한 과대오차점 소거 과정은 더 이상의 소거점이 발생하지 않을 때까지 반복 수행되며, 최종적으로 조정의 기준점으로 사용되었던 점들만 사용자에게 매칭 성공점으로 제공한다. 광속조정에 의한 매칭 오류점 검출은 다음과 같은 가정 하에 수행될 수 있다.

- 가정 1 : 정확히 관측된 영상좌표로 3차원 모델링을 수행할 경우 각 기준점에 대한 잔차(residual)는 정규분포를 따른다.
- 가정 2 : 계산된 영상좌표를 이용하여 3차원 모델링을 수행할 경우 매칭오류점에 대한 잔차는 정규분포를 벗어날 것이다($|r| > 2\sigma$ 또는 $|r| > 3\sigma$, r : residual).

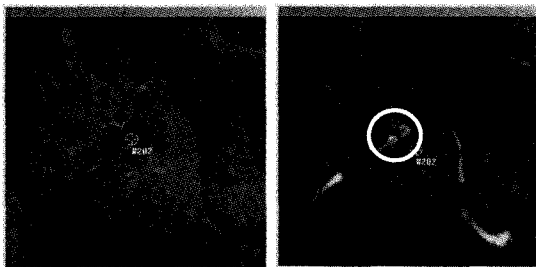
3차원모델링에 의한 매칭오류 점 검출은 다음과 같은 문제가 발생할 수 있다.

- 과대오차점의 수가 많을 경우 모델링이 불가능하다
- 과대오차점의 수가 많을 경우 과대오차점이 아닌 점이 검출되어 소거되는 오류를 발생시킬 수 있다.

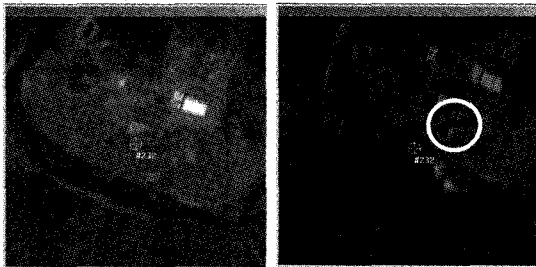
따라서, 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 그림 7에 나타나있는 바와 같이 보조점 매칭에 의한 매칭오류점 검출을 선행적으로 수행함으로써 위의 문제점들을 해결하고자 하였다.

2.3.2 보조점 매칭에 의한 매칭오류점 검출

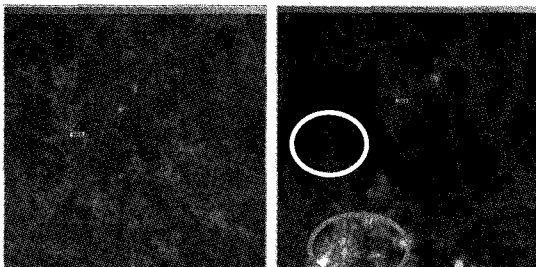
앞서 언급한 바와 같이 지상 기준점의 상좌표관측을 위한 매칭수행시 매칭정확도는 촬영조건(날씨, 계절등)에 따라 민감하게 반응을 하게 된다. 이러한 원인으로 인해 발생하는 매칭 오류점들을 검출하기 위한 방법으로 기준점 영상의 여러 점들을 이용하여 매칭을 수행하여 정합된 점들의 기하관계를 이용하는 방법을 설명한다. 이 방법은 구름이나 눈, 얼음등에 의해 국부적으로 방사적 특성이 왜곡되었을 경우 기준점 위치 주변의 점들을 이



(가) 결빙지역에 의한 매칭오류 발생



(나) 구름에 의한 매칭오류 발생



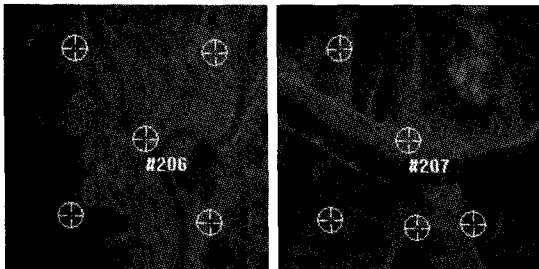
(다) 구름의 그림자에 의한 매칭오류발생

그림 6. 매칭 오류 발생지역의 예

용하여 매칭을 수행한 후 기준점의 영상좌표와 주변의 매칭된 점들간의 기하적인 관계를 고려하여 매칭 오류점 여부를 검출하는 방법이다. 그림 7의 왼쪽 그림은 기준점영상에서의 다중점에 대한 기하구조이며, 오른쪽 그림은 대상영상에서의 유지되어야 하는 다중점에 대한 기하구조를 나타낸다.

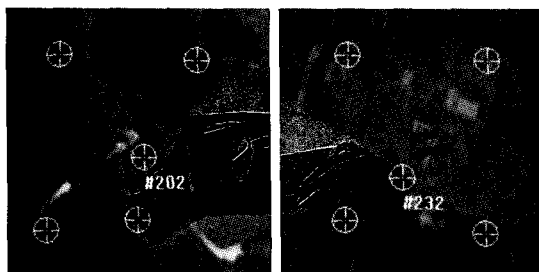
정합된 점들을 이용하여 매칭 오류점을 검출하기 위한 방법은 다음과 같은 단계로 수행된다.

단계1: 지상기준점의 영상좌표에 대한 대상영상에서의 기준점 G_0 로부터 주변 정합점 G_1, G_2, G_3, G_4 간의 거리 d_1, d_2, d_3, d_4 를 계산한다.



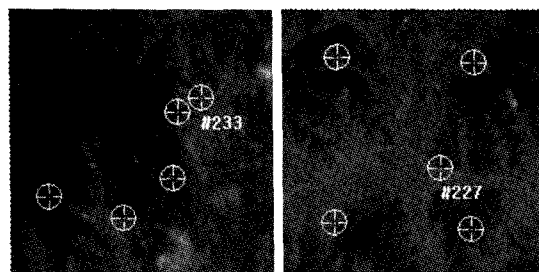
(가)

(나)



(다)

(라)



(마)

(바)

그림 8. 보조점 매칭에 의한 매칭 오류점 검출 예
(가)(나): 매칭이 성공한 경우,
(다)(라)(마)(바): 매칭이 실패한 경우

단계2: 지상기준점의 영상좌표에 대한 거리 d_1, d_2, d_3, d_4 와 거리들의 평균과의 오차가 임계치 (ΔD) 보다 작은 주변 점들을 검출한다.

단계3: 검출된 주변위치의 점이 2개 이상인 경우 그 점들을 이용하여 새로운 기준점에 대한 영상좌표 G'_{img} 를 계산 한다.

단계4: 계산된 G'_{img} 와 G'_0 와 차이가 임계치 (ΔD) 보다 클 때 매칭 오류점으로 간주한다.

위에서 G'_{img} 는 정합된 보조점들을 이용하여 새로 계산된 기준점의 위치이며 G'_0 는 영상매칭에 의해 계산된 기준점이다. 위 수행과정은 한 개의 기준점에 대한 검출을 수행하기 위한 과정을 나타내었으며, 위 단계를 반복 수행함으로써 모든 기준점에 대해 매칭오류여부를 판단할 수 있다. 각 기준점에 대한 매칭오류 검출작업이 끝나면 매칭성공점에 대한 목록을 생성한다. 생성된 목록은 3차원 모델링에 의한 매칭오류점 검출과정에서 초기 데이터로 활용된다.

그림 8은 상관매칭 후 매칭 성공한 점과 실패한 점을 검출한 결과 예를 보여준다. (가),(나)는 매칭 성공한 경우이며, (다),(라),(마),(바)는 매칭오류인 경우이다.

2.3.3 ΔD 값 결정

보조점에 대한 매칭 여부를 판단하기 위한 ΔD 는 영상 왜곡의 주된 요소인 위성 촬영각도에 따른 영상픽셀크기 변화에 의해 유도된다.

그림 9는 SPOT 위성의 경사 촬영시 발생하는 영상픽셀크기의 변화에 대한 현상을 그림으로 나타낸 것이며,

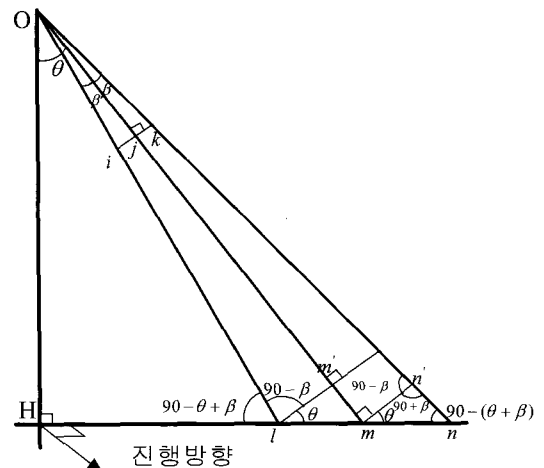


그림 9. 경사촬영시 영상 픽셀 크기 왜곡 현상

이 그림에 의해 ΔD 값을 도출할 수 있는 식 (3)을 얻을 수 있다.

- θ : Side Looking Angle $\angle HOj$
- β : 렌즈시야각 $\angle iOj$
- $H = \overline{OH}$: 위성 고도
- $f = \overline{Oj}$: 센서의 촛점거리
- Δr : CCD의 크기 또는 \bar{ij}
- ΔR : Δr 에 해당하는 지상에서의 거리 \bar{ij}

$$\Delta R(\text{지상거리}) \cong \frac{H}{f} \Delta r \frac{\cos \beta}{\cos \theta \cos(\theta \pm \beta)} \quad (3)$$

위식에서 ΔR 은 렌즈시야각(FOV) β , 경사촬영각 θ , 고도 H , 촛점거리 f 일때의 영상에서의 1픽셀에 대한 지상거리를 나타낸다. 본 논문에서는 ΔD 를 결정하기 위해 기준점 영상과 대상영상간의 촬영각도차이에 따른 영상픽셀 변화정도를 계산하였다. 위 식에서, 기준점 영상에 대한 대상영상의 픽셀크기 변화를 계산해야 하므로 θ 는 두 영상의 촬영각도 차이이며, H, f, β 는 각각 위성 고도, 초점거리, 렌즈 시야 각으로서 두 영상이 동일한 것으로 가정하였다.

2.3.4 매칭 오류점 검출 결과 예

보조점 매칭에 의한 검출결과를 표 1에서 볼 수 있다. 'O' 표시는 검출 성공한 점들이며, 'X' 표시는 실패한 점들이다. 표 1에서 'X오차' 및 'Y오차'는 영상에서 기준점을 수작업에 의해 측정된 결과와 상관매칭에 의해 계산된 좌표와의 차이 값을 나타낸다.

표 1. 보조점 매칭에 의한 매칭오류점 검출결과

GCP ID	X 오차	Y 오차	매칭상관 계수	검출결과	GCP ID	X 오차	Y 오차	매칭상관 계수	검출결과
201	6.071	-0.300	0.618	X	219	-0.474	-0.310	0.898	
202	-11.064	9.002	0.842	O	220	-0.112	0.185	0.667	
203	-0.242	0.376	0.777		221	0.059	-0.219	0.909	
204	0.271	-0.184	0.875		222	0.205	0.023	0.867	
205	2.309	2.524	0.825	X	223	0.004	0.032	0.802	
206	-0.179	-0.205	0.896		224	-2.571	-4.764	0.476	O
207	-0.015	0.103	0.789		225	97.149	-123.955	0.577	O
208	0.996	0.144	0.775		226	-0.052	0.020	0.785	
209	1.234	9.880	0.637	O	227	-20.125	16.241	0.675	O
210	-0.162	-0.097	0.931		228	-0.230	0.060	0.670	
211	0.032	0.080	0.923		229	6.313	5.438	0.791	O
212	0.120	0.044	0.877		230	-0.323	-0.078	0.780	
213	-0.118	-0.166	0.869		231	-0.011	0.091	0.917	
214	0.000	-0.125	0.686		232	22.500	25.070	0.346	O
215	0.109	-0.248	0.832		233	-61.393	-115.459	0.438	O
216	-0.352	1.158	0.882		234	-0.247	0.012	0.784	
217	-0.392	-0.247	0.803		235	0.135	0.228	0.655	
218	-50.253	-45.570	0.569	O					

그림 10, 11, 12는 보조점 매칭에 의한 매칭 오류점 검출작업 후 검출된 점들을 제외한 나머지 점들에 대해 광속조정을 이용하여 매칭 오류점들이 검출되는 과정을 보여주고 있다.

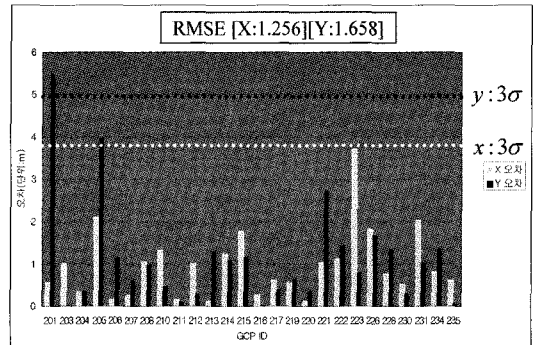


그림 10. 광속조정 1회 반복

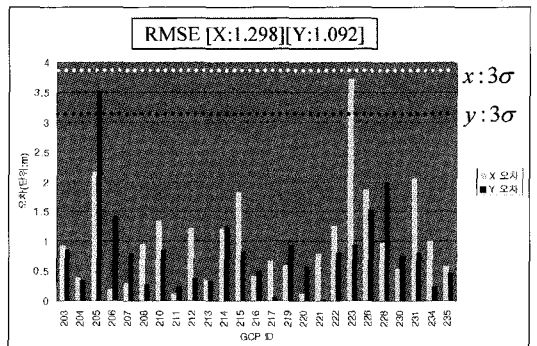


그림 11. 광속조정 2회 반복

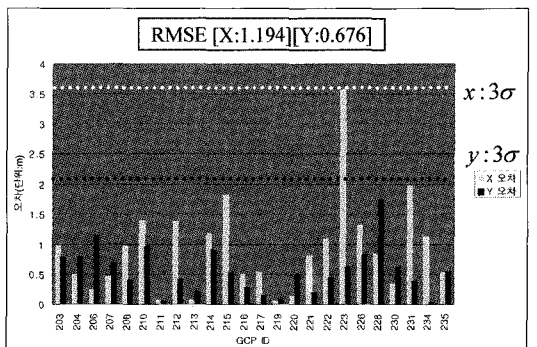


그림 12. 광속 조정 3회 반복

3. 실험 및 평가

3.1 실험 대상 영상

3.1.1 SPOT 영상

실험에 사용한 SPOT 위성영상으로는 SPOT GRS K305-J277 지역과 K300-J271 지역의 영상을 이용하였다. 표 2는 기준영상의 특성을 보여주며, 기준영상이란 기준점 DB제작시 기준점 영상패치를 추출하는데 사용되었던 영상을 말한다. 표 3은 실험대상영상으로 대상영상1과 대상영상2는 기준영상1과 같은 지역이고 대상영상3은 기준영상2와 같은 지역이다. 각 실험대상영상은 기준영상과 촬영일, 계절, 경사각 등의 주요특성에서 다양한 차이가 발생하도록 선택하였다.

표 2. 기준영상

	기준영상1	기준영상2
SPOT GRS No.	K305-J277	K300-J271
영상촬영일자	1995.4.5	1997.9.8
전치리수준	1A	1A
촬영경사각	R8.6	L1.6

표 3. 실험 대상영상

		대상영상1	대상영상2	대상영상3
SPOT GRS No.		K305-J277	K305-J277	K300-J271
영상촬영일자		1995.4.4	1995.1.28	1996.9.21
촬영경사각		L22.7	R26.9	R3.9
기준영상과의 비교	촬영일	1일	3개월	1년
	계절	같음	다름	같음
	경사각	약 30° 차이	약 15° 차이	약 5° 차이

3.1.2 지상기준점 패치 영상

지상기준점 패치영상은 수직영상 K305-J277 지역의 1995년 4월 5일에 촬영한 기준영상, K300-J271 지역에서는 1997년 9월 8일에 촬영한 기준영상에서 각각 추출되었으며, 각 기준 영상과 동일한 기하 및 방사 값을 갖는다. 실험을 위해 크기가 256*256 픽셀인 35개 및 25개의 기준점 패치영상을 이용하였으며, 기준점 패치영상 내에서의 위치는 1/32픽셀의 정밀도를 갖는다. 그림 13은 기준점 영상에 대한 예를 보여주고 있다

3.2 실험 결과 분석

지상기준점의 상좌표 자동관측 실험을 위해 동일한 영상에 대해 8배 확대영상(정밀도 0.125 픽셀)에서 수동으

로 1회 관측한 상좌표값을 기준좌표로 가정하여 자동상관 매칭에 의해 계산된 값의 차이를 비교하고, 매칭 오류점 검출 결과를 비교 분석하였다. K305-J277 지역에 대한 지상기준점의 수는 35개이며, K300-J271 지역은 25개의 기준점에 대해 실험하였다. 실험결과 분석시 매칭 오류점은 수동관측된 좌표와 1픽셀이상의 차이가 나는 경우로 정의하였다.

3.2.1 매칭오류 자동검출 실험결과

표 4는 3개의 대상영상에 대한 실험결과를 보여준다. 대상영상1은 기준패치영상과 촬영경사각의 차이가 크고 촬영일자 차이는 거의 없는 영상으로 100%의 매칭성공율을 보이고 있다. 실제 매칭오류 자동검출 과정에서도 검출된 오류점이 없었다.

대상영상2는 기준영상과 계절이 다른 경우로 35점 중

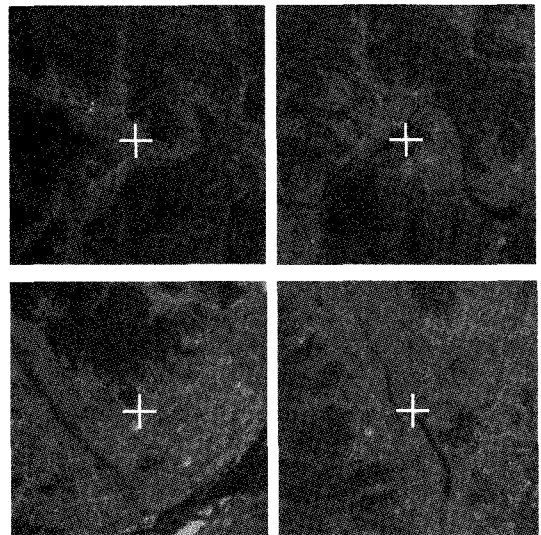


그림 13. 실험에 사용한 기준점 패치 영상의 예 (실제 패치영상에 '+' 자 마크는 없으며, 여기서는 수치로 저장된 영상좌표를 표시한 것이다.)

표 4. 매칭오류 자동검출 결과

	대상영상1	대상영상2	대상영상3
총 기준점수	35	35	25
자동관측 성공점	35	24	20
매칭오류점	0	11	5
매칭성공율	100%	68%	80%
자동검출된 매칭오류점	0	11	5
자동검출 성공율	100%	100%	100%

에서 24점이 매칭에 성공하였으며, 매칭오류 발생원인은 대부분 결빙지역과 구름 또는 구름의 그림자에 의해 가려진 경우였다. 대상영상2의 촬영시기가 겨울철이어서 수계부근의 기준점들은 결빙에 의한 영향을 많이 받았다.

대상영상3은 기준영상과 계절은 같으나 1년의 시간차이가 발생한 지역으로 방사특성이 변하거나 구름에 의한 영향을 받아 매칭이 성공하지 못하였다.

3가지 대상영상에 대하여 구름이나 안개에 의해 기준점 수동관측이 완전히 불가능한 경우는 없었다. <표 4>의 매칭오류점은 앞절에서 설명한 바와 같이 대상영상에서 자동관측된 영상좌표와 수동관측된 영상좌표의 거리가 1픽셀 이상인 기준점 수를 표시한 것이다. 본 논문에서 제시한 알고리즘을 적용한 결과 실험에 사용된 3개의 대상영상에서는 매칭오류점을 100% 검출하였다.

표 5는 매칭성공된 기준점의 관측정확도를 추정해보기 위하여 수동관측된 기준점과의 수평/수직방향의 좌표차이에 대한 RMSE를 비교한 것이다. 3개의 대상영상에 대하여 모두 0.5픽셀 이하의 작은 오차량을 보이고 있다.

표 5. 자동관측영상좌표와 수동관측영상좌표 차이값의 RMSE(단위: pixel)

	대상영상1	대상영상2	대상영상3
dX(수평방향)	0.22	0.26	0.14
dY(수직방향)	0.16	0.18	0.09

3.2.2 자동관측된 기준점 영상좌표 활용분석

자동관측된 기준점 영상좌표는 위성영상의 모델링, 지리부호화(georeferencing) 또는 영상정합(image registration) 등에 활용될 수 있는지를 확인하기 위하여, 각 대상영상에서 자동관측된 점을 기준점과 검사점으로 구분하여 엄밀센서 모델링을 수행하였다.

표 6은 3개의 대상영상에 대해 자동으로 관측된 점만을 이용하여 모델링을 수행했을 경우 결과이다. 기준점 및 검사점은 배치도를 고려하여 선정하였으며, 표에 나타난 RMSE는 검사점에 대한 RMSE이다. 실험 결과에

표 6. 대상영상에 대한 모델링 결과(단위:m)

	기준점수	검사점수	검사점의 RMSE	
			dW	dN
대상영상1	16	16	7.2	6.6
대상영상2	13	10	6.2	5.0
대상영상3	12	8	6.5	8.9

의하면 자동관측에 의해 획득한 영상좌표를 이용하여 모델링을 수행하더라도 모델링 정확도측면에서 사용자 요구정확도를 만족시켜줄 수 있음을 알 수 있으며, 이것은 SPOT 영상 모델링 작업시 영상좌표 자동관측의 자동화가 가능함을 보여주는 것이다.

4. 결 론

지상기준점 DB개발과정에서 생산된 기준점 영상 및 위치정보를 이용하여 모델링 대상영상에서의 지상기준점에 대한 영상좌표를 자동관측할 수 있는 기법을 개발하였고,

1. 반복적 모델링 및 보조점 매칭을 이용한 매칭오류점 검출 기법을 제안하였다.
2. 수작업에 의해 관측된 지상기준점에 대한 상좌표와 자동 계산된 상좌표 결과를 비교 분석하여 측정 정밀도를 분석 및 평가하였으며,
3. SPOT 위성영상 3차원 모델링에 적용하여 모델링 정확도를 분석한 결과 영상의 화질이 양호하고, 구름 및 눈, 그리고 얼음으로 인해 방사적 특성을 변형시키는 정도가 심하지 않을 경우 모델링 작업과정에 필요한 지상 기준점에 대한 상좌표를 자동 관측하여 제공할 수 있으며,
4. 영상화질이 좋지 않거나 지형의 변화가 심하여 매칭 오류 점들이 많이 발생할 경우에는 매칭 오류점 검출 과정을 통하여 검출된 매칭오류점들을 제외한 점들을 이용하여 외부표정요소를 계산하여 지상기준점에 대한 상좌표를 재계산하여 관측하고자 하는 위치에 근사한 위치값을 제공함으로써 기준점에 대한 상좌표 관측작업을 효율적으로 수행할 수 있도록 하였다.

향후 연구과제로는, 다양한 환경(계절별, 날씨별 등)에서 촬영한 여러 개의 기준점 영상을 생성, 또는 매칭시 방사적 특성뿐만 아니라 기하적 특성까지 고려한 매칭 방법 등을 통하여 모델링 대상영상에 대한 매칭 성공률을 최대한 높일 수 있는 방법의 연구가 필요하다.

또한, 기준점 영상 DB와 효율적으로 연동하여 대량의 모델링 작업을 최적화할 수 있도록 하는 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 조봉환, 방수남, "지형식별정보를 이용한 입체위성영상 매칭", 한국지형공간정보학회 논문집, 제4권, 제1

- 호, 1996.
2. 조봉환, 이용웅, 신대식, "SPOT 3중 입체위성영상을 이용한 수치표고모형의 정확도 개선", 한국지형공간정보학회 논문집, 제3권, 제1호, 1995, pp. 55-66.
 3. 유복모 외 9인, "위성영상을 이용한 3차원 정사투영영상 생성법에 관한 연구", 국방과학연구소(ATRC-417-93776), 1994.
 4. 오미경외 1인, "오라클8i 기반 위성사진 지상기준점 데이터베이스 시스템 개발", 국방과학연구소(TEDC-409-020061), 2002.
 5. G.P. Otto, "Rectification of SPOT Data for Stereo Image Matching", ISPRS 13. Keith 14. G. P. Otto, "Rectification of SPOT Data for Stereo Image Matching," International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 27, Part B3, pp. 635-645
 6. Lemmens, M.J., "A Survey on Stereo Matching Techniques," International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Commission V, vol. 27, 1988, pp. 11-23.
 7. G. P. Otto, "Rectification of SPOT Data for Stereo Image Matching," International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 27, Part B3, pp. 635-645
- (접수일 2003. 5. 23, 심사 완료일 2003. 6. 17)

