

## DEM 제작을 위한 Adaptive Stereo Matching에 관한 연구

김정기 · 김정호 · 엄기문 · 이쾌희  
서강대학교 전자공학과  
(1992년 5월 10일 받음 ; 1992년 5월 20일 수리)

### A Study on Adaptive Stereo Matching for DEM Generation

Jeong-Kee Kim, Jung-Ho Kim, Gi-Mun Um and Kwae-Hi Lee  
Dept. of E. E., Sogang Univ.  
(Received May 10, 1992 ; Accepted May 20, 1992)

#### Abstract

This paper describes an implementation of adaptive stereo matching for DEM generation. The matching method of two stereo satellite images to find corresponding points used in this paper is area-based matching, which is usually used in the field of making DEM. Same window size and search area used as in the conventional matching methods and we propose adaptive stereo matching algorithm in this paper. We cluster three areas which are consist of mountainous areas, cultivated areas and cities, and rivers and lakes by using proposed linear feature extracting method. These classified areas are matched by adaptive window size and search area, but rivers and lakes is excluded in this experiment. The matching time is three times faster than conventional methods.

#### I. 서론

1950년대 후반에 반자동식 방공시스템(SAGE : Semi Automatic Ground Environment)을 계획하면서, 컴퓨터로 처리할 수 있는 수치화된 지도의 필요성이 제기된 이후 컴퓨터를 이용하

여 지도를 제작하고자 하는 연구가 활발히 전개되었다. 컴퓨터를 이용하여 만든 지도에는 수치지형 모델(DTM : Digital Terrain Model)이 있으며, 이는 지형특성의 공간적 분포를 수치적으로 표현한 것으로 컴퓨터를 이용한 여러 가지의 응용에 적합한 장점이 있다. 여기에서 사용되는 지형의 특성은 표고를 주로 사용하지만 표고 이외에도 토지의 가격, 소유주, 토질, 토지이용 등을 포함하여 사용되기도 한다. 이 중에서 표고를 지형특성으로 사용하는 경우를 수치지형표고 모델(DEM : Digital Elevation Model)이라 하며, 이는 평균 해수면으로부터 지표면까지의 높이 정보를 갖고 있는 2차원 배열의 형태로써 gridded DEM과 feature DEM으로 구분된다. gridded DEM은 2차원 평면에서 일정한 간격으로 표고를 기록한 것이며 feature DEM은 도로, 강, 계곡 등과 같은 특징적인 지형의 경계를 따라 불규칙하게 표고를 기록한 것이다(Swann. R., et al., 1988).

수치지형표고 모델은 도시계획, 도로건설계획, 수해지역예측 등의 많은 분야에 활용되고 있으므로 여러 분야에서 수치지형표고 모델의 제작이 요구되고 있는 실정이며, 이를 제작하는 방법으로 기존의 지도를 스캐너로 디지털이징(digitizing)하여 얻는 방법과 항공사진측량에 의한 방법, 인공위성 영상을 이용하는 방법으로 구분할 수 있다.

기존의 지도를 이용하는 방법은 스캐닝과 디지털이징에서 유발되는 오차와 지도 자체의 오차가 누적될 수 있고 많은 비용과 시간을 투자하여야 함은 물론 지형의 변화 등에 대처하기 어려운 단점이 있다.

항공사진 측량에 의한 방법은 해석도화기를 사용하여 지도를 만들면서 수치지형표고 모델을 함께 만드는 것으로 정확하고 효과적이지만, 항공사진에 의존하므로 항공사진을 촬영가능한 지역에 대해서만 얻을 수 있으며 한 장의 사진이 포함하는 영역이 좁아 넓은 지역에 대한 수치지형표고 모델을 만들기가 어렵다.

인공위성영상을 이용한 방법은 프랑스의 SPOT(Satellite Probatoire d'Observation de la Terre) 위성이 발사되어 본격적으로 연구되기 시작하였다. 이는 미국의 LANDSAT(LAND SATellite) 위성과는 달리 경사관측이 가능하여 지형의 표고를 추출하는 데 필요한 영상을 제공할 수 있을 뿐 아니라 지상의 해상력도 10m로 향상되어 이를 이용한 수치지형표고 모델을 만들기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 SPOT 위성영상을 사용한 gridded DEM 제작을 위하여 모든 영역에 동일한 방법으로 전체의 영상에서 동일점을 찾는 기존의 방법을 강과 산악지역, 농경지역으로 영상을 분할하여 각각의 지역에 적응적으로 대응되는 점을 찾는 adaptive stereo matching 방법을 제안하여 유용성을 보였다.

## II. SPOT 영상

제공되는 SPOT의 CCT(Computer Compatible Tape) 자료는 LGSOWG(LANDSAT Ground Station Operators Working Group)에 의해 정의된 standard format family에 적합하도록 되어 있다(Swain. P. H. and Davis. S. H., 1978). 1장의 SPOT 위성영상은 흑백영상의 경우 6,000개의 linear CCD(Charge Coupled Device) array를 사용하여 push-broom 방식으로 취득하므로 6,000line $\times$ 6,000화소로 구성된다. 지상에서 수신된 영상 데이터는 6,000개의 CCD array에 의해 취득되므로 각 CCD간의 미세한 감도차에 의한 왜곡이 있을 수 있으며 이런 왜곡을 보정하는 것을 방사보정(radiometric correction)이라 한다. 또한 영상 데이터는 취득 당시의 지구자전, 위성의 흔들림 등으로 인한 왜곡이 발생하며 이를 보정하는 것을 기하보정(geometric correction)이라 한다. 영상 데이터를 사용자에게 배포에 앞서 위와 같은 방사보정과 기하보정의 수행을 전처리라고 하며, 전처리의 수준에 따라 영상 자료는 Level 1A, 1B, 2A, 2B, S 등의 여러 단계로 구분되며, 본 연구에서 사용한 Level 1A 영상 데이터는 CCD detector간의 감도차를 보정하는 CCD detector 정규화를 수행하여 복사량 보정을 수행하고, 기하학적인 보정은 수행하지 않으며 주로 기초방사연구, 지도제작에 관련된 연구에 사용되며 영상은 관측각도에 무관하게 6,000line $\times$ 6,000화소(흑백영상), 또는 3,000line $\times$ 3,000화소(다중분광영상)로 구성되어 있으며, 본 연구에서는 흑백영상을 사용하였다.

## III. Stereo Matching

서로 다른 지점에서 촬영한 두 장의 위성영상으로부터 지상의 한 점이 각각의 위성영상에 맺힌 동일점을 찾는 단계가 stereo matching이다. Computer vision, machine vision, DEM 제작 분야에서는 이를 일치성 문제(correspondence problem)로 다루고 있다. Stereo matching은 DEM 제작의 여러 단계 중에 가장 많은 시간이 소요되며, 두 영상간의 동일점을 찾아 이로부터 시차(disparity)를 구하는 단계이다.

두 장의 위성영상으로부터 물체의 표고를 계산하기 위하여 양쪽 위성영상에 각각 달리 맺힌 동일점을 찾는 방법으로 feature-based matching방법과 area-based matching방법이 주로 사용된다.

Feature-based matching방법은 양쪽영상에서 특징을 추출한 뒤 이들을 서로 matching하고 특징점과 특징점 사이의 화소들은 내삽(interpolation)을 한다.

Area-based matching방법은 각각의 화소에 대응하는 화소를 상대영상에서 matching하는

것으로, 좌측영상의 화소에 대해 주변의 기준영역과 우측영상의 matching 예상화소 주변의 영역을 설정하여 두 영역의 화소값들에 대한 통계값을 비교하여 최적의 대응점을 찾는 방법이다.

### 1. 기존의 stereo matching방법

두 장의 SPOT 위성영상으로부터 DEM을 얻기 위한 중간단계인 stereo matching은 한쪽 영상의 각 화소들이 다른쪽 영상의 화소들의 좌표로 대응되는 관계를 찾는 방법으로 feature-based matching방법과 area-based matching방법이 있다.

#### 가. Feature-based matching

Feature-based matching은 영상의 화소값을 이용하지 않고 영상으로부터 추출된 특징을 사용하는 matching방법으로 영상의 화소값이나 광원의 영향을 받지 않는 장점이 있다. 일반적으로 사용되는 특징으로는 edge 또는 edge 선분들이며, 이것들의 위치는 한 화소 미만(subpixel)의 정밀도를 가질 수 있다. 특징들만 matching하므로 robot vision에 사용되는 실험에서 많이 사용되는 방법으로, 특징이 영상 전체에 고루 분포되어 있지 않은 경우에는 matching의 정확도가 저하되며 특징추출이 어려운 영상에서는 사용하기 어려운 단점이 있고 처리시간이 짧은 장점이 있다. 대표적인 알고리즘은 Marr와 Poggio의 알고리즘으로, 양쪽 영상을 DoG(Difference of Gaussian) mask로 filtering한 다음 filtering된 영상에서 zero crossing point들을 찾고 각 mask size에 대해 zero crossing segment들의 부호와 방향정보를 이용하여 matching한다. 이 때 모호한 점은 주변의 지차 정보를 이용하여 수정하며, mask size를 줄여가면서 matching을 수행하는 방법이다. Grimson 알고리즘은 LoG(Laplacian of Gaussian) 함수를 사용하여 특징을 추출한 다음 큰 size의 filter로 filtering된 영상부터 작은 size로 filtering된 영상까지 반복 수행하여 zero crossing point가 부호가 같고 방향이 30도 이내이면 matching된 것으로 하는 방법이다. 이외에도 Ayache-Faverjon(1987)의 segment-based matching algorithm 등이 있으며, stochastic approach에는 simulated annealing 방법과 regularization criterion의 최소화 방법 등이 있다.

#### 나. Area-based matching

영상의 한 점에 대한 이웃 화소들은 공간상에서 인접한 지역을 표현하므로 그 점의 대응점을 찾기 위해 주변 화소들을 고려하여 다른 영상에서의 한 점에 대한 주변 화소들간의 비교를 통해 가장 비슷한 부분을 선정하는 방법이다. 이 때 similarity는 두 대응점 사이의 유사도를 표현하는 함수이며 보통 상관관계수가 사용된다. 좌측영상의 한 화소를 중심으로 임의의 크기를 갖는 reference window를 설정하고 이에 대응하는 우측영상에 동일한 크기의 target window를 사용하여 우측영상의 전체를 탐색하면서 유사도를 조사하여 가장 큰 유사도를 갖

는 점을 대응점으로 선택하는 방법이다. 이 때 영상 전체를 탐색하는 것은 처리시간이 많이 걸리므로 어느 정도의 탐색영역을 설정하여 탐색을 수행한다. 또한, matching에 사용되는 window의 모양은 구현이 용이한 일정한 크기의 사각형이 주로 사용된다.

Area-based matching방법은 화소의 gray level을 사용하므로 illumination과 contrast의 변화와 영상 취득시의 회전, scaling과 같은 imaging geometry에 의한 영상의 왜곡 등에 약한 단점이 있으며, 이런 imaging geometry에 의한 왜곡현상에 따른 취약점을 개선하기 위한 방법으로 hierarchical image warping 알고리즘(Quan, L. H., 1987)이 발표되었다.

Area-based matching방법은 영상의 특징이 없는 영상에서도 matching을 수행하므로 feature-based matching방법처럼 특징이 없는 지역에 대하여 내삽을 수행하지 않기 때문에 대상 물체의 정밀한 복원이 가능한 장점이 있다. 이런 장점 때문에 항공영상이나 위성영상을 이용한 DEM 제작분야에서는 대부분 area-based matching방법이 사용된다(Day, T. and Muller, J. P., 1988, Mukai, Y. and Sugimura T., 1990).

SPOT 영상을 이용하고 area-based matching방법을 사용한 DEM 제작에 사용된 window size를 조사하면 Susumu 등은  $31 \times 31$ 의 window size를 사용하여 DEM을 제작하였으며 Norvelle(1992)은  $15 \times 15$ 의 window size를 사용하였으며, Allam(1978)은 window size를  $24 \times 24$ ,  $32 \times 32$ ,  $40 \times 40$ 의 세 가지로 적용하여 결과를 비교하고 있으며, Brokelbank(1991)는  $19 \times 19$ 와  $9 \times 9$ 의 두 가지 window를 사용하여 2단계의 matching을 시도하였으며, Day 등(1989)은  $21 \times 21$ ,  $9 \times 9$  두 가지의 window를 사용하여 matching효과를 비교하였고 Mukai 등(1991)은  $31 \times 15$ 의 window를 사용하여 matching을 수행하였으며, Chen 등은  $7 \times 7$ 을 사용하였고, Fukushima는  $9 \times 9$ 를 사용하였다. Brokelbank는  $19 \times 19$ 와  $9 \times 9$ 의 window size를 갖는 두 가지의 window를 사용하였으며, 또한 Norvell은  $15 \times 15$ 와  $9 \times 9$ 의 두 가지 window size를 사용하여 여러 단계의 matching을 사용하는 등 최근에는 두 가지 이상의 window size를 사용한 matching방법이 제안되어 matching의 효과를 높이고 있는 실정이다.

국내에서 SPOT 영상을 이용한 DEM 제작 연구에서 matching에 사용된 window size를 검토하면 강치우(1991)는  $21 \times 21$ 을 사용하였고, 박병욱(1991)은  $13 \times 13$ 의 window size를 사용하여 matching을 수행 도중 계산된 상관계수가 임계값보다 작아 matching이 안될 경우 window size를 두 배로 확장하여 matching을 수행하는 방법을 사용하였다.

같은 SPOT 영상을 이용한 여러 연구에서 각기 다른 window size를 선정한 것은 각기 다른 지역의 영상 데이터를 사용함으로써 동일한 SPOT 영상임에도 서로 다른 지형특성으로 각기 다른 window size를 사용한 것으로 추정되며, window size는 영상이 포함하고 있는 지형의 특성에 따라 적절히 변형되어야 함을 시사해 주고 있다.

## 2. Adaptive Stereo Matching

### 가. 선형특징을 이용한 clustering

본 연구에서는 먼저 영상의 선형특징을 추출하여 전체의 영상을 선형특징으로 구성된 작은 영역으로 나누고, 작은 영역 내의 화소들이 갖는 통계적 특성을 각각의 영역에서 추출한 표본들의 통계적 특성과 비교하여 가장 비슷한 영역으로 분류하는 방법을 사용하였다.

선형특징의 추출(김정기 외 1989)은 네 방향을 나타내는 4개의 3×3의 window를 각각의 화소에 convolution하여 각각의 화소를 방향과 크기를 가진 벡터로 구성을 한다. 이 때 사용된 window가 그림 1이다.

<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 40px; height: 40px;"> <tr><td style="padding: 2px;">-1</td><td style="padding: 2px;">-1</td><td style="padding: 2px;">-1</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">2</td><td style="padding: 2px;">2</td><td style="padding: 2px;">2</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">-1</td><td style="padding: 2px;">-1</td><td style="padding: 2px;">-1</td></tr> </table>	-1	-1	-1	2	2	2	-1	-1	-1	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 40px; height: 40px;"> <tr><td style="padding: 2px;">-1</td><td style="padding: 2px;">-1</td><td style="padding: 2px;">2</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">-1</td><td style="padding: 2px;">2</td><td style="padding: 2px;">-1</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">2</td><td style="padding: 2px;">-1</td><td style="padding: 2px;">-1</td></tr> </table>	-1	-1	2	-1	2	-1	2	-1	-1	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 40px; height: 40px;"> <tr><td style="padding: 2px;">-1</td><td style="padding: 2px;">2</td><td style="padding: 2px;">-1</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">-1</td><td style="padding: 2px;">2</td><td style="padding: 2px;">-1</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">-1</td><td style="padding: 2px;">2</td><td style="padding: 2px;">-1</td></tr> </table>	-1	2	-1	-1	2	-1	-1	2	-1	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 40px; height: 40px;"> <tr><td style="padding: 2px;">2</td><td style="padding: 2px;">-1</td><td style="padding: 2px;">-1</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">-1</td><td style="padding: 2px;">2</td><td style="padding: 2px;">-1</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">-1</td><td style="padding: 2px;">-1</td><td style="padding: 2px;">2</td></tr> </table>	2	-1	-1	-1	2	-1	-1	-1	2
-1	-1	-1																																					
2	2	2																																					
-1	-1	-1																																					
-1	-1	2																																					
-1	2	-1																																					
2	-1	-1																																					
-1	2	-1																																					
-1	2	-1																																					
-1	2	-1																																					
2	-1	-1																																					
-1	2	-1																																					
-1	-1	2																																					
<방향코드 : 1>	<방향코드 : 2>	<방향코드 : 3>	<방향코드 : 4>																																				

그림 1. 사용된 window와 방향코드.

각각의 화소는 화소값, 방향, 크기로 구성된 벡터가 되며 먼저 크기가 임계값 이상되는 화소를 선택하여 이들의 방향을 조사한다. 주위의 방향들이 중심화소의 방향과 같거나 차이가 45° 이내인 화소를 추적하는 방법을 반복하여 수행하면 선형특징이 추출된다.

전 단계에서 추출된 선형특징을 추적하여 임계값 이내의 잡음성분을 제거하면 선형특징만으로 구성된 영상이 된다. 추출된 선형특징을 추적하여 끊어진 선형특징을 연결하는 과정을 수행한다. 즉, 선형특징을 추적하여 끝점에 다다르면 끝점의 방향벡터와 45° 이내의 가장 가까운 선형특징과 연결을 수행하는 것이다. 이렇게 하면 모든 영상이 여러 개의 폐곡선으로 구성된다.

폐곡선으로 구성된 작은 영역을 원래의 영상에서 산악, 도시지역과 농경지, 강과 호수의 영역에 해당하는 지역의 표본들과 비교를 하여 가장 가까운 지역으로 구분하는 방법을 사용하였다. 이 때 사용된 비교요소는 1, 2차 통계적 특성을 사용하였다. 비교를 수행하여 영역을 구분할 때 우선순위를 배정하였다. 우선순위는 matching에서 사용되는 matching step에 일치시켰다. 즉, 산악을 제1우선순위로 배정을 하고 농경지와 도시지역을 제2우선순위, 강과 호수지역을 제3우선순위로 배정을 하였다. 이렇게 하여 임의의 화소가 산악으로 분류도 가능하고 농경지로도 분류가 가능할 때는 산악으로 분류를 하고, 농경지와 강으로 구분이 가능할 때는 농경지로 구분을 행하였다. 우선순위를 두고 구분한 것은 불확실한 지역에 대해서 가능하면 자세하게 matching을 수행하기 위해서이다.

#### 나. window size와 window shape

Clustering된 각각의 영역 중에서 matching을 수행하는 지역은 강과 호수지역은 제외되고 산악과 농경지 및 도심지역이다. 그러므로 matching이 수행되는 지역에 대해 적응적으로 matching을 수행하기 위해 각각의 영역에 최적의 window 크기를 찾는 단계이다. 분류된 각각의 영역에서 200점씩 선정하여 window의 크기를 변화시키면서 상관계수의 변화를 조사하였다. 이렇게 조사된 window의 크기를 검토한 결과 산악지역에서는  $19 \times 19$ 의 window가 가장 좋은 결과를 보였으며 농경지와 도시지역에서는  $21 \times 21$ 의 window가 가장 좋은 결과를 보였다. 그러므로 산악지역에서는  $19 \times 19$ 의 window를 사용하고, 농경지 및 도시지역에서는  $21 \times 21$ 의 window를 선택하였다.

Matching에 사용되는 window의 모양은 rectangular window와 warped window 형태로 나누어진다. 서로 다른 위치와 다른 각도로서 얻어진 stereo 영상은 취득 구조에 따라 다르게 왜곡이 되므로 영상 왜곡효과를 보상하는 방법으로 서로 다른 형태의 window를 사용하는 window warping method와 한쪽 영상을 다른쪽 영상에 맞게 교정하는 image warping method가 있다. Window warping방법과 image warping방법은 근본적으로 동일하나, 전자가 국부적 특성을 중시한다는 점과 후자가 전체적인 특성을 중시한다는 점에서 차이가 있다. 본 연구에서는 window warping방법이 image warping방법보다 구현하기 쉽고 성능은 비슷하므로, window warping방법을 사용하였다.

#### 다. 탐색영역

탐색영역과 수행시간은 상충관계이며, 기존의 탐색영역 결정방법은 실험에 의한 방법을 사용하고 있다. 본 연구에서는 지형의 특성을 고려한 탐색영역 결정방법을 사용하였다.

사람의 양쪽 눈을 사용하여 물체의 입체감을 느끼는 과정에서 3차원 정보 추출방법은 물체의 위치에 의하여 양쪽 눈에 맺힌 두 영상에서의 시차로부터 물체의 3차원 위치정보를 추출하는 것이다. 지형의 대략적인 높이의 범위를 안다면 양쪽의 영상에 나타나는 시차의 변이도 어느 정도의 범위에서 제한되는 점을 이용하여 지형의 표고를 고려한 적절한 탐색영역을 결정할 수 있다. 좌측 영상의 한 점에 대한 우측영상의 대응점은 epipolar line상에 존재하며, 만약 지형의 표고범위를 제한하면 epipolar line상에서 제한된 구간이 되며, 탐색영역의 결정은 이 구간을 구하는 것이다.

탐색영역의 결정을 위해 그림 2의 지형형태를 고려하면 왼쪽영상에서 한 점으로 맺힌 지형영상은 오른쪽 영상에서는 epipolar line상에 맺히게 된다. 여기에서 지형 높이의 범위를 알 수 있으면 왼쪽 영상의 한 점은 오른쪽 영상에서 epipolar line상의 한 구간에 존재하게 된다. 이 구간이 지상의 한 점이 왼쪽 영상에 맺힌 한 점을 찾기 위한 오른쪽 영상의 탐색영역이 된다. 그림 2로부터 지형형태에 따라 각기 다른 탐색영역이 계산되므로 지형형태에 따라 가

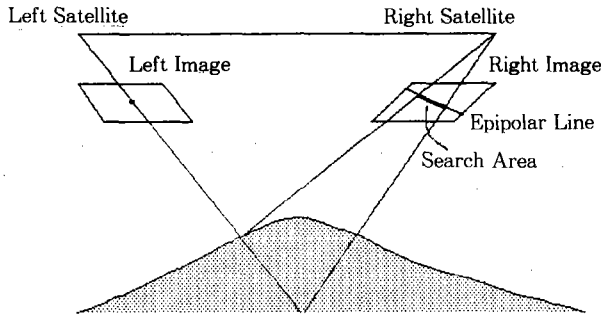


그림 2. 탐색영역.

변적인 탐색영역의 설정이 필요한 것을 알 수 있다.

각각의 탐색영역이 모든 점에서 계산되어야 하지만, 모든 점에 대해 탐색영역을 계산하는 것은 계산시간이 매우 많이 소모되므로 본 연구에서는 산악, 도심, 농경지, 강과 호수 등의 지형특성별로 영상을 나누었으므로 각 지역별로 적당한 탐색영역을 계산하는 방법을 제안하였다. 그림 3에서 사용된 SPOT 위성의 조건을 고려하여 탐색영역을 결정하였다. 예를 들어, 지형의 높이가 1,000m인 경우에 탐색영역은 59화소가 되며 지형의 높이가 200m인 경우는 12화소가 된다. 최종의 탐색영역은 계산된 각 지역별 탐색영역에 SPOT 위성의 모델링 오차를 더한 영역을 최종의 탐색영역으로 결정하였으며 그림 4에 표현하였다.

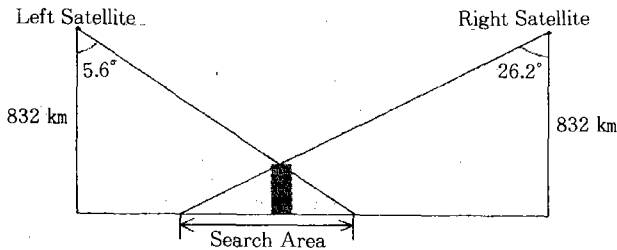


그림 3. 탐색영역의 결정.

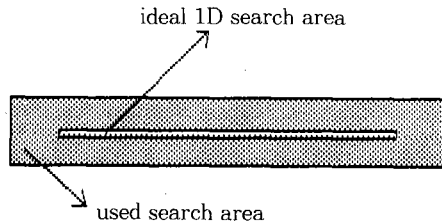


그림 4. SPOT 모델링 오차를 고려한 탐색영역.



#### IV. 실험 및 고찰

Gridded DEM 제작을 위한 adaptive stereo matching을 위해 SPOT 위성영상의 원래 지상 해상도 10m를 40m로 축소하여 전체 영상의 크기도 원래의  $6,000 \times 6,000$ 에서  $1,500 \times 1,500$ 의 크기로 축소하였다. 실험에 사용한 SPOT 위성영상의 중복도는 대략 90%이며 사용한 좌우측 위성영상은 그림 5이다. 영상의 좌측하단 지역이 논산이며 우측하단 지역이 금산과 이원이다. 영상의 중앙이 대전지역이며 좌측상단은 공주, 우측상단은 청주이며 중앙에 금강이 지나고 있으며 우측으로 대청댐으로 생긴 호수가 있다. 우측하단으로 대청댐과 연결된 낙동강의 일부가 포함된 충청남북도 지역이다.

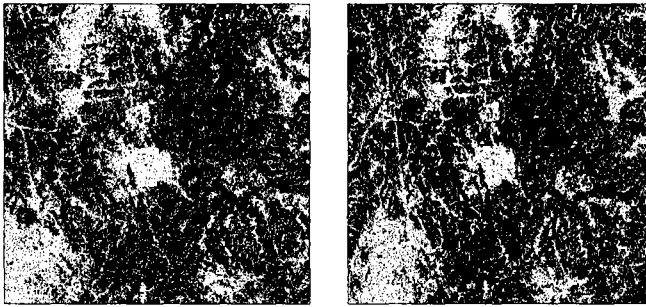


그림 5. 실험에 사용한 좌측 SPOT 위성영상, 우측 SPOT 위성영상.

##### 1. 영상 분류방법 실험결과

기존의 영상 분류방법 중에 K-means 알고리즘을 적용한 결과가 그림 6이고 ISODATA 알고리즘의 적용결과가 그림 7이며, 제안한 방법을 수행하기 위해 추출한 선형특징을 이용한 분류 영상이 그림 8이다. K-means 알고리즘의 결과는 산악과 농경지의 구별은 어느 정도 되지만 강과 호수의 일부가 산악과 농경지에 흡수된 결과를 보였다. ISODATA 알고리즘의 적용결과는 농경지의 일부가 산악에 포함되는 결과를 보였으며 K-means 알고리즘에 비하여 강과 호수지역을 잘 추출하는 것을 알 수 있다. 제안한 영상 분류방법 실험결과 선형특징을 기반으로 분류를 하였으므로 각각의 영역이 대부분 잘 구분되었으나 영역을 분류할 때 우선순위를 두고 분류하였으므로 강의 일부가 농경지나 산으로 흡수되었으며 농경지의 일부는 산악으로 흡수된 것을 알 수 있다.

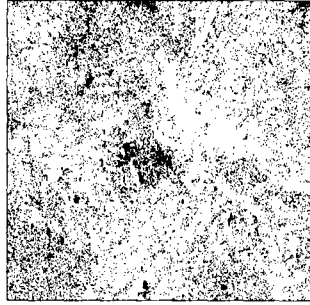


그림 6. K-means 알고리즘 결과.

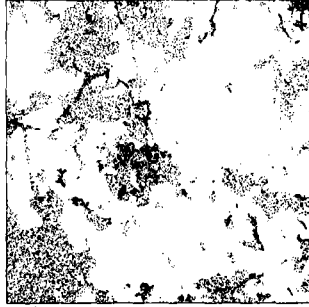


그림 7. ISODATA 알고리즘 결과.



그림 8. 제안한 방법의 결과.

## 2. Matching 실험결과

양쪽 영상에서 대응점을 찾기 위해 왼쪽영상을 reference image로 하였고 오른쪽영상을 target image로 선정하였다. 실험에 사용된 reference image에서의 window size는 산악지역에서는  $19 \times 19$ , 농경지역에서는  $21 \times 21$ 의 정사각형이며, 오른쪽의 target image에서의 window

size는 회전과 scale을 고려한 warped된 window로서 수행과정 중 적절하게 변형되며, search area를 결정하였다. 산악지역에서의 높이의 변화를 0~1,000m를 고려하여 화소를 탐색하였고 농경지에서의 탐색영역은 0~200m의 고도변화를 고려하여 선정하였고 지형의 형태에 따라 적절히 변형되는 warped window와 영역 기반방법(area based method)을 사용하여 산악지역에서는 0.5화소 단위로 matching하였고 농경지에서는 한화소 단위로 matching을 수행하였다. 전체 영상의 matching에 걸린 수행시간은 MIPS R3000 컴퓨터로 14시간 정도가 소요되었다.

## V. 결론

본 연구에서는 동일한 window를 사용하는 기존의 방법에서 지형의 특성이 다른 산악지역과 농경지, 강으로 구분한 다음 지형의 특성을 고려한 adaptive stereo matching방법을 제안하였다. 제안한 방법을 사용한 결과 기존의 방법보다 수행시간면에서는 약 3배 정도 빠른 수행시간을 나타냈으며 matching의 정확도에서도 기존의 방법과 비슷한 부영상소(subpixel) 단위를 기록하였다. DEM 제작에 있어 가장 많은 처리시간이 소요되는 matching을 MIPS 워크스테이션상에서 14시간으로 단축하였다. 제안한 알고리즘을 구현할 수 있는 하드웨어를 제작하여 적용한다면 더욱 빠른 처리시간을 기대할 수 있을 것으로 예상된다.

## 참고문헌

- Allam, M. M., 1978, DTM Application Topographic Mapping, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 44, No. 12, pp. 1513~1520.
- Ayache, N. and Faverjon, B., 1987, Efficient registration of stereo images by matching graph descriptions of edge segments, *Int. J. Computer Vision*, pp. 107~131.
- Brokelbank, D. C., 1991, Stereo Elevation Determination Techniques for SPOT Imagery, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 57, No. 8, pp. 1065~1073.
- Day, T. and Muller, J. P., 1988, Quality assessment of digital elevation models produced by automatic stereo-matchers from SPOT image pairs, *Photogrammetric Record*, pp. 797~808.
- \_\_\_\_\_, 1989, Digital elevation model production by stereo matching SPOT image pairs : A comparison of algorithms, *Image and Vision Computing*, Vol. 7, No. 2, pp. 95~101.
- Mukai, Y. and Sugimura, T., 1990, Automated generation of digital elevation model using system corrected SPOT data, *Proc. 23rd International Symposium on Remote Sensing of En-*

*vironment*, pp. 11~16.

- \_\_\_\_\_, 1991, Automated Generation of Digital Elevation Model Using System Corrected SPOT DATA, *American Congress on Surveying and Mapping-American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Annial Convention*, Vol. 3, pp. 165~171.
- Norvelle, F. R., 1992, Stereo Correlation : Window Shaping and DEM Corrections, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 58, No. 1, pp. 111~115.
- Quan, L. H., 1987, Hierarchical warp stereo, *Readings in Computer Vision : Issues, Problems, Principles, and Paradigms*, Morgan Kaufmann, pp. 80~86.
- Swain, P. H. and Davis, S. H., 1978, *Remote Sensing : The Quantitative Approach*, McGraw-Hill, New York.
- Swann, R., Hawkins, D, Westewell-Roper, A. and Johnstone, W., 1988, The potential for automated mapping from Geocoded Digital Image data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 54, No. 2, pp. 187~193.
- 강치우, 1991, 스테레오 매칭을 위한 window형상 설계, 서강대학교 대학원, 박사학위논문.
- 박병욱, 1991, SPOT위성 데이터를 이용한 수치표고모델 생성에 관한 연구, 서울대학교 대학원, 박사학위논문.