

Kompsat 영상을 이용한 수치표고모델 추출

Extracting DEM Using Kompsat Images

최 현* · 강인준** · 홍순현***

Choi, Hyun · Kang, In-Joon · Hong, Soon-Heun

要 旨

유역선정과 하도망구축에서 최근에 수치표고모델을 많이 이용한다. 수치표고모델생성방법은 지형측량, 사진측량, 지형도, 위성영상에 의한 방법등이 있다. 정확한 수치표고모델의 추출은 처리방법과 원시자료의 해상력, 공간해상도 등에 많이 의존한다. 그러나 위성영상 촬영시 기상조건, 자연환경 등 여러 요인으로 인해 최상의 품질의 위성영상을 얻을 수 없고 또한 스테레오영상의 촬영시기가 다르기 때문에 자동생성 DEM에는 많은 오류를 포함하게 된다. 본 논문은 Kompsat 영상을 이용하여 수치표고모델을 형성하여 유역해석에 있어서 실시간 해석이 가능하도록 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

Abstract

DEMs(digital elevation models) are generally used to automatically map the channel network and to delineate subbasins. At present, most DEM data are derived from three alternative sources which are ground survey, photogrammetric data capture and digitized cartographic data sources. The accuracy of a DEM is dependent on the spatial resolution, quality of the source data, collection and processing procedures, and digitizing systems. weather conditions and nature environment .etc provide us satellite image of the highest quality. However, Match in error of the auto generation DEM was severely affected by physical and environmental conditions at shooting time. This paper shows that real-time operation analysis of applied hydrology after extracting DEM Using a pair of Kompsat images.

Keywords: DEM, Kompsat stereo image pair, subbasin, channel network.

1. 서론

우리나라에서는 1992년 우리별 1호를 발사하여 실험위성으로써는 최초로 한반도 영상을 획득하였고, 우리별 2호, 우리별 3호는 다중과장대로 칼라 영상을 획득하는 등 많은 발전을 가져왔다. 특히 1999년 12

월 발사된 아리랑 1호 위성은 6.6m의 해상도와 적합한 기선 대 고도비 및 입체영상의 획득이 가능하여 소축척, 또는 중축척 지도 제작, 농림, 수산, 해양, 환경, 지질 등에서 이용 가능한 자료를 우리나라 자체적으로 획득할 수 있게 되었으며, 접근 불가능한 지역에 대한 3차원 위치결정 등 필요한 자료를 제공하

* 정회원 · 부산대학교 토목공학과 박사 수료 (xhyun@pusan.ac.kr)

** 정회원 · 부산대학교 토목공학과 교수 (kangprof@hanmail.net)

*** 정회원 · 밀양대학교 토목공학과 교수 (hongsh@arang.miryang.ac.kr)

는데 중요한 자료가 되고 있다. KOMPSAT(Korea Multi-Purpose Satellite) 개발사업은 국가적으로 또는 산업 및 기술적 측면에서 매우 중요하며 의의가 크다. 우리나라는 1980년대부터 기상, 통신 분야에서 해외 위성을 이용하여 자료를 활용하고 있으며 국토 개발, 해양, 환경, 과학탐사 분야에서도 각 연구기관과 대학을 중심으로 위성자료를 활용한 연구가 진행되고 있다. 그리고 최근 우리별 1,2호와 무궁화위성의 성공으로 통신, 방송, 지리, 해양, 환경, 과학등의 분야에서 인공위성의 국가적 수요가 발생하여 국내 개발의 필요성이 가시화되었다. 또한 아리랑 1호와 같은 고해상 위성영상을 자체 보유함에 따라 군사 방위 목적의 활용 측면에서 매우 유용할 뿐만 아니라, 연구목적으로도 많이 활용되고 있다. 지금까지 여러 나라에서 SPOT 위성영상을 이용한 지도 제작 연구가 진행되어 왔으며, 지형지물의 추출가능성과 정확도 평가, 수치 표고 자료 생성 등 지도화 가능성에 대한 성과를 도출하고 있다. 과거 지형도를 제작하는 방식은 도화기(Stereo Plotter)를 이용하는 방법이었으나, 현재에 와서는 Workstation에서 자동으로 DEM을 제작하는 프로그램 개발에 중점을 두고 있는 편이다. 자동으로 DEM을 제작하기 위해서는 최상의 품질의 동일 환경에서 촬영된 스테레오 영상이 필요하다. 그러나 위성영상 촬영시 기상조건, 자연환경 등 여러 요인으로 인해 최상의 품질의 위성영상을 얻을 수 없고 또한 스테레오영상의 촬영시기가 다르기 때문에 자동생성 DEM에는 많은 오류를 포함하게 된다. 본 논문에서는 다른 환경에서 촬영된 스테레오 영상에서 생성된 DEM을 이용하여 유역인자결정 방안에 관한 연구를 수행하고자한다.

2. 기본이론

2.1 KOMPSAT

KOMPSAT(Korea Multi-Purpose Satellite)은 우리나라에서 1999년 12월 발사되었으며, 지상고도 685km에서 하루에 지구를 14번 선회하며 탑재된 고해상도 카메라로 한반도를 촬영하여 그 영상을 항공

우주연구원(KARI)에 있는 지상국에 전송한다. 아리랑 1호 위성은 현재 전자광학카메라(EOC), 해양관측 카메라(OSMi), 이온층 측정기(IMS), 고에너지 입자 검출기(HEPD)의 4개의 탑재체로 이루어 졌다. EOC의 주된 임무는 우리영토를 원격 촬영하여 국토의 수치 고도모델의 만들어 지도를 제작하는 것이다. 수치고도모델에서 생성한 등고선과 정사영상을 중첩하여 디지털 화하여 전자지도를 만드는 자료로 쓰이며, 지리정보자료구축의 바탕이 되어 국토관리와 재해예방 등에 쓰일 수 있다. EOC는 510~730 nm과장대역에서 지상의 흑백(Panchromatic) 영상을 수집하며, 지상국에서 여러 궤도의 영상들을 혼합처리 하여 입체영상(Stereo Images)을 얻는다. 지상해상도는 6.6m이고 수직 촬영시 관측폭(Swath)은 17 km이며, 한 궤도당 800 km의지상길이에 대해 연속촬영이 가능하다. 궤도수명은 3년 이상이며 그 기간동안의 신뢰도를 보장한다. 촬영조건에 따라 영상신호를 지상에서 명령할 수 있는 Programmable Gain 기능을 가지고 있다. EOC는 센서부(Sensor Assembly)와 전자 회로부(Electronics Assembly)로 나뉘고 중량은 약 3.5kg, 최대 전력소모는 50 W, 영상자료 전송률은 25Mbps 이하이다. EOC의 저장능력(Duty Cycle)은 2분이면 약 800 km의 거리를 촬영할 수 있다. 아리랑 1호 위성은 DEM을 제작할 수 있도록 EOC를 최대 45 까지 돌려 (Roll)인접한 두궤도에서 동일지역을 촬영할 수 있다. 지상국에서 두 궤도에서 얻어진 영상을 자료 처리 시에 결합시켜 입체지도를 제작할 수 있다. EOC는 30 까지의 회전(Roll)을 고려하면 영상획득은 39회 중 20회까지 가능하다. 고해상도 위성영상은 항공사진에 비해 광범위한 지역에 대하여 주기적으로 비교적 경제적인 영상을 취득할 수 있으며, 정보 갱신이 용이할 뿐 아니라 비접근 지역에 대한 관측도 가능하여 고해상도 위성영상을 이용한 지도 제작 분야는 그 시장성과 개발 가능성이 상당히 높은 것으로 평가받고 있다.

2.2 수치표고모델

수치표고모델(DEM)은 지상의 공간적 분포를 수치

적으로 표현한 것으로서 일반적으로 2차원 평면상에서 일정 간격의 격자 형태나 불규칙 삼각망 형태로 표현할 수 있다. 위성영상을 이용하여 수치표고모델을 생성하기 위해서는 동일한 지역을 각도로 달리 하여 촬영한 한쌍의 위성영상이 필요하다. 스테레오 위성영상이 있을 경우 동일한 지역이 각 영상에서 어느 곳에 위치하였는가를 알게 되면 그 지역의 3차원 정보, 즉 수치표고모델을 추출할 수 있다. 수치표고모델의 생성은 카메라 모델링 단계와 영상정합 단계로 구분할 수 있다. 카메라 모델링이란 촬영시의 영상좌표계와 카메라좌표계, 지상좌표계의 기하학적 관계를 복원하는 것으로 카메라 모델링의 정확도는 수치표고모델의 성능에 직접적인 영향을 미친다. 카메라 모델링이란 촬영순간의 위성체의 위치와 자세에 따른 지상좌표와의 관계를 나타내는 것인데 항공사진의 경우 입체영상과 지상기준점을 이용한 공선방정식을 세우고 이 방정식의 외부표정 6요소를 구하는 공간 후방 교선 단계와 구해진 계수와 공선방정식을 이용하여 실제로 입체 영상에서 얻어진 상응점을 3차원 좌표로 변환하는 공간전방교선 단계를 거친다. 그러나 위성영상의 경우 항공사진과 달리 촬영순간의 위치와 자세가 수시로 변하기 때문에 항공사진의 카메라 모델링보다 복잡하다. 아리랑 1호 EOC 영상은 각 라인마다 중심투영으로 데이터를 취득하므로 각각의 라인에 대하여 6개의 외부표정요소가 존재하며, 한 영상(17km×17km)은 총2592개의 외부표정요소가 존재하게 된다. 각각의 라인마다 외부표정요소를 모두 적용할 수 없기 때문에 위성이 등속 원운동 한다는 가정 하에 외부 표정요소를 시간 또는 라인의 함수 형태로 단순화하여 모델링 해야 한다.

일반적으로 입체영상에서 지상기준점의 매 관측마다 두 개의 공선조건식이 생성된다. 그림 1에서 관측점의 위치와 지상기준점 사이의 관계에서 공선조건식을 유도할 수 있다. 이는 위성의 중심의 위치, 위성영상의 지상점 영상좌표, 지상기준점이 하나의 선상에 존재한다는 가정에서 성립된다.

공선조건식을 벡터방식으로 표현하면 (식1)으로 표현할 수 있다.

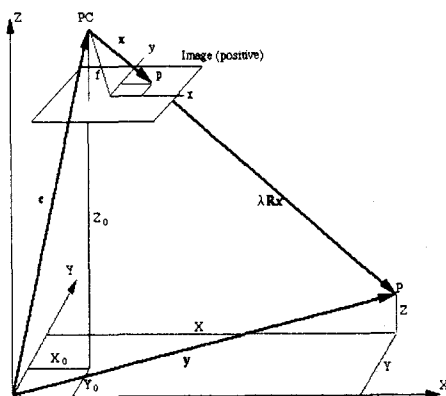


그림 1. 공선조건

$$\vec{x} = \vec{p} + d \times \vec{u} \quad (\text{식 1})$$

- \vec{x} : 지상 기준점 위치벡터
- \vec{p} : 위성위치벡터
- \vec{u} : 위성에서 지상기준점까지 단위벡터
- d : 축척계수
- f : 초점거리

위 식은 회전행렬을 적용하여 (식 2) 로 표현된다.

$$\vec{x} = \vec{p} + d \cdot R_\omega \cdot R_\phi \cdot R_x \cdot \vec{x}_s \quad (\text{식 2})$$

- \vec{x}_s : 센서 시스템에서 감지기 영상의 지상기준점의 벡터
- $R_\omega \cdot R_\phi \cdot R_x$: 회전행렬

지상기준점좌표의 함수로 표현하기 위해 변형하면 (식 3)과 같다.

$$x_s = d^{-1} \cdot M(x - p) \quad (\text{식 3})$$

$$\begin{bmatrix} x_g \\ y_g \\ z_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_g \\ 0 \\ -f \end{bmatrix} = d^{-1} \cdot \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_g \\ y - y_g \\ z - z_g \end{bmatrix} \quad (\text{식 4})$$

$$M = (R_\omega \cdot R_\phi \cdot R_x)^T \quad (\text{식 5})$$

(식4)에서 처음과 두 번째 식을 세 번째 식으로 각각 나누면 다음과 같은 공선조건식이 나온다.

$$x_k = -f \frac{[m_{11}(X-X_k) + m_{12}(Y-Y_k) + m_{13}(Z-Z_k)]}{[m_{31}(X-X_k) + m_{32}(Y-Y_k) + m_{33}(Z-Z_k)]}$$

$$0 = -f \frac{[m_{21}(X-X_k) + m_{22}(Y-Y_k) + m_{23}(Z-Z_k)]}{[m_{31}(X-X_k) + m_{32}(Y-Y_k) + m_{33}(Z-Z_k)]}$$

(식6)

위성영상과 항공사진에서 적용하는 공선조건식에서 가장 중요한 차이는 센서의 y좌표가 항상 0이며, (식 3)에서 오른쪽 항의 모수 (M, x, ρ)가 시간의 함수로 표현된다는 것이다.

아리랑 1호 위성은 항공사진과 달리 등속선형 운동한다고 가정하면 다음과 같이 외부표점요소를 2차함수로 표현한 센서모델을 2차항의 다항식인 (식 7)로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} X_L &= x_0 + x_1L + x_2L^2 \\ Y_L &= Y_0 + Y_1L + Y_2L^2 \\ Z_L &= Z_0 + Z_1L + Z_2L^2 \end{aligned} \quad (\text{식 7})$$

$$\begin{aligned} x_L &= x_0 + x_1L + x_2L^2 + x_3L^3 \\ \omega_L &= \omega_0 + \omega_1L + \omega_2L^2 + \omega_3L^3 \\ \phi_L &= \phi_0 + \phi_1L + \phi_2L^2 + \phi_3L^3 \end{aligned}$$

촬영영역이 겹치고 촬영각도가 다른 좌우 영상에서 정합점을 찾는 과정을 영상정합이라 하는데 일반적으로 특성기반 정합알고리즘과 영역기반 정합알고리즘으로 나눌 수가 있다.

특성기반 정합알고리즘은 영상내에 존재하는 경계점이나 선 등과 같은 특성정보를 이용하는 기법으로써 영역기반 정합알고리즘에 비해 속도가 빠르지만 특성정보가 없는 지역에서는 정합이 불가능하다. 영역기반 정합알고리즘은 영상의 화소값을 사용하는

기법으로 좌우 두 영상간의 픽셀의 밝기값을 이용하여 유사도를 측정하기 때문에 특성기반 정합알고리즘에 비해서 시간이 많이 걸린다. 본 연구에서는 영역기반 정합알고리즘을 사용하여 보다 조밀하게 고도 정보를 복원하였다. 영역기반 정합알고리즘은 초기 정합후보점을 사용자로부터 입력받아 정합을 수행하고 정합점과 인접한 점을 다시 정합 후보점으로 사용하여 정합후보점이 존재하지 않을 때까지 반복하는 기법이다. 영역기반 정합알고리즘은 영역을 확장해 나가는 과정에서 정합후보점을 사용하여 매우 효율적으로 전체영상에 대한 정합점을 계산할 수 있으나, 오류가 전파되는 단점이 있다. 이러한 오류전파는 정합점으로부터 3차원 좌표를 구하고, 이와 인접한 점의 고도점을 정합점의 고도와 같다고 가정한 후, 해당하는 우측 영상점을 다시 역으로 산출하여 정합후보점으로 사용하면 된다.

3. DEM 생성

본 연구에 이용된 영상은 2000년 8월 11일(좌측영상)과 2001년 3월 15일(우측영상)을 이용하였으며 주요 제원은 표 2와 같다. 연구대상지역에 대한 취득시기가 최대한 비슷하여야 정확한 DEM의 추출이 가능하나 촬영시기가 비슷하지 않는 관계로 Kompsat DEM의 정확도가 다소 떨어질 것으로 예상된다. 연구에 이용된 지상기준점은 1:5,000 수치지도를 기준으로 각각 25 ~ 27개를 취득하였다.

표 1. 위성 영상 제원

Sense	Kompsat-1 EOC	
	부산광역시 수영천 일대	부산광역시 수영천일대
연구지역	부산광역시 수영천 일대	부산광역시 수영천일대
자료 취득일	2000년 8월 11일	2001년 3월 15일
촬영경사각 (tilt angle)	-19.427 °	19.260 °
공간 해상력(m)	6.6m	6.6m
화소	2592, 2792	2592, 2797
위성고도(km)	687.17	685.42
지상기준점	27	25

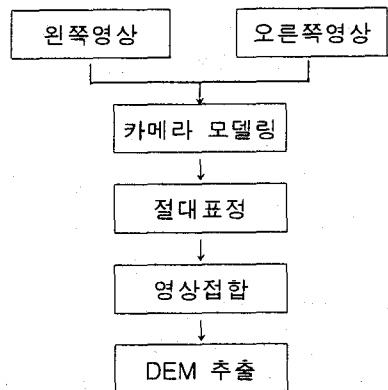


그림 1. 위성영상 추출과정

그림 1은 입체영상에서 DEM을 추출하기 위한 전체 과정을 도식화한 것이다. 연구에 이용된 영상정합 알고리즘은 선형 Push Bloom 방식으로 촬영된 좌우 위성영상에서 쌍곡선 형태로 표현되는 에피폴라 특성곡선상의 각 점들간의 정규화된 상관계수를 구하고 이중 최고치를 정합점쌍으로 결정하는 기법을 사용하였다. 수치표고모델을 생성하기 위해서 먼저 에피폴라 입체영상을 생성하였으며, 입체영상에서 공액점들을 선정하고, 레도표정요소 계산결과와 기하학적 모델링을 통하여 공액점들의 3차원 위치를 계산한후, 일정한 격자간격으로 고도값을 보간함으로써 수치고도모형이 제작된다. 본 연구에서는 격자간격은 10m로 하였으며 매칭 상관관계는 0.98로 하였다. 그림 2는 영상정합과 Kompsat영상으로부터 추출된 수치표고모델을 보여주고 있다.

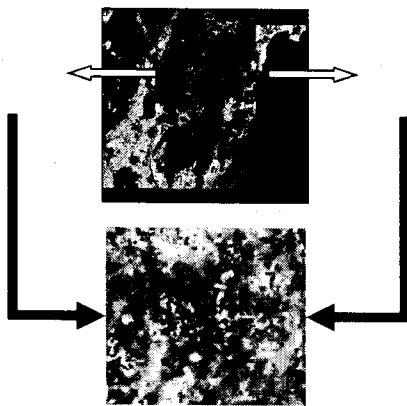


그림 2. 수치표고모델

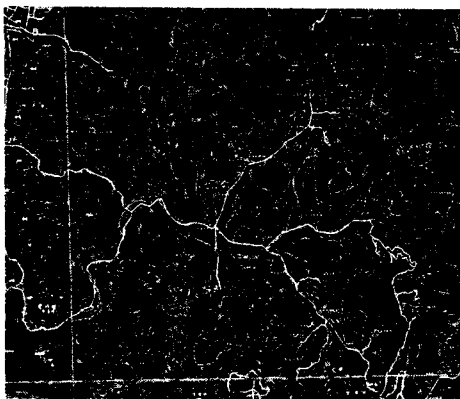


그림 3 연구대상지역의 수치지도

연구대상지역에서의 표고차는 최대 534m로 나타났다. 또한 농지, 하천, 수면(회동저수지)등이 골고루 분포되어있어 다양한 지역에 대한 분석이 가능하다. 또한 연구대상 지역의 지형이 미치는 매칭오류의 영향을 분석하기 위해 경사각, 고도값, 산 사면의 방향 각 등 여러 요인으로 분석을 실시하여야 한다. 본 연구결과 매칭오류의 발생은 위성영상의 촬영시기의 자연환경조건에 따라 많은 영향을 받고 있다. 특히 촬영시기의 구름, 하천의 토사, 농경지의 변화, 그리고 태양을 등진 산 사면의 그림자 등이 매칭오류의 중대한 원인으로 작용하였다.

4. 수치표고모델로부터 유역인자 결정

유역특성은 수치표고모델로부터 흐름 방향을 결정할 수가 있는데 흐름방향에는 4개의 방위에 따라 흐름방향을 결정하는 4방향 모델과 8개의 방위에 따라 흐름방향을 결정하는 8방향 모델이 있는데 본 연구에서는 8방향모델을 적용하였다. 일반적으로 수치표고모델은 3차원 지형분석시에는 별다른 수정이 필요 없으나 수문해석에서 이용되는 수치표고모델은 수렴점이나 발산점에 대한 고려를 해야 한다. 본 논문에서의 수치표고모델 및 발산점, 수렴점, 평지점에 대한 분석 및 자료처리는 MGE 지형정보처리 프로그램을 이용하였고, PCI 영상처리 프로그램은 하도망 추출 및 자료처리에 이용하였다. 누가흐름량의 임계치(threshold)는 유역의 생성 및 개수에 영향을 미치게 되는데 일반적으로 지수함수적으로 감소하는 경향을 보인다. 누가흐름 임계치는 유역면적을 표현하기 때문에 유역의 크기와 유역의 개수는 지수함수적으로 반비례하는 경향이 있다. 본 연구에서의 유역의 분할은 누가흐름도와 경사방향도를 이용하여 누가흐름량의 연산임계치를 변화시켜 수치표고모델의 격자크기 별로 하나의 유역이 형성되도록 임계치를 설정하였다. 표 2는 격자크기에 따른 유역의 경사값 및 최대하도길이를 나타내고있는데 격자크기별로 최대하도경사, 평균하도경사 및 주하도길이 및 표고값이 서로 다르게 나타남을 알 수가 있다. 하천유역의 기하

표 2. 유역 특성 분석결과

하천명	유역명	유역면적 A(km ²)	유로연장 L(km)	고도차 H(km)	유로평균경사 S(H/L)	유역평균폭 A/L(km)	형상계수 A/L ²	비 고
수영강 분 류 소유역	SY0	24.7542	7.2319	0.633	0.0875	3.4229	0.4733	
	SY1	20.7060	7.5939	0.499	0.0657	2.7267	0.3591	
	SY2	14.2599	6.8755	0.473	0.0688	2.0740	0.3017	
	HD	7.8701	3.7146	0.374	0.1007	2.1187	0.5704	회동댐자기유역
	상 류	67.5902	20.5411	0.700	0.0341	3.2905	0.1602	
	SY3	5.5909	3.1654	0.014	0.0044	1.7663	0.5580	
	SY4	9.1352	6.2264	0.545	0.0875	1.4672	0.2356	
	SY5	7.4586	2.6410	0.272	0.1030	2.8242	1.0694	
	전 체	89.7749	29.5479	0.717	0.0243	3.0383	0.1028	
철마천 소유역	CM1	20.1921	6.0468	0.463	0.0766	3.3393	0.5522	
	CM2	12.0591	9.0590	0.477	0.0527	1.3312	0.1469	
	전 체	32.2512	11.9033	0.510	0.0429	2.7094	0.2276	철마천 전유역

학적 특성은 대상하천을 이해하고 유역의 유출 특성을 분석하는데 주요한 인자들로써 유역면적, 유로 연장, 유로 경사, 유역 평균폭 및 형상 계수 등이 있다. 수영강의 수원으로부터 철마천, 석대천, 온천천 등의 지류합류점과 기타 수문, 수리 검토가 요구되는 지점을 9개의 소유역으로 나누고 각 소유역 및 전체유역의 기하학적인 특성을 GIS 모형을 이용하여 작성한 수치표고모형을 이용하여 분석하였으며 표 2과 같다.

5. 결론

본 연구는 고해상도 위성영상을 이용한 수치표고 모델 생성에 관한 연구로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 레도표정요소 계산결과와 기하학적 모델링을 통하여 공액점들의 3차원 위치를 계산한 후, 일정한 격자간격으로 고도 값을 보간 함으로써 수치고도 모형이 제작된다. 본 연구에서는 격자간격은 10m로 하였으며 매칭 상관관계는 0.98로 나타났다.

둘째, 위성영상자료를 이용하여 수치표고모델 생성하여 미세측 지역에서 기하학적 특징을 이용하여 수치표고모델을 생성하여 대규모지역에 대한 DEM추출이 가능하였다.

셋째, 위성영상으로 추출된 수치표고모델은 기존의

수치표고모델획득방식보다는 정확도가 떨어지지만 대규모 지역의 분석에 적합하며 특히 수자원의 체계적인 관리와 수문계획을 위해 원격탐사자료의 이용에 많은 연구가 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Doorn, B., P. Agouris, R. Al-Tahir, T. Stefanidis, and O. Zilberstein, 1991, Digital Stereo Matching in Perspective, Technical Notes in Photogrammetry 10, Department of Geodetic Science and surveying, The Oio State University Columbus, Ohio, 15 p.
2. Hannah, M.J., 1988. Digital stereo image matching techniques, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 27(B3): 280-293.
3. Wrobe, B.P., 1988. Least-squares methods for surface reconstruction from images, International Archives of Phothogrammetry and Remote Sensing, 273(B3): 806-821.
4. Stefan W. K., 1996, "Using DEMs and GIS to define input variables for hydrological and geomorphological analysis", IAHS Publication

- number 235, USA.
5. Toutin, Th., Amaral, S., 2000. Stereo RADARSAT data for canopy height in Brazilian forest. Canadian Journal for Remost Sensing 26(3).
 6. Yelozavetin, I.V., 1993. Digital terrain modeling from radar image stereopairs. Mapping Sciences anf Remote Sensing 33(1), 1-19.
 7. 강인준, 최현, 이병걸, “수치지도를 이용한 유역특성분석”, 한국측량학회지, 제 19권 제 3호, 2001, pp229-236.
 8. 강인준, 최현, 최철웅, “수문학용지형공간정보의 하도망 구축”, 1998년도 학술발표회 논문집(IV), 대한토목학회,1998, pp.497-500.
 9. 강인준, 최현, 최철웅, “지형공간정보데이터를 이용한 퇴사량 예측기법”, 1998년도 학술발표회 논문집(IV), 대한토목학회,1998, pp.597-599.

(2002년 9월 3일 원고접수)