

도로정보의 자동추출을 위한 수치사진측량기법의 적용 Application of Digital Photogrammetry for The Automatic Extraction of Road Information

유 환 희*
Yoo, Hwan-Hee

요 旨

최근 많은 연구가 실시간 지도제작시스템의 개발에 초점이 맞춰지고 있으며, 일반적으로 자동차나 비행기로부터 지형에 관련된 수치형태의 정보를 얻고 있다. 본 연구는 미국 오하이오 주립대학의 지도 제작센터에서 개발한 일명 "GPS-Van"이라고 하는 관측장비를 이용하여 얻어진 수치영상으로부터 도로정보를 자동추출하고 수치자료의 효과적인 저장과 관리를 위한 방법을 제시하는데 목적을 두고 있다. 도로의 경계선 검출은 수치사진측량기법을 적용하므로써 수치영상에서 자동추출할 수 있으며 실시간 3차원위치 결정도 가능했다. 또한 자료저장단계를 레스터자료단계, 객체지향자료단계, 벡터자료단계로 구성되는 3단계 자료 저장방법과 자료관리 측면에서 효과적인 자료압축과 검색을 위해 사지수형자료구조를 제안하였다.

ABSTRACT

A number of the latest research projects focus on the development of real-time mapping system. Typically, these devices are used to capture land-related information in digital form from airplanes or cars. The purpose of this paper is to automatically extract the road information from the digital images obtained using the so-called "GPS-Van" which has been developed by Center for Mapping at The Ohio State University, and to propose the method for the effective storage and management of the digital data. The edges of a road can be extracted from the digital image and determined real-time 3-dimensional position by digital photogrammetry. Also, the three storage level which consists of raster data level, object-oriented data level, and vector data level in the data storage and Quadtree data structure for the effective compression and search in the data management was proposed in this paper.

1. 서 론

수치사진측량(Digital Photogrammetry)은 수치영상(Digital Image)을 이용하여 해석적 사진측량이론과 수치영상처리기법을 적용하므로써 3차원 위치결정이나 대상물검출 및 인식, 정사투영영상생성 등을 할 수 있는 기법이다.¹⁾ 수치사진측량에 의해 얻어지는 정보는 수치화된 자료로써 GIS(Geo-Spatial Information Systems)의 자료기반(Database)과 직접 연결시켜 활용할 수 있다는 점에서 커다란 장점을 갖고 있다. GIS는 많은 양의 수치정보를 요구하고 있으며

정확한 분석을 위해 정확하고 신속한 실시간(Real-Time) 자료의 저장 및 수정이 필요하다. 이러한 측면에서 GIS의 자료기반 구축을 위해 수치사진측량 기법의 적용은 매우 중요한 의미를 갖고 있다.

본 연구는 한국과학재단에서 지원하는 1992년 후반기 해외 Post-Doc. 연수과정에서 이뤄진 연구의 일부로써 미국 오하이오 주립대학교(The Ohio State University)의 지도제작연구소(Center for Mapping)에서 연구중에 있는 일명 "GPS-Van"을 이용하였다. "GPS-Van"은 소형버스에 CCD 카메라와 GPS, 관성측량시스템 및 컴퓨터 등을 탑재하여 도로를 주행하면서 도로에 대한 정보를 실시간(Real-Time)으로 획득하여 저장하므로써 GIS의 자료기반 구축을 위한

*경상대학교 도시공학과 부교수

새로운 방법을 제시하였다.^{2,4)}

“GPS-Van”의 주요기능은 절대위치결정시스템, 상대위치결정시스템, 속성자료취득을 위한 시스템으로 나눌 수 있으며,^{5,6)} 도로를 주행하면서 CCD 카메라에 의해 얻어진 영상에는 도로의 노면상태 및 차선수, 차종 및 차량대수, 도로표지판 등이 촬영되어 있으므로 영상분석에 의해 교통계획 및 공학에 필요한 정보를 제공할 수 있는 장점을 갖고 있다.

따라서 본 연구에서는 “GPS-Van”에 의해 얻어진 도로에 대한 수치영상을 이용하여 도로정보를 추출하고 3차원 위치를 결정할 수 있는 수치사진측량기법과 효과적인 자료저장방안을 제시하고자 한다.

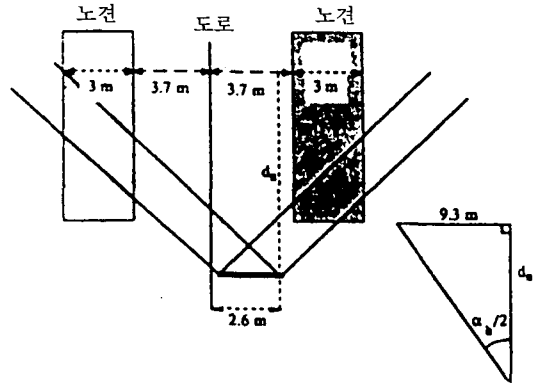


그림 1. CCD 카메라의 수평촬영범위

2. 실시간 도로정보획득을 위한 시스템

본 연구에서 이용한 “GPS-Van”의 구성은 소형버스에 CCD 카메라 2대, GPS와 관성측량시스템 및 PC 컴퓨터 등으로 구성되어 있다. CCD 카메라는 COHU 4110으로써 지붕에 두대의 카메라가 기선길이 1.8m 간격으로 고정되어 설치되어 있으며, GPS는 Trimble 4000ST로써 기지점에 하나가 설치되어 있고 다른 하나는 차 지붕에 설치되어 자동차의 이동에 따른 위치좌표를 실시간으로 나타낼 수 있도록 하였다. 또한 관성측량시스템은 GPS의 신호수신이 터널이나 계곡 및 빌딩 등에 의해 수신기 불가능하여 위치결정이 불가능할 경우에도 자동차의 위치를 결정하기 위해 설치되었으며 자동평형경(Gyroscope)에 의한 3축 방향요소와 휠센서에 의한 주행거리계산 등이 정확히 이뤄지도록 설계되었다.

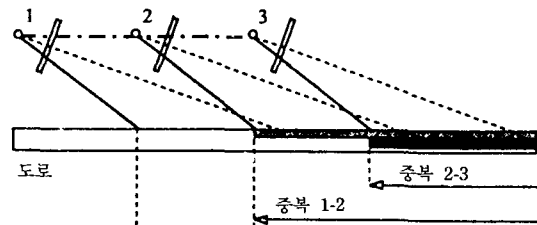


그림 2. CCD 카메라의 촬영중복도

2.1 입체영상획득 원리

CCD 카메라는 입체도로영상을 얻기 위해 두대가 설치되었으며 영상소 크기는 8.7 μm, 초점거리는 6 mm이었으며 두 카메라 간격은 1.8 m로 고정되었다.⁷⁾ 또한 도로면관측이 용이하도록 노면을 향해 10°로 기울여 촬영되도록 하였으며 차량속도를 약 80~90 km/h로 주행하는 것을 가정하여 노출간격은 약 20~25 m 정도가 되게 하였다.

2.2 GPS의 원리

(X^s, Y^s, Z^s)는 위성위치벡터이며, (X_r, Y_r, Z_r)은 수신기의 위치벡터라고 할 때,

$$dp = -\frac{(X^s - X_r)}{\rho} dx_r - \frac{(Y^s - Y_r)}{\rho} dY_r - \frac{(Z^s - Z_r)}{\rho} dZ_r \quad (1)$$

이며, 위성 1, 2와 수신기 1, 2 사이의 기하학적 성질을 이용하고 기지점에 수신기를 위치시키면 미지변수는 (X₂, Y₂, Z₂)가 된다. 따라서 관측방정식은 다음과 같다.

$$S^{12}_{12} - \hat{\rho}^{12}_{12} = \left[\begin{array}{c} \frac{(X^1 - \hat{X}_2)}{\hat{\rho}^1_{12}} - \frac{(X^2 - \hat{X}_2)}{\hat{\rho}^2_{12}} \\ \frac{(Y^1 - \hat{Y}_2)}{\hat{\rho}^1_{12}} - \frac{(Y^2 - \hat{Y}_2)}{\hat{\rho}^2_{12}} \\ \frac{(Z^1 - \hat{Z}_2)}{\hat{\rho}^1_{12}} - \frac{(Z^2 - \hat{Z}_2)}{\hat{\rho}^2_{12}} \end{array} \right] \begin{bmatrix} dX_2 \\ dY_2 \\ dZ_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 $\hat{\rho}$ 는 기지의 위성좌표와 수신기 1이 위치한

점의 좌표로부터 계산되었으며 $(\hat{X}_2, \hat{Y}_2, \hat{Z}_2)$ 는 수신기 2의 근사좌표값이고 $S_{12}^{12} = \rho_{12}^{12}$ 이다.^{8,9)}

2.3 관성측량의 원리

관성측량시스템은 수평자이로의 기준축을 북, 수직자이로의 기준축은 수평으로 가정한다. 그리고 수평자이로에서 읽은 방향각은 자동차가 진행하는 방향의 방위각과 동일하도록 설치하며, 수직자이로의 읽은 값은 차체의 피치(Pitch)각과 정확히 일치하도록 설치하였다.

이와같은 가정하에서 자동차의 상대좌표계에서의 위치는,

$$\begin{bmatrix} \Delta E \\ \Delta N \\ \Delta U \end{bmatrix} = \sum_{t=t_0}^{t_n} \frac{\Delta W}{K} \begin{bmatrix} \sin(\alpha) \cos(P) \\ \cos(\alpha) \cos(P) \\ \sin(P) \end{bmatrix} \quad (3)$$

이며, 여기서 ΔE =동방향의 위치변화
 ΔN =북방향의 위치변화
 ΔU =높이방향의 위치변화
 ΔW =바퀴회전수의 차
 K =바퀴회전수의 축척계수
 α =방위각
 P =피치각

(3) 식을 시함수(Time Function)로 표시하면,

$$\begin{bmatrix} \Delta E \\ \Delta N \\ \Delta U \end{bmatrix} = \sum_{t=t_0}^{t_n} \frac{\Delta W}{K} \begin{bmatrix} \sin(\alpha + \alpha_0 + \alpha_i) \cos(P + P_0 + P_i) \\ \cos(\alpha + \alpha_0 + \alpha_i) \cos(P + P_0 + P_i) \\ \sin(P + P_0 + P_i) \end{bmatrix} \quad (4)$$

이다. (4) 식을 직각좌표로 변환하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = \sum_{t=t_0}^{t_n} R^T \frac{\Delta W}{K} \begin{bmatrix} \sin(\alpha + \alpha_0 + \alpha_i) \cos(P + P_0 + P_i) \\ \cos(\alpha + \alpha_0 + \alpha_i) \cos(P + P_0 + P_i) \\ \sin(P + P_0 + P_i) \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서 R은 경·위도로 구성되는 회전행렬이다.

3. 입체영상획득 시스템의 검정결과 분석

입체영상획득 시스템의 검정을 위해 검정용 벽을 설치했으며 54개의 표정점(직경 2.5 cm)을 고르게 분포시켰다. 각과 거리측정에 의해 표정점의 3차원 좌표를 계산하였고 각과 거리측정 정확도를 고려할 때 표정점의 정확도는 $\pm 0.1 \sim 0.3$ mm이었다.

내부표정을 위한 계산과정에서 카메라검정을 위해 부가 매개변수를 고려했으며, 부가 매개변수에 의한 영향을 분석하기 위해 부가 매개변수를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우에 대한 표정요소의 계산결과는 다음과 같다.

여기서, S_x, S_y, S_z 은 간접삼각측량에 의해 계산된 좌표와 번들조정법에 의해 계산된 좌표와의 차이이며, $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ 은 번들조정에 의한 기하학적 위치의 표준오차이다. 또한 σ_0 는 번들조정 후 영상좌표의 표준오차이다.

또한 GPS와 관성측량시스템으로부터 계산된 실시간 위치좌표와 CCD 카메라에 의해 얻어진 입체수치영상을 이용하여 계산된 3차원 위치좌표의 정확도는 표 2와 같다.

4. 수치영상으로부터 도로정보 획득

수치영상으로부터 도로의 노선영상을 자동추출하는 기법은 GIS의 데이터를 자동입력·저장 및 수정할 수 있는 점에서 매우 중요한 기법이다. 도로상을 수행하면서 촬영된 영상에 나타난 도로의 양쪽 경계선을 표시하는 차선이나 교통표지판 등은 도로정보를 추출하는데 중요한 요소가 되고 있다. 좌·우측 CCD 카메라에서 얻어진 입체영상은 그림 3과 같다. 도로 경계선의 추출을 위해 우선 경계선의 강조(Enhancement)가 이뤄져야 하며, 고역통과필터(Highpass Filter)는 전체 영상에 걸쳐 경계선 강조를 위해 사용된다.

표 1. 검사점의 정확도

방 법	S_x (mm)	S_y (mm)	S_z (mm)	σ_x (mm)	σ_y (mm)	σ_z (mm)	σ_0 (μ m)	σ_0 (영상소)
부가변수를 고려 안한 경우	2.2	2.8	2.2	0.7	0.4	0.5	1.5	0.22
부가변수를 고려 한 경우	0.3	0.2	0.6	0.3	0.2	0.2	0.4	0.06

표 2. 3차원 위치결정 정확도

범지구적 좌표계상의 정확도			
	경도(deg.)	위도(deg.)	높이(m)
RMSE	0.00000023	0.00000356	0.288
국지좌표계상의 정확도 (m)			
	σ_x	σ_y	σ_z
RMSE	0.040	0.016	0.099

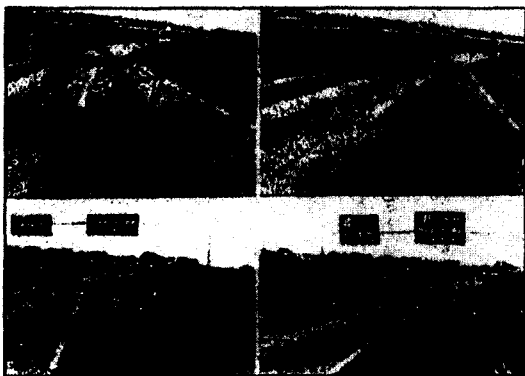


그림 3. CCD 카메라에 의해 얻어진 입체수치영상

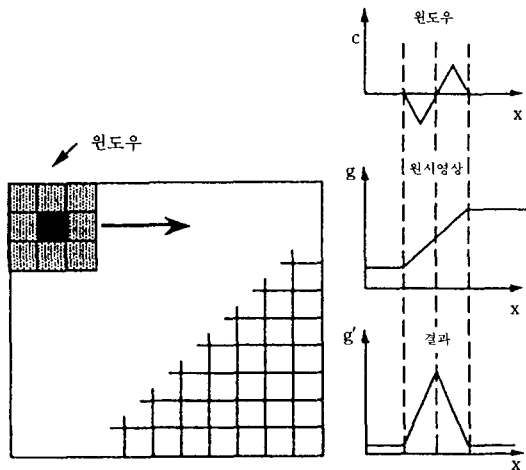


그림 4. 수치영상의 고역통과 필터

고역통과필터는 수치영상 전체에 걸쳐 3×3 크기의 윈도우를 이동시키면서 적용시키며, 본 연구에서 이용된 필터(Filter)는 Sobel 필터이다.¹⁰⁾

일반적인 도로상태에서는 중앙선과 경계선은 흰색



(a) 원시영상



(b) 경계선검출

그림 5. 수치영상으로부터 경계선 검출

이나 노란색으로 표시되어 있으며 검은색의 도로면과 대조적이므로 경계선을 찾는 데 매우 용이하다. 그러나 노면상태가 불량하거나 시골에서는 경계선이 없거나 노면과 잘 구분이 안되는 경우가 있으며 이런 경우 도로노면과 노건의 풀과의 밝기값차를 분석하여 경계선을 취득하였다.

입체영상에서 도로경계선은 직선에 가까운 형태로 나타나고 있으나 노면상태에 따라 경계선들이 연속적으로 나타나지 않는 경우가 많다. 이러한 점을 고려하여 경계선을 직선식으로 표시하여 직선으로 연결할 필요가 있으며, 이진영상에서 나타난 도로경계선을 그림 6과 같이 직선식으로 표시하면,

$$x = ky + b \quad (6)$$

이다.

각각의 입체영상에서 직선화된 도로경계선을 연결하여 연속적인 도로경계선을 얻기 위해서는 영상과 영상사이의 경계선상의 동일점을 찾아 연결시켜야 하며 그림 7은 동일점을 찾아 연결시키는 과정을 의미한다. 그림 8은 영상 사이의 경계선 연결에 의해 얻어진 도로경계선을 나타내고 있다.

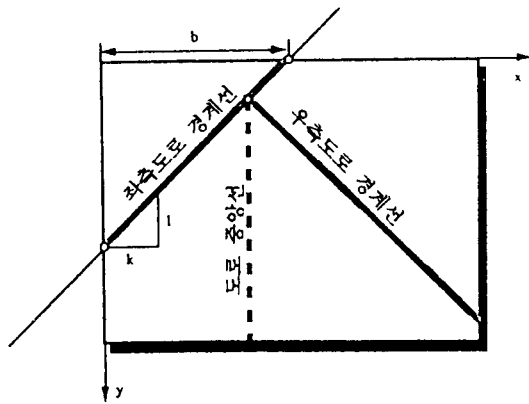


그림 6. 도로 경계선의 직선화

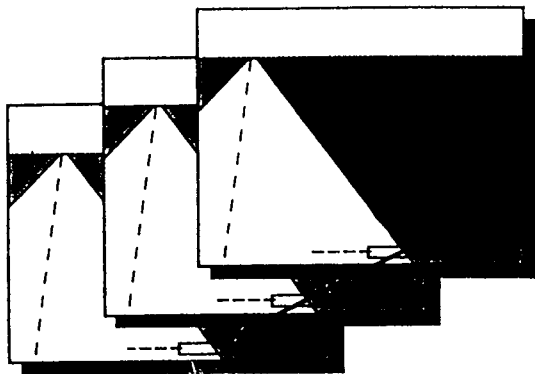


그림 7. 연속적인 영상에서 경계선의 연결

5. 효과적인 수치영상자료 관리방안

수치영상으로부터 얻어진 영상자료를 통합하는데 있어서 영상자료들은 벡터자료와 같이 관리되어야 하고 때로는 벡터형태지도의 공간을 채워주기 위해 레스터자료로 사용되어야 한다. 따라서 자료관리 측면에서 볼 때 초기단계에서는 영상소지향형(Pixel-Oriented) 자료로 처리되고 중간단계에서는 객체지향형(Object-Oriented) 자료로 관리되어야 하며 최종단계에서는 어의학적 구조(Semantic Structure)를 갖는 벡터자료로 관리되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 효과적인 수치영상자료관리를 위한 방안을 제시하고자 한다.

첫째 단계는 레스터자료관리를 위한 단계로써 CCD 카메라나 스캐너로부터 수치영상의 획득 및 원시영상자료(Raw Image Data)의 처리를 위한 레스터편집

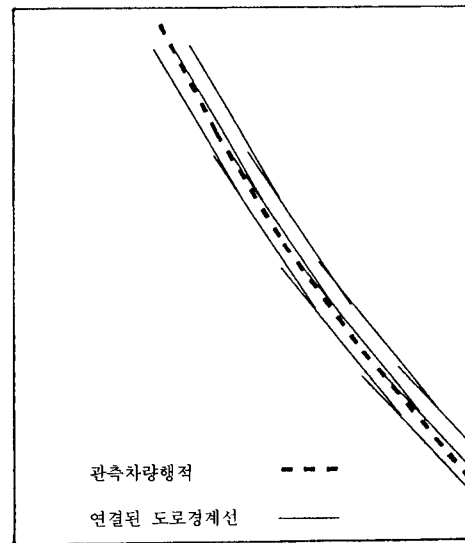


그림 8. 연속적인 영상으로부터 생성된 도로 경계선

(Raster Editor), 또한 필터링(Filtering), 경계선 검출(Edge Detection), 경계선 추적(Edge Following), 영상정합(Image Matching) 등과 같은 것을 처리할 수 있는 영상처리기법 등이 첫째 단계를 구성한다.

둘째 단계는 객체자료를 관리하는 단계로써 수치영상처리로부터 얻어진 객체자료의 분류 및 정의가 이뤄지며 자동화된 패턴인식 및 자료확인이 이뤄진다. 패턴인식모듈에 의해 차종 및 차선 인식, 도로표지판 인식, 노면상태 분류, 도로종류 구분 등을 처리하여 자료를 관리한다.

세째 단계는 벡터화된 자료를 저장관리하는 단계로써 레스터형태의 자료를 벡터화하고, 자료처리과정에서 나타난 선형요소의 추적, 또한 패턴인식에 의해 심볼 등을 인식하여 속성자료로 저장하며 도로에 관한 위치정보를 생성한다.

또한 공간정보에 대한 저장에 있어서 공간정보의 다양한 해상력으로 인해 획일화된 공간정보단위를 이용하여 정보를 저장할 때에는 불필요한 저장용량이 소요되는 단점이 있다. 일반적으로 격자를 이용하여 공간정보를 세분화하여 저장하며 공간정보의 형태에 따라 격자의 크기 및 숫자를 변화시켜야 하지만 격자크기를 작게 하면 해상력은 증가하나 저장용량이 크게 증가하는 단점이 있다. 따라서 격자크기에 대한 수준을 정해서 수준에 따라 공간정보를 저장하면 공간정보를 효과적으로 관리할 수 있다. 위계적 자료

구조(Hierarchical Data Structures)는 순환적 분해(Recursive Decomposition) 원리에 근거한 것으로 일차원 이상의 자료나 다른 형태의 공간자료를 분류할 때 주로 이용되며 이때 자료구조(Data Structures)의 등급을 나타내기 위해 사지수형(Quadtree) 자료구조가 이용된다.¹¹⁻¹³⁾ 사지수형 자료구조는 영상자료를 집약시켜 저장할 수 있는 위계적 자료구조이며 자료검색도 신속하게 할 수 있어 자료저장 및 관리를 위해 사지수형 자료구조의 활용을 제시하고자 한다.

6. 결 론

실시간 GIS 자료기반구축을 위해 도로를 주행하면서 촬영된 수치영상을 수치사진측량기법을 적용하여 분석하였고 효과적인 수치영상자료의 저장 및 관리방안을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 수치영상에서 도로의 경계선 검출이 용이하도록 하기 위해서 고역통과필터를 전체 영상에 적용하여 경계선 강도를 하였으며 입체영상들간의 경계선 불연속성을 보정하므로써 연속적인 도로선을 추출할 수 있었다.

둘째, 입체영상획득을 위한 CCD 카메라의 검정을 위해 부가매개변수를 고려한 번들조정법을 적용하여 정확도를 향상시켰으며 GPS와 CCD 카메라를 이용한 도로의 3차원 위치결정 정확도를 분석한 결과 정밀한 도로정보를 실시간적으로 취득할 수 있었다.

셋째, 수치영상자료와 영상처리결과를 효과적으로 저장관리하기 위해 본 연구에서는 레스터 자료관리단계, 객체형 자료관리단계, 벡터형 자료관리단계로 나눠 관리하는 방안을 제시했으며 저장용량의 절약과 자료검색의 효율성을 극대화하기 위해 사지수형 자료구조의 적용을 제시하였다.

감사의 글

본 연구는 1992년 하반기 해의 POST-DOC. 연구 지원사업에 의해 수행된 것으로 한국과학재단의 연구비 지원에 감사한다.

參考文獻

1. Joshua. S. Greenfeld, "A Stereo Vision Approach

to Automatic Stereo matching in Photogrammetry", Report No. 381, Dept. of Geodetic Science and Surveying, The Ohio State University, 1987.

2. Bossler J., Goad c., Johnson p., Novak K., "GPS and GIS Map the Nation's Highways", GeoInfo Systems Magazine, March, 1991, pp. 26-37.

3. Kurt Novak, "Application of Digital Cameras and GPS for Aerial Photogrammetric Mapping", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, X X IX, B4, 1992, pp. 5-9.

4. Kurt Novak, "Real-Time Mapping Technology", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, X X IX, B2, 1992, pp. 569-575.

5. Guangping He, Kurt Novak, "Automatic Analysis of Highway Features from Digital Stereo-Images", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, X X IX, B3, 1992, pp. 119-124.

6. Guangping He, Kurt Novak, Wenhao Feng, "On the Intergrated Calibration of a Digital Stereo-Vision System", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, X X IX, B5, 1992, pp. 139-145.

7. Kurt Novak, "Enhancement of a Stereo-Vision System", Final Report of Contract DAAL 03-86-D-001, The Ohio State University, 1992.

8. Bains, H.S., "Photogrammetric Surveying by GPS Navigation", Sixth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Columbus, Ohio, 1992, pp. 17-20.

9. Friess, P., "Aerotriangulation with GPS-Methods, Experience, Expectation", Proceedings of the 43rd Photogrammetric Week, Stuttgart, 1991, pp. 51-60.

10. R.C. Gonzalez, P. Wintz, "Digital Image Processing; Second Ed.", Addison Wesley, 1987.

11. H. Samet, "Hierarchical Spatial Data Structures", Lecture Notes in Computer Science 409, Springer-Verlag, 1989, pp. 193-212.

12. H. Samet and R.E. Webber, "Hierarchical Data Structures and Algorithms for Computer Graphics", Part II, Applications, IEEE Computer Graphics and Applications, 8(4), pp. 59-75.

13. M. B. Dillencourt, "Extracting Region Boundaries from Maps Stored as Linear Quadtrees", "Proceedings: Third International Symposium on Spatial Data handling", Sydney, 1988, pp. 65-77.