경사사진을 이용한 모자이크 영상 제작 Generation of Mosaic Image using Aerial Oblique Images

서상일* · 박병욱** · 이병길*** · 김종인****

Seo, Sang Il · Park, Byung-Wook · Lee, Byoung Kil · Kim, Jong In

要 旨

현재 우리나라의 도로망은 매우 복잡하고 방대하여 도로에 대한 유지보수가 지속적으로 요청된다. 하지만 도로노면의 파손정보 수집에 한계가 있으며 파손된 도로의 복구시점이 지연됨에 따른 문제가 제기되고 있다. 최근에는 도로를 중심으로 노면 및 주변시설물의 정보를 취득하기 위해 도로조사용 차량기반 멀티센서시스템을 사용하고 있지만 고가의 MMS(Mobile Mapping System) 장비를 운영할 경우 도입부터 유지관리까지 많은 비용이 소요되고 데이터 처리에도 많은 시간이 걸리는 단점이 있다. 이에 저가의 차량기반 카메라시스템을 이용하여 도로의 파손정보를 수집하고, 파손된 정보를 지도위에 표시하여 지속적인 유지관리가 가능하도록 여러 장의 영상을 집성하여 더 많은 정보를 얻을 수 있는 연구가 필요하며 차량기반 경사카메라에서 취득된 연속된 영상의 집성을 통해 일정한 지상해상도의 집성사진을 생성함으로 도로 노면 정보를 수집할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 고해상도 경사사진에서 호모그래피(Homography)를 정확하게 추정함으로 집성사진을 제작하고, 집성된 영상의 촬영간격에 따른 지상해상도 및 적정 데이터 취득간격을 분석하기 위해 공간해상도 분석용 타깃이 촬영된 고해상도 항공 경사사진의 촬영간격을 구분하여 집성영상을 분석하였고, 저가의 차량기반 도로조사시스템에 적용하는 방안을 제시하였다.

핵심용어 : 경사사진, 호모그래피, 영상집성, 특징점

Abstract

The road network becomes more complex and extensive. Therefore, the inconveniences are caused in accordance with the time delay of the restoration of damaged roads, demands for excessive costs on information collection, and limitations on acquisition of damage information of the roads. Recently, road centric spatial information is gathered using mobile multi sensor system for road inventory. But expensive MMS(Mobile Mapping System) equipments require high maintenance costs from beginning and takes a lot of time in the data processing. So research is needed for continuous maintenance by collecting and displaying the damaged information on a digital map using low cost mobile camera system. In this research we aim to develop the techniques for mosaic with a regular ground sample distance using successive image from oblique camera on a vehicle. For doing this, mosaic image is generated by estimating the homography of high resolution oblique image, and the ground sample distance and appropriate overlap are analyzed using high resolution aerial oblique images which contain resolution target. Based on this we have proposed the appropriate overlap and exposure interval for mobile road inventory system.

Keywords : Oblique Image, Homography, Image Mosaics, Interest point

1. 서 론

최근 MMS(Mobile Mapping System)에 의한 사진

측량기술은 차량 내 GPS(Global Positioning System), INS(Inertial Navigation System), CCD(Charge Coupled Device), DMI(Distance Measuring Instrument) 등 여

Received: 2014.09.02, revised: 2014.09.18, accepted: 2014.09.22

* 정회원 · 경기대학교 토목공학과 박사과정(Member, Doctoral Candidate, Dept. of Civil Engineering, Kyonggi University, ssi760@kgu.ac.kr)

** 정회원 · 한경대학교 토목안전환경공학과 교수(Member, Professor/Dept. of Civil, Safety & Environmental Engineering, Hankyong National University, ukpark@hknu.ac.kr)

*** 교신저자 · 정회원 · 경기대학교 토목공학과 교수(Corresponding Author, Member, Professor, Dept. of Civil Engineering, Kyonggi University, basil@kgu.ac.kr)

**** 정회원 · 신한형업 부설연구소 소장, 충남대학교 토목공학과 박사과정(Member, Doctoral Candidate, Dept. of Civil Engineering, Chungnam National University, kji65@naver.com)

러 센서가 통합된 것으로, 개발과 동시에 여러 활용분야에서의 활용이 증가하는 추세이며, 주로 도로 주변시설물의 3차원 측량과 도로포장의 특성 분석 등에 사용된다. 일반적으로 MMS를 이용한 측량 기술은 MMS 데이터의 취득과 처리 과정에서 최신기술의 장비 구성과 이를 해석하는 고차원적인 측량기술로 알려져 있으며, 무결성, 정확도, 신뢰성, 완전성, 생산성 측면에서의 효율적인 측량기술이다. 특히 도로관리 분야에서 도로의 품질관리와 유지보수 계획 등의 도로시설물 정보수집에 활용되는 MMS는 전측방 카메라와 GPS, INS, 레이저스캐너 등 다양한 센서에 의해 취득된 영상정보를 이용하여 도로주변 시설물 정보, 도로폭, 차로폭 등의 측정에 사용된다. 또한 후처리를 통하여 교통표지판, 도로선형, 도로표면(흙, 균열, 보수 등)의 정보를 영상으로부터 추출할 수 있다.

최근에는 차량에 부착된 카메라 외에도 다양한 센서를 탑재하여 도로의 선형, 물고임 여부, 노면온도 등의 도로 정보를 수집하고 도로관리 및 안전점검을 위하여 도면을 자동으로 작성하고 위험도 프로파일 작성에까지 사용되고 있다. 하지만 대부분의 MMS장비는 고가의 장비로 구성되어 있으며 유지관리에도 상당한 비용이 소요된다.

저가의 도로조사용 MMS의 경우 대부분 전방 카메라와 GPS 등 최소의 장비구성으로 운영되며, 전방에 장착되는 카메라는 차량의 이동방향으로 촬영되는 경사카메라로 촬영화각이나 해상도의 한계로 인해 도로의 표면정보를 수집하기 위한 도로표면영상 제작에 어려움이 있다. 또한 카메라의 정확한 위치 및 자세 정보를 취득할 수 없음으로 영상자료를 이용한 데이터 처리 및 해석에 어려움이 있으며, 자세제어가 불안정한 경우 취득된 연속된 영상의 집성사진 생성에도 어려움이 존재한다. 또한 경사카메라의 제한된 시야각과 촬영된 영상의 지상해상도 차이로 인하여 도로정보 취득에 제약이 있다. 이를 해결하기 위해 여러 각도 및 다양한 위치에서 촬영한 여러 장의 영상을 하나의 영상으로 만들어 좀 더 많은 정보를 이용할 수 있도록 하는 자동화된 이미지 모자이크 기법이 필요하다(Lim, 2007). 이에 INS 없는 저가의 MMS에서 취득된 연속된 사진으로부터 칼만필터 기반의 편위수정을 통해 도로 집성영상을 제작하기 위해, 경사 촬영 카메라에 의해 취득된 전방도로영상과 지표면간의 호모그래픽 변환에 의해 도로표면으로 편위수정을 수행하였다. 이때 칼만필터 매칭을 이용하여 첫번째 영상에서 차선 관측점이 선택되면, 두번째 영상에서 대응점은 자동으로 추출되어 정확하게 일치되는 대응점으로 기하학적으로 안정된 대축적 광

학모델을 구성하여 연속된 사진의 신뢰할 수 있는 편위수정을 수행하였다(Domenico, 2007).

최근 디지털카메라의 보급에 의해 손쉽게 파노라마 영상을 생성할 수 있으나 수동으로 사진을 찍거나 차량에 탑재하여 촬영하는 경우 카메라의 자세에 따라 영상의 각도가 틀어져 겹쳐지는 부분을 자연스럽게 정합하기가 어렵다. 이에 촬영각도가 틀린 경우에도 특징점을 찾아내는 SURF(Speeded Up Robust Features) 알고리즘을 적용하여 각각의 이미지에서 라벨링한 사각형의 4개의 포인트에 대해 1개의 중심점을 구하고 호모그래피를 이용하여 2개의 영상을 자연스럽게 정합하는 방안이 제시되었다(Kim, 2013).

Seo *et al.* (2013)은 중첩된 영역이 있는 입력 영상을 정합하는 영상처리 알고리즘을 제안하였다. 여기서 Seo *et al.*은 다수의 영상을 이용하여 하나의 고해상도의 영상을 생성하는 방법으로 고해상도 영상에서의 호모그래피를 효율적으로 추정하는 방법을 제안하였다.

최근 컴퓨터 비전 영역에서는 SIFT(Scale Invariant Feature Transform)라는 개념의 특징추출기법을 개발하여 영상의 다양한 왜곡에 대해서도 안정적으로 인식 기술을 수행할 수 있는 특징추출기법을 사용하고 있다. 항공기에서 촬영한 영상을 대상으로도 원근과 중심투영 왜곡 특성을 감안하여 SIFT기법을 이용하여 두 영상의 대응되는 특징점을 찾고, RANSAC(RANdom SAMple Consensus) 알고리즘으로 최적화된 대응점만을 추출하여 이로부터 영상간의 변환 행렬을 찾아냄과 동시에 역변환식과 역보간법을 이용하여 대상 영상을 기준영상의 영상 평면으로 변환하여 합성영상을 재구성하고 이미지 모자이크에서 고려해야할 영상 정합 부분의 경계선을 제거할 수 있는 방법이 제시되었다(Lim, 2007).

현재 국내 도로망은 매우 복잡하고 방대하게 퍼져 있어 도로노면의 파손정보 수집에 한계가 있고 정보 수집 및 유지보수 등에 과다 비용이 소요됨에 따라 파손된 도로의 복구시점이 지연되는 문제가 제기되고 있다. 이에 도로노면의 파손 정보를 수집하고 공간정보와 함께 지속적인 관리를 수행하기 위하여 도로조사를 위한 차량용 카메라시스템에서 취득된 연속된 영상의 집성을 통해 일정한 지상해상도(GSD; Ground Sample Distance)를 가진 도로노면 정보를 수집하여야 한다. 하지만 도로조사용 카메라시스템은 카메라의 장착위치나 자세가 차량마다 다르고, 데이터 취득간격이 상이함에 따라 본 연구에서는 우선적으로 공간해상도 분석용 타깃이 설치된 항공 경사사진을 이용하여 호모그래피 변환을 통한 편위수정 및 영상집성을 수행하고, 집성된 영상의

일정한 지상해상도 확보를 위해 카메라의 촬영간격별 집성영상의 해상도를 확인하여 향후 도로조사용 차량 카메라시스템 구성에 적용하고자 한다.

2. 경사사진 편위수정 및 집성

2.1 호모그래피 변환

호모그래피 변환(homography transformation)은 전 세계적으로 가장 많이 사용되는 geo-referencing 기술로 동차좌표(homogeneous coordinates)나 투영평면(projective planes)으로 알려진 복잡한 형상이나 수학적 개념을 기반으로 하고 있다.

직교 평면은 X-Y 두 개의 축에 일대일 대응점의 집합에 의해 구성된다. 이는 평면에서 4지점이 주어지고 이에 다른 평면에서 상응하는 4개의 점에 의해 변환관계가 성립되는 것을 의미하며 이는 2개의 이미지 평면 사이의 호모그래피에 의해 정의된다. 초기 호모그래피는 지도의 geo-referencing에는 사용되지 않았지만 원근사진으로부터 건물의 평면 이미지를 생성하기 위한 원근투시영상의 편위수정을 위해 사용되었으며, 항공사진 기술이 사용됨에 따라 호모그래피 변환은 지도 분야로 확장되어 사용되었다. 항공사진측량 분야에서의 호모그래피는 Fig. 1과 같이 지상에 투시된 지도라고 가정하고 사용된다.

호모그래피 변환을 위한 일반적인 호모그래피 계산 과정은 Fig. 2와 같이 4단계의 과정으로 이루어지며 (Lee and Lee, 2011) 연속된 사진에서 집성사진을 생성하기 위해 가장 중요한 요소는 호모그래피를 추정하는 것이다. 호모그래피를 정확하게 추정하기 위해서는

Figure 1. The perspective to plane transformation performed by means of homography

1 st stage:	Extracting the Feature Points
2 nd stage:	Matching the Feature Points
3 rd stage:	Selecting the Feature Points
4 th stage:	Estimating the Homography

Figure 2. Homography estimation process

Fig. 2의 4단계 과정 중 특징점 추출, 매칭, 선별과정을 거치게 되는데 우선 2개의 연속된 영상에서 특징점을 추출하여야 한다. 특징점을 추출하기 위한 대표적인 알고리즘은 SIFT와 SURF 등이 있으며, SIFT 알고리즘은 영상의 크기와 회전에 불변하는 특징을 추출하는 알고리즘으로 탐지(detection)나 인식(recognition)에 응용될 수 있다. SIFT 알고리즘은 영상크기(scale), 조명(illumination), 평행이동, 회전, 폐색에 강하다는 장점이 있지만 계산량이 많은 단점이 있다. SURF 알고리즘은 여러 개의 영상으로부터 크기, 조명, 시점 등의 환경 변화를 고려하여 환경 변화에 불변하는 특징을 찾는 알고리즘 중 하나로서 원근 투영시 카메라 자세의 불안정에 따른 두 영상간의 오정합을 크게 개선하고 SIFT에 비해 속도를 크게 향상시킨 알고리즘이다. 하지만 SURF는 gray 공간상의 정보만 이용함에 따라 color 공간상에 주어진 많은 유용한 특징들을 활용하지 못한다는 단점이 있다.

다음으로 RANSAC 알고리즘을 이용하여 잘못 일치된 특징점을 제거하여 2개의 이미지 사이에 4개의 대응점을 추출하는데 확률적으로 최적이라고 판단되는 호모그래피가 도출될 때까지 반복적으로 추정한다(Seo et al., 2013).

2.2 경사사진 취득

본 연구에서 사용되는 경사사진은 측정용 카메라인 Rollei AIC P45+로 촬영한 것으로 Table 1에서 보는바와 같이 픽셀크기가 6.8 μ m에 7216 $\times$ 5412 픽셀이며, 초점거리는 72mm이다. 촬영은 Fig. 3과 같이 고도 1,000m에서 촬영 진행방향인 전방 45도 촬영각으로 60% 중복하여 촬영되었다.

Table 1. Specifications of aerial oblique camera

Category	Specification
Camera Type	Rollei AIC P45+
CCD Array(pixel)	7216 $\times$ 5412
Sensor size	49.1mm $\times$ 36.9mm
Pixel size	6.8 μ m
Focal Length	72mm

Figure 3. Footprint design of aerial oblique image

경사사진은 Fig. 3, Fig. 4와 같이 촬영각, 촬영고도에 따라 촬영영역이 정의되며, 촬영중심으로부터 경사

사진의 근경(a), 주점(b), 원경(c)까지의 거리에 따라 지상해상도가 결정된다.

Figure 4. Aerial oblique image sequence

2.3 모자이크(집성) 사진 생성

본 연구에서는 우선 연속된 전후영상(Fig. 5(a))의 특징점을 찾기 위해 SURF 알고리즘을 이용하여 특징점을 추출(Fig. 5(b))하였다. 그 다음 단계로 추출된 특징점간에 연관성이 필요하고 이에 nearest neighbor matching 기법을 이용하여 두 영상간에 매칭을 정의하였다(Fig. 5(c)). 이는 기준영상에서의 특징점과 두 번째 영상간에 특징점의 상관관계를 정의하는 것이다. 이때 연결된 무수히 많은 점들 중에 잘못 연결된 특징점도 다수 포함되어 있으므로 RANSAC 알고리즘을 이용하여 매칭된 특징점들 중 부정확한 점을 제거하고 일치되는 점만 추출하여 전후 영상간의 대응점을 선별(Fig. 5(d))한다. 이 중 4개의 점을 이용하여 호모그래피를 추정하여 영상집성을 수행하였다. 여기서 사용되는 경사사진은 고해상도 영상으로 영상의 해상도나 크기가 커질수록 특징점의 추출개수가 증가하고, 기준영상에서 대응되는 정확한 대응점을 일치시키는 과정이 증가하기 때문에, Seo *et al.*(2013)의 연구에서 제시한 다운샘

플링을 이용하여 특징점을 추출한 후 RANSAC 알고리즘을 이용하여 오정합된 대응점을 제거하고 정확하게 일치된 대응점을 추출하여 정확한 호모그래피 추정에 의한 영상집성을 수행하였다.

항공경사사진의 영상집성은 컴퓨터 비전분야에서 가장 많이 사용되고 있는 AForge.NET의 확장 프레임워크인 C#언어로 된 Accord.NET를 이용하여 SURF, Correlation, RANSAC등을 구현하였다. Accord.NET 라이브러리는 자동 영상집성과 파노라마영상 생성이 가능한 개발라이브러리로 Fig. 6과 같이 연속된 경사사진의 집합으로 하나의 고해상도 집성경사사진을 생성하였다.

3. 영상 해상도 분석

3.1 촬영 단위별 사진 해상도 분석

경사사진에서는 Fig. 3과 같이 하나의 사진 내에서도 촬영지점으로부터 거리가 멀어짐에 따라 축척이 감소

Figure 5. Oblique images mosaicking process by homography estimation

(a) Mosaic Oblique Images

(b) Simens star, Bar Resolution Target

Figure 6. Mosaic results of oblique images using SURF algorithm and homography

Figure 7. GSD Check of oblique image sequence

Figure 8. GSD comparison by overlaps of oblique images (H: High Resolution, M: Medium Resolution, L: Low Resolution)

하기 때문에 촬영되는 영역과 촬영지점 간의 거리에 따라 지상해상도의 차이가 발생한다. 본 연구에서는 연구 대상지 내에 지상해상도 검정이 가능한 Simens star, bar resolution target을 설치하여 촬영하였다. Fig. 4의 연속된 경사사진에 대한 해상도를 확인한 결과 Fig. 7과 같이 해상도 검정용 target이 Fig. 3의 (a)지점에 설치된 Image#3의 경우 GSD는 9~10cm, (b)지점에 설치된 Image#2의 경우 GSD는 13~15cm, (b)-(c)사이

설치된 Image#1의 GSD는 15~20cm인 것을 확인할 수 있었다.

3.2 집성사진 해상도 분석

경사사진의 촬영영역의 근거리, 주점, 원거리 영역별 지상해상도 차이로 편위수정된 집성 경사사진에서 일정한 지상해상도를 유지하기 위해서는 촬영시 중복도가 중요하다. 일반적으로 Fig. 8(a)와 같이 촬영 중복도

Figure 9. Mosaic image and GSD target using 40% overlapped oblique images

Figure 10. Mosaic image and GSD target using 60% overlapped oblique images

Figure 11. Regular GSD by overlaps of oblique images

Figure 12. GSD comparison by overlap

가 부족하면 영상집성시 접합오류 및 지상해상도 저하의 원인이 되며 Fig. 8(b)와 같이 중복도 높여 촬영하게 되면 균일한 지상해상도를 유지할 수 있다.

Fig. 9는 40% 중복된 항공 경사사진에 의해 집성된 영상으로 공간해상도 타겟이 설치된 지점에 중복되는 영상이 없고, Fig. 10은 60% 중복된 항공 경사사진에 의해 집성된 영상으로 공간해상도 타겟이 설치된 지점에 중복되는 영상이 있다.

경사사진 촬영시 주요 설계요소인 촬영고도, 경사카메라의 각도와 카메라의 렌즈 초점거리에 의해 설정된 촬영영역(full area coverage)이 결정되면 촬영을 위한 운항속도로 중복도를 결정할 수 있다. Fig. 11의 (a)와 같이 촬영 간격이 길어 중복되는 영역이 적을 경우 중간 누락되는 부분에 의해 지상해상도 차이가 발생하고 집성된 영상의 일정한 지상해상도 확보가 어렵다. 이에 Fig. 11(b)와 같이 촬영 간격을 짧게 하면 집성되는 부분의 균일한 지상해상도를 유지할 수 있다.

Fig. 9, Fig. 11 (a)와 같이 촬영간격이 길어 영상집성시 누락되는 부분이 생긴다면 Fig. 12 (a)와 같이 집성된 영상에서 해상도가 저하됨을 알 수 있다. 또한 Fig. 10, Fig. 11(b)와 같이 데이터 취득 간격이 조밀한 경우 영상집성시 누락되는 부분이 없어 Fig. 12의 (b)와 같이 지상해상도가 향상됨을 알 수 있었다.

본 연구에서는 Fig. 10과 같이 60% 중복하여 촬영된 연속 경사사진을 이용하여 집성한 결과 경사사진이 촬영중심으로부터 가장 가까운 영역에서 집성됨으로 고해상도의 집성사진을 생성하는 것을 알 수 있었고, 일정한 지상해상도를 확보 할 수 있음을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 연속된 경사사진 편위수정과 영상집성을 통해 고해상도 집성 경사사진을 생성하였고 집성된 경사사진의 지상해상도를 분석하였다. 또한 도로조사용 경사카메라를 이용한 도로노면정보 취득시 촬영 중복도를 설정하기 위해 촬영간격에 따른 지상해상도를 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 연속된 경사사진의 영상집성은 컴퓨터 비전분야에서 가장 많이 사용되고 있는 Accord.NET 개발 라이브러리를 이용하여 SURF, RANSAC, 호모그래피를 구현하고 고해상도 집성경사사진을 생성하였다. 고해상도 경사사진 접합시 계산시간을 줄이기 위해 다운샘플링에 의해 호모그래피를 추정하여 집성사진을 생성할 수 있었다.
2. 경사사진은 카메라 중심에서 멀어질수록 촬영축척이 감소하므로 촬영영역에서 지상해상도 차이가 존재하나 집성된 경사사진을 분석한 결과 60% 중복도로 촬영한 경우 고해상도 영역에서 접합되는 것을 알 수 있었다.
3. 집성된 경사사진 분석 결과 도로조사용 카메라시스템에 적용하기 위한 촬영 중복도는 60% 이상으로 하여야 하며, 이 경우 편위수정된 집성 경사사진이 균일한 지상해상도를 유지한다. 이에 차량기반 도로조사 차량에서는 촬영 중복도에 영향을 미치는 카메라의 촬영 간격은 차량의 운행속도를 반영한 촬영이 수행되어야 함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청 업종공통 기술개발사업 (S2133649)에 의하여 지원되었음.

References

1. César de Souza, 2012, Automatic Image Stitching with Accord.NET, <http://www.codeproject.com/Articles/95453/Automatic-Image-Stitching-with-Accord-NET>
2. César de Souza, 2014, Accord.NET Framework, <http://accord-framework.net/>
3. Domenico Visintini, 2007, Road survey by Kalman filter rectification of image sequences acquired with a monoscopic low-cost MMS, ISPRS WG I/5 et al, The 5th International Symposium on Mobile Mapping Technology MMT '07, Volume XXXVI-5/C55,
4. Kim, K B, 2013, Panoramic image reconstruction using SURF algorithm, Journal of The Kora Society of Computer and Information, The Kora Society of Computer and Information, Vol. 18, No. 4, pp-13-18.
5. Lim, In-Geun, 2007, Mosaicking techniques of aerial photographs using the RANSAC algorithm, Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, The Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 10, No. 2, pp. 180-187.
6. Lee, K Y and Lee, J W, 2011, Ground plane detection using homography matrix, Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Institute of Control, Robotics and Systems, 17(10), pp. 983-988.
7. Ochirbat Sukhee and Yoo, H H, 2010, Error correction of interested points tracking for improving registration accuracy of aerial image sequences, Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, The Korean Society for Geospatial Information System, Vol. 18, No. 2, pp. 93-97.
8. Seo, S I, Park S D, and Yoon D J, 2009, A study on the design parameters for oblique aerial Photography, Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography, pp. 75-82.
9. Seo, S W, Joeng, S W, Han, Y S, Choi, J S, and Lee, S K, 2013, Efficient Homography Estimation for Panoramic Image Generation, Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol. 50, No. 8, pp. 2143-2151.
10. Technobit, 2013, The Homography transformation, http://www.corrmap.com/features/homography_transformation.php
11. Wayne O. Cochran, 2013, Numerical Computing, <http://ezekiel.vancouver.wsu.edu/~cs330/>