

스테레오 카메라와 비균일 메시를 이용한 체적 계산 알고리즘

이영대^o, 조성윤^{*}

^o*안양대학교 디지털미디어학과

e-mail: ydlee@anyang.ac.kr^o, scho@anyang.ac.kr^{*}

Volume Calculation Using Stereo Camera and Non-uniform Mesh

Young-Dae Lee^o, Sung-Yun Cho^{*}

^o*Dept. of Digital Media, Anyang University

● 요약 ●

이 논문에서는 쓰레기 매립의 표준화를 위한 일환으로 쓰레기 체적을 주기적으로 계산하는 알고리즘을 제시하였다. 안전하고 쾌적한 도시 환경을 조성하기 위해 폐기물 매립 시설은 필요하며 폐기물 부피 관리의 신뢰성 및 용량 정보의 정확성을 파악하는 것이 필요하다. 카메라 캘리브레이션 이후에 대상체의 표면에 대한 포인트 클라우드(point cloud)를 얻을 수 있었으며 이것을 물체의 체적 계산 알고리즘의 입력으로 선택하였다. 비균일 격자(uniformmeshing) 방법에 기초한 체적 계산 알고리즘을 제안하였으며 알고리즘의 타당성을 시뮬레이션과 실제 실험을 통해 입증하였다. 제시된 알고리즘은 쓰레기 매립의 체적 계산 뿐 만이 아니라 삼차원 객체의 일반적인 체적 계산을 위한 알고리즘으로도 사용될 수 있다.

● Abstract ●

In this paper, we proposed the algorithm computes the waste volume periodically for the way of waste repository standard. For the construction of safe and clear urban environment, it is necessary that we identify the rubbish waste volume and we know the accuracy volume. After camera calibration, we obtained the point cloud on the surface of the object and took this as the input of the calculation algorithm of the object volume. We proposed the two volume calculation algorithms based on the triangularmeshing methods and verified the validity of the algorithm through simulation and real experiments. The proposed algorithm can be used not only as the volume calculation of the waste repository but also as the general volume calculation of a three dimensional object.

키워드: 체적 계산 (volume Calculation), 다중 카메라 시스템 (multi camera system), 카메라 캘리브레이션 (camera calibration)

1. 서론¹⁾

본 연구는 대기 및 수질 등의 환경정보 측정 및 관리(TMS) 현황에 비해 상대적으로 체계화 되지 못한 폐기물 매립지의 형상 및 용량 변화관리를 위한 3차원 매립형상정보체계를 구현하는 것을 목표로 한다.

본 연구를 통해 매립 외형의 형상정보, 시점의 변화에 따른 차이에 대한 분석정보, 부피에 대한 계측 정보를 생산하고 활용하기 위한 기술을 개발하며, 또한 ‘매립상황인식 통합플랫폼’과의 연동

을 위한 기술을 개발함으로써 ‘매립상황인식 통합플랫폼’ 개발을 완성할 수 있도록 단위 모듈을 개발하는 것이 궁극적인 목표이다.

본 연구의 목적은 외형정보(매립형상정보) 내적정보(시점의 변화에 따른 차이 분석 및 매립용량체적 정보) 등을 생산하고 표출하기 위한 ‘3D 매립형상정보 표출 시스템’을 구축하는 것이다. 또한 3D 매립형상 정보의 정확성을 분석하고 폐기물매립지가 요구하는 정확도의 수준을 만족하도록 ‘3차원 매립형상정보의 정확도 유지방안 연구’를 수행하는 데 있다.

이를 위해 쓰레기 매립을 측정하기 위한 스테레오(stereo) 카메라 시스템을 제작하여 사용하였으며 먼저 카메라 캘리브레이션을 통해 왜곡된 측정값을 교정한 다음 측정하고자 하는 쓰레기 매립

1) 본 논문은 환경산업기술원-차세대 EI 사업 『매립지 실시간 계측 및 계량분석』-지원에 의해 수행되었음.

장의 쓰레기 표면 점들의 클라우드(cloud)를 얻게 된다. 다음에 이들 점들에 대해 기준좌표로의 변환을 행하며 변환한 좌표 상에서 제시된 방법에 따라 체적 계산을 행하게 된다.

실제 체적을 계산하기 전에 수학적인 체적 모델을 만들어 제시된 알고리즘의 성능을 비교해본 결과 격자(mesh) 크기에 대해 제시된 두 가지 알고리즘이 비슷한 계산을 보였으며 이는 제시된 방법의 타당성을 보여준다.

II. 개발 방법

1. 소프트웨어

개발을 위해 OpenCV라는 개방형 컴퓨터 비전 라이브러리를 이용하며 표면 재구축을 위해서도 CGAL은 컴퓨터 기하 라이브러리를 사용하고 Visual C++에서 OpenCV를 임포트하여 전체적인 알고리즘을 작성한다. 본 제품에서는 일반적으로 스테레오형 카메라를 구입 시 이미 캘리브레이션된 삼차원 좌표점 들의 데이터로 나오므로 스테레오 카메라 캘리브레이션이 필요없지만 고가이고 원거리 측정에 필요한 사양을 가지고 있지 않다. 따라서 스테레오카메라 시스템을 제작하고 캘리브레이션을 통해 그림 1과 같은 절차에 따라 체적 계산을 하고 방법을 제시한다.

2. 개발 절차

따라서 본 연구에서는 기능이 부족한 상용의 소프트웨어를 배제하고 오픈 API를 제공하는 소프트웨어로 오픈 영상 처리 소프트웨어 라이브러라인OpenCV를 채용하여 폐기물 매립량을 계산하는 프로그램을 개발하였다[11][12]. 이 경우에 (1)(2)(3)은 프로그램 소스가 제공되며 (4)(5)(6)(7)(8)에 대한 개발을 수행하게 된다

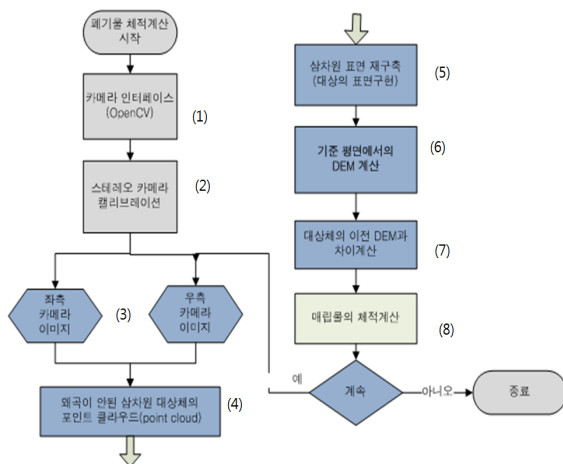


그림 1. 폐기물 매립량 계산 알고리즘의 일반적인 절차도
Fig. 1. Flowchart of Computation for the Filling-Up of Rubbish.

III. 본 론

3. 제시된 알고리즘

[개발 단계]

단계1: 카메라 인터페이스 : 카메라 제공업체에서 주는 디바이스 드라이브 소프트웨어 번들을 사용한다. USB 시리얼 인터페이스나 네트워크 디바이스 드라이버가 사용된다.

단계2: 스테레오 캘리브레이션 : 카메라를 모델링하고 파라미터를 보정하며 왜곡제거를 행하고 전체 보정을 한다. 투영인 경우 어파인 변환과 투시변환 및 3D 포즈를 추정하고 스테레오 영상을 획득한다.

단계3: 스테레오 이미지 입력: 캘리브레이션으로 교정된 삼차원 표면의 점들이 이미지로 평면에 나타나게 되면 캡처 명령으로 이미지를 획득하여 저장하게 된다.

단계4: 이미지 머징한 삼차원 포인트 클라우드: 획득한 삼차원 표면 클라우드의 좌우 교정 이미지에서 대응점(correspondence)들을 구한다.

단계5: 삼차원 체적을 구하기 위한 매싱(mashing)을 아래 중에서 선택한다.

- (가) 비균일한 크기의 사각형 격자를 이용하는 법
- (나) 비균일한 크기의 삼각형 격자를 이용하는 법
- (다) 비균일한 크기의 사각형 격자를 이용하는 법(참조용)

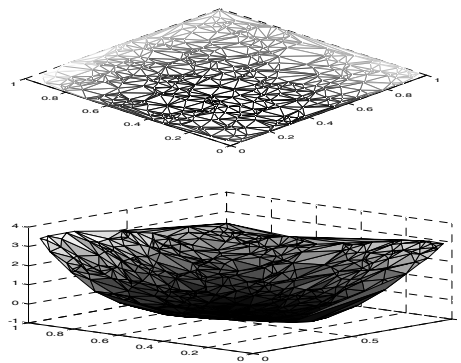


그림 2. 비균일 삼각형 격자와 목적 대상 함수 예
Fig. 2. The Non-uniform Triangular Mesh and the Objective Function Example

단계 6: (가)~(라) 방법에 따라 부피계산을 행한다.

(a) 계산 방법은 적도면이나 그 하단을 평면으로 기준 평면으로 설정한다.

(b) 다음에 선택한 격자들을 기준면에 표시한다. 이를 위해

각 격자들의 중심에 대해 평균 높이를 계산한다. 불균일한 삼각형(TIN, Triangular Irregular Network)인 경우에는 법선 벡터를 이용하여 기준면에서도 TIN 격자에서의 평균 높이를 계산한다.

- (c) 기준면을 중심으로 한 전체 체적을 계산한다.
 - 격자의 면적을 계산하고 격자 사각형이나 격자 삼각형의 무게 중심에 격자내에 있는 점들의 평균 투영 높이를 투영면 무게 중심으로 계산한다.
- (d) 전체 체적은 전체 격자수에 대해 투영된 메시들의 넓이와 그 점에 평균 투영 높이를 계산하여 모두 더함으로써 총 체적이 행해진다.

단계 7: 현재 매립된 쓰레기 체적에서 이전에 매립된 체적-에를 들어, 금일 총체적과 금일 총체적-를 감산함으로써 매립된 쓰레기 체적이 구해진다. 주간 매립 체적과 월간 매립 체적도 이와 같은 방법으로 계산한다.

IV. 모의실험과 검토

1. 지표형상과 격자 모양에 따른 체적 계산 알고리즘 성능비교

[방법]

- (A) 비균일 사각형 격자
- (B) 비균일 삼각형 격자

[목적함수]

- 완만한 경사면: $F_1 = X + Y$
- 오목한 경사면: $F_2 = X.^2 + Y.^2$
- 굴곡이 심한 경사면:
 $F_3 = 10 + 1.2(-1.5 * \sqrt{(X.^2 + Y.^2)}/5)$
 $. * \cos(0.5 * Y) . * \sin(X)$

2. 격자수가 적을 때(조건 I)

표 1. 격자수가 적고 격자 크기가 클 때

Table 1. In Case That the Small Number of Meshes and Small Mesh Size

방법 \ 유형	$F_1(10^4)$	$F_2(10^5)$	$F_3(10^3)$
A	2,7000	5,4900	9,0007
B	2,7000	5,4900	9,0007
정답	2,7000e+04	Unknown	9,0000e+03

가로길이 = 30m, 세로길이 30m, 가로방향 길이중분= 1m, 세로방향 중분길이= 1m, 가로격자수 = 30, 세로 격자수 = 30, 불규칙 삼각격자수=900

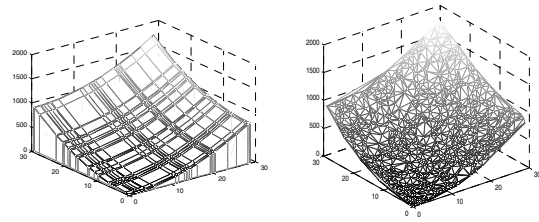


그림 3. 오목한 경사면 에 대한 경우: 그림: 좌측(A), 우측(B)
Fig.3. The Example of the Surface Shape in the case of the Concave Shape

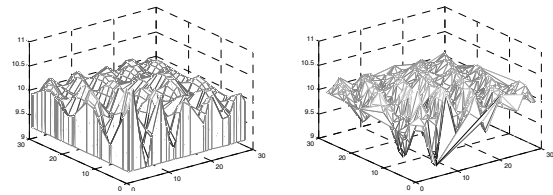


그림 4. 굴곡이 심한 경사면 에 대한 경우: 그림: 좌측(A), 우측(B)
Fig.4. The Example of the Surface Shape in the case of the Erratic Surface Shape

표 2. 격자수가 많고 격자 크기가 작을 때

Table 1. In Case That Small Number of Meshes and Small Mesh Size

방법 \ z=f(x)	$F_1(10^4)$	$F_2(10^5)$	$F_3(10^3)$
A	2,7397	5,5338	9,0006
B	2,7000	5,4225	9,0005
정답	2,7000	unknown	9,0000

가로길이 = 30m, 세로길이 30m, 가로방향 길이중분= 0.2m, 세로방향 중분길이= 0.3m, 가로격자수 = 100, 세로 격자수 = 150, 불규칙 삼각격자수=1500

VI. 결 론

본 연구에서는 삼차원 대상체의 체적을 스테레오 비전 카메라를 이용하여 계산하고 매립량을 계산하기 위한 알고리즘을 개발하였다. 스테레오(stereo) 카메라를 이용하여 왜곡 파라메타 교정을 한 후에 쓰레기 매립지의 대상 표면 점들의 클라우드를 얻게 되며 이를 체적 알고리즘의 입력으로 하여 제시된 방법의 체적계산 알고리즘을 통해 대상체의 체적을 계산하게 된다. 그리고 이 부피 값과 비교하고자 하는 대상체의 체적 값(예, 전일 체적 등)을 감산하여 매립된 또는 쌓아올린 체적을 계산한다.

참고문헌

- [1] Statistics of landfill facilities, Ministry of Environment, 2010
- [2] Research and field measurement of greenhouse gas emission from landfills, Korea Environment Corporation, 2008

- [3] Review of domestic applicability and case studies of domestic and foreign for verification National Greenhouse Gas Emission Factors, 2011
- [4] Waste landfill technologies-based research, SUDOKWON Landfill Site Management Corporation, 2005
- [5] A study on roadmap construction of maintenance project for sustainable landfill, Korea Environment Corporation (Korea Environment & Resources Corporation), 2009
- [6] <http://www.3dsystems.co.kr>
- [7] <http://da.vidr.cc/projects/pixelstruct/>
- [8] <http://www.cgal.org>
- [9] <http://www.sorceforge.net>
- [10] <http://www.kurabo.co.jp>
- [11] <http://www.opencv.org>
- [12] "Learninig OpenCV : Computer Vision with OPenCV Library", Gary Bradski and Adrian Kaehler, O'Reilly