

스테레오 X-선 투시장치 전산 모사를 위한 수치적 팬텀 설계

황영관, 이승욱, 이남호, 문명국
한국원자력연구원

The Numerical Phantom Design for Simulation of the Stereo X-ray Inspection System

Young Gwan HWANG, Seung Wook LEE, Nam Ho LEE, Myung Kook MOON
Korea Atomic Energy Research Institute

Abstract - 스테레오 X-선 영상시스템 개발을 위하여 수치적 프로젝션을 획득하는 방법론 및 수치적 팬텀 영상을 고안하고 시뮬레이션하였다. 오픈소스인 TAKE21을 사용하여 수치적 팬텀을 설계하고 그로부터 프로젝션 이미지를 획득하였다. 스테레오 영상을 위한 평행 원근 투영(Parallel-Perspective) 기하구조에 대한 스테레오 프로젝션 영상을 얻기 위해서 계측기의 계와 선원의 위치에 대해 동차 좌표계(Homogeneous coordinate)에서의 선형변환(Linear Transform)을 적용되는 방식을 이용하였다. 이러한 시뮬레이션은 스테레오 X-선 검색 장치의 설계 및 알고리즘 개발에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

델을 설정한다면 대상물체의 한 점은 2차원의 평면에 투영된 좌표값으로 나타내게 되며, 이 때 3차원의 좌표와 2차원의 투영 좌표값 사이의 관계를 나타내는 행렬을 투시변환 행렬이라고 정의 한다. 투시변환행렬은 투영 이미지에 대한 회전성분과 투영이미지가 형성될 때의 물체를 스캔하는 속도, X-선 선원과 검출기 간의 거리, 각각의 검출기의 중심점과 X-선 선원 간의 높이차와 같은 성분을 가진다. 따라서 회전 성분을 제외한 모든 값을 고정 시킨다면 회전각도가 다른 두 장 이상의 2차원 이미지로부터 3차원 이미지에 대한 깊이 정보를 추출해 낼 수 있다.

1. 서 론

전 세계적으로 문제시 되고 있는 테러 및 밀무역에 대한 대책 마련 차원에서 국가마다 항만, 공항 등에서 검색 장치의 활용도가 크게 증가하고 있는 추세이다. 현재 운용되고 있는 장치들은 단면만 투사하는 방식을 사용하기 때문에 물체 형상의 식별에 있어 여러 가지 기술적인 문제가 발생하게 되었고, 이를 해결하며 보다 정밀하게 검사하기 위한 검색 장치의 개발이 요구되어 왔다. 한 가지 대안이 X-선을 이용한 스테레오 검색 장치이다. 스테레오 X-선 검색 장치는 2000년대 초기에 소개되었다. 이러한 장치는 실질적인 면에서 이로움과 활용적인 부분에서 좋은 전망이 기대되지만 기존의 다른 전형적인 방법과 비교하여 핵심적인 영상 처리 알고리즘의 개발이 필요하다.

본 논문에서는 스테레오 방법과 다른 방법 사이에서 스테레오 알고리즘을 비교하기 위해 스테레오 X-선 검색 장치 개발을 위한 다양한 수치적 팬텀 영상이 고안되었다. 스테레오 X-선 검색 장치를 위한 수치적 팬텀 영상에 대하여 몇 가지 평가 기준과 초기 수치적 팬텀 테스트를 위해 표준 Pushbroom 알고리즘[1-4]이 사용되었다. 팬텀 설계 및 X-선을 이용한 프로젝션 이미지는 리눅스 기반의 TAKE21 프로그램[5]을 이용하여 획득하였다. X-선 투시장치의 모델링은 실제 장치의 1차원 검출기를 이용한 라인 스캔 방식으로 모델링 하였다. Pushbroom 알고리즘 적용을 위해 X-선 발생장치를 기준으로 z축(선원과 검출기를 연결하는 축) 상에서의 각도 변화를 통하여 각도가 다른 이미지를 획득하였다. 고안된 팬텀 영상과 시뮬레이션의 결과는 스테레오 X-선 검색 장치를 위한 수치적 팬텀 영상 제작과 팬텀 이미지 선택을 위해 매우 유용하게 사용될 것이며, 더 나아가 알고리즘의 개발뿐만 아니라 실용적인 실제 장치의 개발을 위한 중요한 자료가 될 것이다.

2. 본 론

2.1 Pushbroom 스테레오 영상

3차원 지형정보의 추출을 위해 고안된 Pushbroom 스테레오 영상 기법은 일반적으로 위성영상이나 항공영상에 사용되고 있으며 Pushbroom 센서의 분석과 모델링은 케도운동을 포함하는 수학적 모델의 비선형성과 회전하는 지구에 대하여 케도를 선회하는 위성의 움직임 때문에 복잡하며 계산량이 많다. 따라서 Pushbroom 스테레오 영상 기법을 간소화한 선형 Pushbroom 모델을 Gupta and Hartley에 의해 DLT(Direct Linear Transformation) 모델링에 대해 제안하였다. Pushbroom 스테레오 영상기법은 1차원으로 배열된 센서에 3차원 이미지를 2차원 이미지로 투영하는 형태로 구성된다. 1차원 배열형태로 구성된 검출기에 의해 1차원 영상이 형성되고, 규칙적인 시간 간격에 따라 선형검출기로부터 1차원 이미지들의 집합인 2차원 이미지가 형성된다. 이러한 기법은 X-ray 계측에서 주로 이용되고 있다. 대상 물체가 X-선원에 수직하게 움직임에 따라, 여러 개의 1차원 투영으로 형성된 2차원 영상은 동차 방향으로 검출기 평면에 정사영 되고, 직교방향으로 투영된 Pushbroom 이미지로써 처리 되어진다. 그림 1과 같이 구성된 X-ray 검색 장치는 이러한 개념을 바탕으로 구성된 것이다. 투시변환을 이용하여 추상적 모

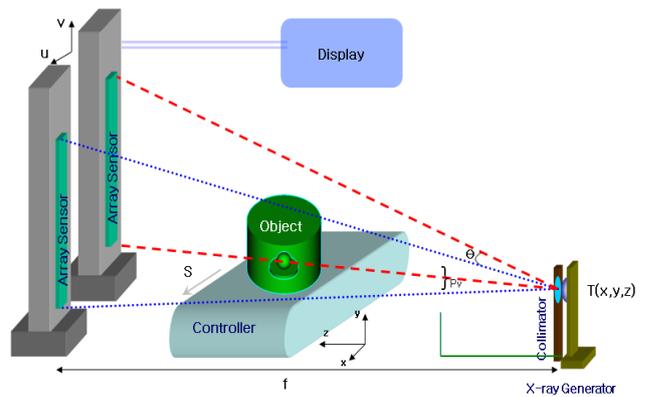


그림 1 X-ray 투시장치 구성

2.2 X-선 투시장치의 수학적 모델링

X-선 스테레오 영상에 관한 시스템을 수학적으로 모델링하기 위해서 Take21에서는 동차 좌표계(Homogeneous Coordinate)를 사용한다. 동차 좌표계(Homogeneous coordinate)에서 점과 방향은 4x1 벡터로 나타내는데, 벡터 $\eta = [xyz\omega]$ 에서 ω 가 0이면 점을 나타내고, ω 가 1이면 방향을 나타낸다. 3차원 좌표계는 다음과 같이 표현된다.

$$C = [ijkm] = \begin{pmatrix} i_1 & j_1 & k_1 & m_1 \\ i_2 & j_2 & k_2 & m_2 \\ i_3 & j_3 & k_3 & m_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서, i, j, k는 선형적으로 독립적인 방향벡터이고 계의 축에 해당하며 m의 계의 원점을 나타낸다.

스테레오 X-선 영상에서의 선원의 점과 계측기의 계는 다음과 같이 나타내어질 수 있다.

$$\text{선원의 위치: } s = Rs = RS_0 \quad (2)$$

$$\text{계측기의 계: } D = [abcd] = RD \quad (3)$$

여기서, R은 기준 계의 행렬로서 4x4의 identity matrix, s는 선원위치에 대한 벡터, a,b,c,는계측기 계를 표현하는 orthogonal 벡터 d는 계측기 중앙점의 위치벡터이다.

스테레오 X-선 영상에서는 Object가 선형적으로 이동을 하게 되는데,

이때 이동변환 행렬은

$$Trl(t_x, t_y, t_z) = \begin{pmatrix} 100 & t_x \\ 010 & t_y \\ 001 & t_z \\ 000 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

로 주어진다. 평행-원근 기하학의 X-선 스테레오영상을 얻는 것은 초기의 계측기 계 D_0 , 선원의 초기 위치 s_0 에 대해서 (n+1)번째 프로젝션을 위해서는

$$D_n = Trl(t_{x,n}, t_{y,n}, t_{z,n})D_0 \quad (5)$$

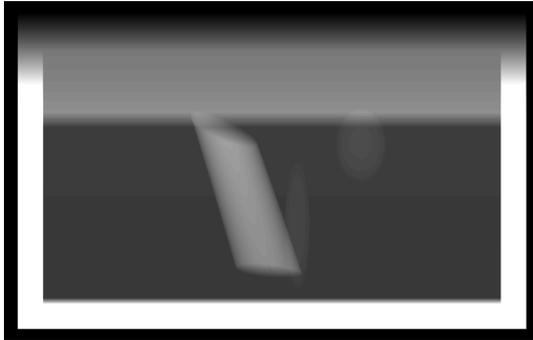
$$s_n = Trl(t_{x,n}, t_{y,n}, t_{z,n})s_0 \quad (6)$$

와 같이 변환한다.

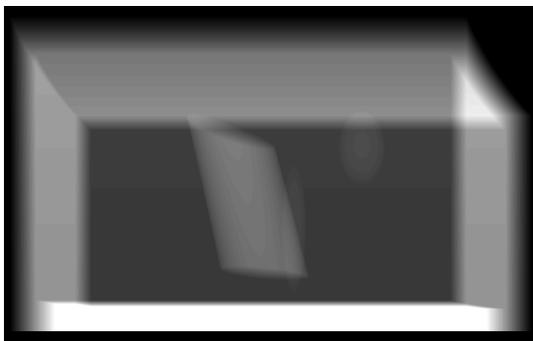
2.3 프로그램을 이용한 팬텀 설계 및 투사 이미지 획득

앞서 X-ray 시스템을 수학적 모델링을 통해 구축 take21 프로그램을 이용하여 팬텀을 제작하고 아래와 그림 2, 그림 3과 같은 투사 영상을 획득하였다. 구성 형태는 두 개의 박스 형태로 큰 테두리를 설정하였고 그 내부의 물체로 두 개의 타원과 하나의 실린더 형태의 물체로 구성하였다. 외부 형태와 내부의 물체들은 각기 다른 밀도로 설정하였다.

검출기는 x 축으로 0.005, y 축으로 1.0으로 설정하여 픽셀 간격을 1000pixel로 검출할 수 있도록 설계하였다. 대상 물체의 움직임과 점선원, 검출기 간의 관계설정을 위해 궤도(Trajectory) 설정을 하였는데, 점선원인 X-선 발생 좌표는 (5, -2.5, -1) 지점이며, 검출기는 yz 평면으로 x 축의 -1에 수직인 평면이고, 중심점은 -2.5에 위치한다. 크기에 대한 변형은 없고 0.005 간격으로 스캔하여 1000번의 영상을 라인스캔하듯 투사 이미지가 생성된다. 또한 각도를 조절하기 위해서 변환 인자를 조절하여 10°틀어진 영상을 획득하였다. 그 결과는 그림 2, 그림 3과 같이 나타난다.



<그림 2> 팬텀에 대한 투사영상(0°)



<그림 3> 팬텀에 대한 투사영상(10°)

2.4 Pushbroom 스테레오 알고리즘

이상에서 획득한 영상에 대하여 Pushbroom 스테레오 영상 기법을 적용하기 위해 투사변환행렬에 대한 성분을 설정해야 한다. 팬텀영상이 스

캔되어지는 속도에 대한 속도 벡터는

$$V = (V_x, V_y, V_z) = (S \cos \theta, 0, S \sin \theta) \quad (7)$$

와 같은 관계가 있으며, 이러한 관계를 적용하여 행렬식에서 u, v 성분을 방정식으로 표현하면

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & P_v \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ S \cos \theta & 0 \\ 0 & 10 \\ -\tan \theta & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{pmatrix} \quad (8)$$

또한, Y 축을 방향이 일치하고 θ 성분이 서로 다른 2개의 센서 축을 가정하면 위의 식은 k 성분이 포함되어 아래와 같이 대치된다.

$$u_k = \frac{x - T_{xk} - (z - T_{zk}) \tan \theta_k}{S_k} \quad (9)$$

$$v_k = f_k \cos \theta_k \frac{y - T_{yk}}{z - T_{zk}} + P_{vk} \quad (10)$$

여기서 k= 1, 2 이다. 또한,

$$Z = \frac{(S_2 u_2 - S_1 u_1) - [(T_{x2} - T_{x2} \tan \theta_2) - (T_{x1} - T_{x1} \tan \theta_1)]}{\tan \theta_1 - \tan \theta_2} \quad (11)$$

여기서, $d = S_2 u_2 - S_1 u_1$, $d_0 = (T_{x2} - T_{x2} \tan \theta_2) - (T_{x1} - T_{x1} \tan \theta_1)$ 라고 하면 거리 정보 Z를 구한 후에 두 이미지의 한 점으로부터 x, y 좌표를 구할 수 있는데, 식 (9), (10)을 x, y 관계식으로 정리하면

$$x = u_1 S_1 + z \tan \theta_1 + T_{x1} - T_{x1} \tan \theta_1 \quad (12)$$

$$y = \frac{(v_1 - P_{v1})(z - T_{z1})}{f_1 \cos \theta_1} + T_{y1} \quad (13)$$

와 같은 결과를 얻어 영상에 대한 좌표값을 얻을 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 스테레오 방법과 다른 방법 사이에서 스테레오 알고리즘을 비교하기 위해 스테레오 X-선 검색 장치 개발을 위한 수치적 팬텀 영상이 고안되었다. 수치적으로 설계된 팬텀을 통해 X-ray 장치에 대한 투사 이미지를 획득하였다. 팬텀 설계 및 X-선을 이용한 프로젝션 이미지는 오픈 소스인 리눅스 기반의 TAKE21 프로그램을 이용하여 설계하였고, 주요 파라미터로 투사영상에 대한 각도 변화를 고려하였다. 본 논문에서 수치적 팬텀 영상에 대하여 투사변환행렬의 성분 변화에 대한 투사이미지 획득에 대한 가능성을 검증하였고, 추후 수치적 팬텀 투사 이미지를 이용하여 표준 Pushbroom 스테레오 영상 알고리즘을 적용하여 입체로서의 우수한 영상복원을 위한 최적의 설정 조건 추출에 대한 연구를 진행할 것이다. 이러한 결과는 스테레오 X-선 검색 장치를 위한 수치적 팬텀 영상 제작과 팬텀 이미지 선택을 위해 매우 유용하게 사용될 것이며, 더 나아가 알고리즘의 개발뿐만 아니라 실용적인 실제 장치의 개발을 위한 중요한 자료가 될 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Gupta, R., Hartley, R., "Linear Pushbroom Cameras", IEEE Trans, PAMI 19(9), 963-975, 1997
- [2] Zhigang Zhu, Yu-Chi Hu, Li Zhao, "Gamma/X-ray linear pushbroom stereo for 3D cargo inspection", Machine Vision and Applications, 2008
- [3] Zhigang Zhu, Yu-Chi Hu, "Stereo Matching and 3D Visualization for Gamma-Ray Cargo Inspection", Proceedings of the Eighth IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, 22-22 Feb, Texas, USA, 2007
- [4] Zhu, Z., Zhao, L., Lei, J., "3D Measurements in cargo inspection with a gamma-ray linear pushbroom stereo system", IEEE Workshop on Advanced 3D Imaging for Safety and Security, June 25, San Diego, USA, 2005
- [5] Mueller-Merbach J, "Simulation of X-ray projections for experimental 3D tomography", ISSN 1400-3902, 1996.