

Calibration을 통한 스테레오 X-ray 검색장치의 기하구조 최적화 연구

황영관^{1,2*}, 이남호¹, 이승민²

¹한국원자력연구원, ²충남대학교 전기전자통신공학교육과

The Study of the Geometric Structure Optimization for the Stereo X-ray Inspection System Using the Calibration

Young-Gwan Hwang^{1,2*}, Nam-Ho Lee¹, Seung-Min Lee² and Jong-Won Park²

¹Korea Atomic Energy Research Institute

²Chungnam National University

요약 본 논문에서는 빠르게 움직이는 화물 대상체의 효율적인 검색을 위해 스테레오 X-선 영상을 이용하여 장치 캘리브레이션을 통한 최적화된 구조에 대하여 연구하였다. 스테레오 X-선 스캔 영상은 X-선 발생장치, 듀얼 라인 어레이 검출기, 컨베이어 시스템 등으로 구성된 특별하게 제작된 스테레오 X-선 검색 장치로부터 획득하였다. 스테레오 X-선 영상을 이용하여 영상과 실제 대상체의 3차원 형상 구성사이의 관계를 찾기 위해 센서에 대한 캘리브레이션을 수행하였다. 스테레오 영상을 얻기 위해 구성된 두 개의 검출기 사이의 거리를 다양하게 변화 시키며 획득한 영상을 이용하여 영상에서의 GCP(Ground Control Point)에 대하여 계산 하였다. 계산된 GCP 값과 실제 대상체의 GCP의 좌표값을 비교하여 오차가 작은 효율적인 장치의 구조에 대하여 결과를 얻었다. 실험의 결과는 화물검색을 위한 영상의 효율적인 가시화 및 스테레오 매칭의 정확도를 향상시키기 위해 활용될 것이다.

Abstract In this paper, we presents a sensor calibration technique using stereo X-ray images to provide efficient inspection of fast moving cargo objects. Stereo X-ray scanned images are acquired from a specially designed equipment which consists of a X-ray source, dual-linear array detector, and a conveyor system. Dual detector is installed so that rectified stereo X-ray images of objects are acquired. Using the stereo X-ray images, we carry out a sensor calibration to find the correspondences between the images and reconstruct 3-D shapes of real objects. Using the Image acquired from the stereo detectors with varying distances, we calculated the GCP(ground control point)of the image. And we figure out the error by comparing calculated GCP and GCP of the real object. The experimental results show the proposed technique can enhance the accuracy of stereo matching and give more efficient visualization for cargo inspection image.

Key Words : Stereo X-ray, Calibration, Inspection System, Parallel-perspective Projection

1. 서론

국가 간에 교역이 활발해지며 수출입 물류가 날로 증가함에 따라 해운, 항공을 통한 물류의 보안에 대한 관심과 더불어 화물 및 보안검색 장치의 연구가 활발하게 진행되고 있다.

기존에 개발된 장치들은 화물의 단면만 투사하는 방식

을 사용하기 때문에 물체 형상의 식별에 있어 여러 가지 기술적인 문제가 발생하게 되었고, 이를 해결하며, 보다 정밀한 검사를 위한 검색 장치의 개발이 요구되어왔다. 완벽한 3차원 비파괴 영상을 얻기 위해서는 CT(Computed Tomography)나 MRI(Magnetic Resonance Image)와 같은 방법이 있지만 이러한 검사는 연속적으로 이동하는 대형 물체를 고속으로 검사해야 하는 물류시스템에 직접 적용

*교신저자 : 황영관(yghwang@kaeri.re.kr)

접수일 10년 08월 12일

수정일 10년 08월 31일

게재확정일 10년 09월 08일

하기에는 한계가 있다. 또 다른 대안이 X-선을 이용한 스테레오 검색 장치이다. 2000년대 초 소개된 스테레오 X-선 검색장치는 두 각도에서 획득한 X-선 영상의 영상 개선 및 정합을 통해 시차정보와 장치의 매개변수로부터 원형이미지를 복원하여 대상체의 3차원 정보를 제공하게 된다.[1-7]

실질적인 검색 시스템으로 활용하기에는 스테레오 X-선 검색장치에 대한 개선이 필요하며, 획득된 영상을 가시화하기 위해서는 기존의 방법과 비교하여 진보된 영상 처리 알고리즘의 개발이 필요하다.

본 논문에서는 스테레오 X-선 검색장치를 구성하는 두 개의 디텍터와 소스의 기하학적 구조 최적화를 통해 보다 정확한 입체 정보를 얻기 위한 캘리브레이션을 수행하였다. 스테레오 디텍터의 캘리브레이션의 목적은 각각의 디텍터에 대한 특성변수를 추정하기 위한 것이며, 이렇게 획득한 변수를 이용하여 획득한 두 장의 X-선 영상 정합을 통해 획득 영상의 각 점의 입체적인 위치 정보를 결정 할 수 있다.

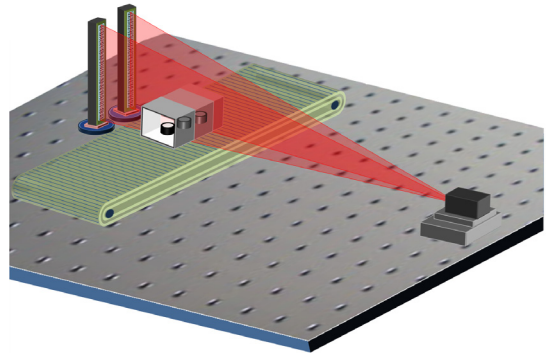
먼저 스테레오 X-선 영상을 획득하기 위해 새로운 구조로 제작된 검색 시스템에 대한 설명과 시스템을 정밀하게 운용하기 위해 개발된 프로그램에 대해 설명을 하고, 제작된 검색장치의 구조 최적화를 위해 디텍터의 거리를 변경하며 시스템 캘리브레이션을 수행하였다. 시스템을 구성하는 디텍터의 거리를 변화시키며 캘리브레이션을 통해 파라미터를 획득하고, 디텍터간 거리별로 계산된 획득 영상의 입체정보를 비교하며 오차에 대한 추이를 확인하였다.

2 스테레오 X-선 검색장치 및 구동 프로그램

2.1 스테레오 X-선 검색 장치

그림 1은 스테레오 X-선 획득 장치의 구성을 도시한 것으로 비파괴 검사용 X-선 발생장치(X-ray Generator), 검색물체 등속 스캔용 이송장치, 그리고 시차각을 가진 두장의 2D 스캔 영상 획득을 위한 X-ray 디텍터로 구성되어 있다. X-선 발생장치는 관전압이 40kV에서 최대 120kV까지 인가할 수 있고 전류는 250uA에서 7500uA 범위 내에서 조절이 가능하다. X-선 발생 기준위치는 발생장치의 전면부로부터 81.75mm 안쪽에, 밑면으로부터 101.6mm 위쪽, 그리고 왼쪽 모서리를 기준으로 367.05mm에 위치한다. X-선 빔의 방출부위에는 0.4mm 두께의 알루미늄이 놓여 있어 필터기능을 부가하였고, X-선 방출 빔

의 각도는 상하 80°를 이루며 좌우 각도는 최대 10°로 설계하였다. 실험시 사용한 에너지는 100KeV이다.



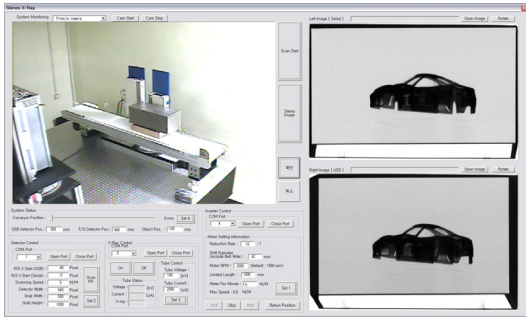
[그림 1] 스테레오 X-선 검색장치 설계

X-선 발생 장치로부터 디텍터까지의 거리는 1005mm인데, 디텍터 내부의 X-선 감지용 포토다이오드 센서가 표면으로부터 내부 10mm위치해 있고, X-선 발생장치의 스팟(Spot)이 발생장치 표면으로부터 81.75mm 안쪽에 위치하므로 X-선 발생장치로부터 센서까지의 정확한 거리는 1096.8mm로 산출되었다.

방사선 영상을 얻기 위한 듀얼 라인디텍터는 선형배열 센서(Linear array detectors)로 이루어져 있고, 한 라인의 픽셀 수는 640개(pixels)를 수직으로 적층된 구성이다. 선형센서는 X-선이 입사되는 윈도우는 0.1mm의 알루미늄으로 덮여 있으며 개별 포토다이오드 센서는 높이 0.6mm, 너비 0.3mm, 간격 0.4mm의 형태이며 앞쪽에 부착된 신틸레이터(CsI)에서 변환된 X-선의 광정보를 취득하게 된다. 또한 디텍터 전면에 부착된 콜리메이터(Collimator)는 0.4mm의 너비로 설계되었고 디텍터의 최소 영상 집적 시간은 0.5ms이므로 디텍터의 너비 0.3mm를 고려할 때 최대 스캔 속도는 60cm/s의 속도로 대상체의 검색이 가능하다.

2.2 스테레오 X-선 검색장치 구동 프로그램

검색장치의 정밀한 제어를 위해 설계된 스테레오 X-선 영상획득제어 프로그램은 그림 2과 같이 구현하였다. 이 제어 및 영상획득 프로그램의 주요기능은 다음과 같이 구성되어 있다.



[그림 2] 장치 운용 프로그램

먼저 장치구동을 위한 설정값을 조절하는 메뉴인 스캔 조건 설정과 관련된 모든 파라미터의 입력 창은 좌측 하단에 두어 장치를 한번에 제어 가능하도록 하였다. 장치운동을 위해서 이송장치, X-선 발생장치, 대상물체 및 디텍터간 거리에 대한 설정을 마치고 디텍터에 대한 초기화를 끝낸 후에 영상 획득을 시작한다. 좌측 상단은 가동 중인 시스템을 모니터링 하기 위한 창이며 우측의 상하 두 개의 창은 장치로부터 얻은 각각의 서로 다른 각도에서 획득한 X-선 영상을 나타낸다.

3. 시스템 캘리브레이션

스테레오 X-선 영상 획득 장치에 대한 보정을 위해 센서에 대한 모델링은 Gupta와 Hartley가 제안한 방법을 통해 다음과 같이 수식적으로 나타낼 수 있다.[4,5]

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & f & P_v \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{V_x} & 0 & 0 \\ -\frac{V_y}{V_x} & 1 & 0 \\ -\frac{V_z}{V_x} & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\times (R|RT) \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

위 식에서 (u, v)는 영상면에서의 해당되는 좌표값이며, w는 배율, f는 초점 거리, P_v는 영상면 중심에 대한 차이 값이며, (V_x, V_y, V_z)는 속도 성분을 나타내는 값이다. θ 값은 두 영상 사이의 각도를 의미하며, (R|RT)는 회전, 전이된 성분을 나타내며 (x,y,z)는 대상물체에 대한 3차원 좌표를 의미한다.

식 1을 정리하여 i장의 이미지에서 임의의 한 점에 따

른 x_i에 관계식을 구하면

$$u_i S + z_i \tan\theta + (T_x - T_z \tan\theta) = x_i \quad (2)$$

로 표현되는데, 여기서 미지항은 S, tanθ, T_x - T_ztanθ가 되면, 미지항이 3개이므로 지상기준점 (Ground Control Point)이 3개 이상이면, 각 미지항을 산출할 수 있고, 이때 산출된 해당 파라미터를 평행투영변수 (Parallel Projection Parameters)라 표현하였다.

또한, 식 1을 정리하여 v_iz_i에 대한 식으로 정리하여 나타내면 아래처럼

$$v_i z_i = (y_i \cos\theta) f - \cos\theta (f T_y) + z_i p_v - (p_v T_z) + v_i T_z \quad (3)$$

로 정리되며, 여기서 미지항은 f, fT_y, p_v, p_vT_z, T_z로 5개의 미지항이 존재하며, 해당 미지항은 5개 이상의 지상기준점(GCP)를 이용하여 산출될 수 있으며, 이렇게 산출된 파라미터를 원근투영변수 (Perspective Projection Parameters)라고 표현하였다. 앞서 언급한 평행 투영변수와 원근투영변수들은 획득한 영상의 좌표점을 이용하여 의사역행렬(Pseudo Inverse Matrix) 계산방법을 이용하여 값을 계산하였다. 지상기준점 대한 깊이 정보는

$$z = \frac{S_2 u_2 - S_1 u_1}{\tan\theta_1 - \tan\theta_2} \quad (4)$$

와 같이 나타낼 수 있으며, 두 영상의 좌표점으로앞서 전개한 수식을 다음과 같이 정리하여 획득 영상으로부터 물체의 원형 정보를 추출할 수 있다.

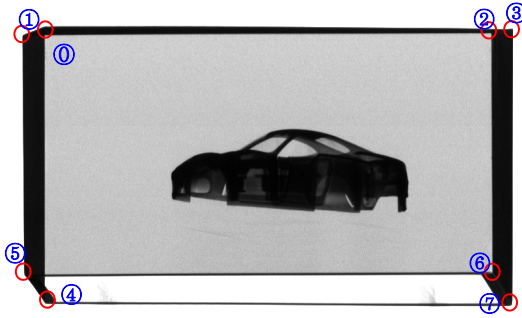
$$x = u_1 S_1 + z \tan\theta_1 + T_{x1} - T_{z1} \tan\theta_1 \quad (5)$$

$$y = \frac{(v_1 - p_{v1})(z - T_{z1})}{f_1 \cos\theta_1} + T_{y1} \quad (6)$$

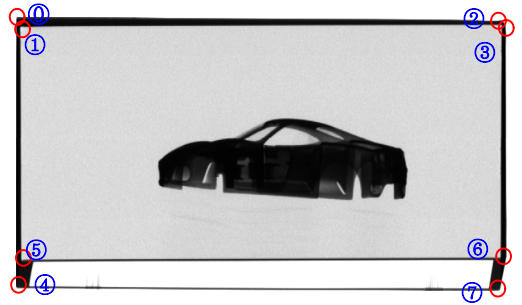
4. 캘리브레이션 실험 및 결과

스테레오 검색 장치를 이용하여 X-선 영상을 디텍터의 거리를 변화하며 얻었다. 영상 획득시에 장치의 설정값은 관전압을 100kV, 관전류 1500uA, 방사선 소스와 검출기 사이의 거리는 앞서 언급한 바와 같이 1096.8mm 로 설정하였다. 또한 스테레오 영상을 획득하는 디텍터 간의

거리는 X-선 발생장치인 방사선 소스 정면의 디텍터를 기준인 0으로 하여 5cm, 10cm, 15cm, 20cm로 거리를 이동하여 영상을 획득하였다. 그림 3과 그림 4는 장치로부터 획득한 영상에서의 GCP로 선정한 8개의 점을 나타낸 것이다. 표 1은 그림 3, 4에서 설정한 GCP 점에 대한 원형 대상체의 공간좌표 값을 의미하며 단위는 mm이다. 표 2는 두 장의 스테레오 영상으로부터 얻은 영상 좌표값을 거리별로 나타낸 것이다.



[그림 3] 스테레오 검출기 우측영상의 GCP설정



[그림 4] 스테레오 검출기 좌측영상의 GCP설정

[표 1] 평행투영변수

	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	0	144
2	360	0	144
3	360	0	0
4	0	144	0
5	0	144	144
6	360	144	144
7	360	144	0

[표 2] 평행투영변수

GCP	Image 1 (0cm)		Image 2 (5cm)		Image 3 (10cm)		Image 4 (15cm)		Image 5 (20cm)	
	u	v	u	v	u	v	u	v	u	v
0	1	2	12	2	25	2	40	3	54	2
1	5	10	2	10	0	9	2	11	0	9
2	796	2	798	12	798	14	797	13	798	13
3	800	12	805	2	819	3	834	3	848	3
4	1	435	12	433	25	433	40	434	54	434
5	6	385	2	383	3	384	2	382	1	382
6	796	434	798	386	798	386	797	387	799	384
7	800	385	804	433	820	434	834	434	848	435

아래의 표 3과 표4는 획득한 영상의 지상기준점(GCP)에 대하여 앞서 정리한 식2, 3을 적용하여 각각 3개, 5개의 미지항을 구하기 위해 의사역행렬(Psude Inverse Matirx)를 이용하여 얻은 결과값을 정리하여 나타낸 것이다.

[표 3] 평행투영변수 (Parallel Projection Parameters)

Img	S(mm/pixel)	tan θ	θ (°)	Tx-Tztan θ
0	0.45297	-0.01	-0.77	-0.51
5	0.45326	0.03	1.49	-5.04
10	0.45240	0.07	4.00	-10.91
15	0.45311	0.12	6.73	-18.01
20	0.45297	0.17	9.42	-24.29

[표 4] 원근투영변수 (Perspective Projection Parameters)

Img	f (pxl)	fTy (mm)	pv (pxl)	pvTz	Tz (mm)	Tx (mm)
0	3862.5	-857.49	65.83	-1189.8	-926.65	11.9
5	33511	-148.84	70.04	-1789.1	-931.15	-29.2
10	-4136	947.84	70.65	-1447.7	-903.84	-74.1
15	3039.9	-1288.6	67.69	-1428.6	-915.36	-126.0
20	-2775	1055.9	68.30	-1055.9	-924.07	-177.6

표 3은 물체의 이송방향과 평행한 방향의 성분에 대한 변수값을 나타낸 것으로 속도, 각도 등에 대한 정보를 확인할 수 있다. 실제 설계된 시스템에 대해서 얻은 값을 보면 0.4mm가 한 픽셀인 디텍터임을 고려할 때, 장치의 설정 속도를 0.0833%로 설정하였으므로 장치에서 인식되는 초당 화소수는 207.5가 된다. 360mm의 대상체를 스캔하였을 때 당시 설정한 컨테이너의 속도 역시 0.083%로 하였으나 컨테이너의 이송속도의 오차를 고려하여 계산하면 대상체가 장치를 지나는 시간이 3.9초로 측정되었으므로 화소당 거리에 대한 속도는 0.4445mm/pixel이 된다. 따라서 속도에 대한 오차는 약 2%의 오차를 보임

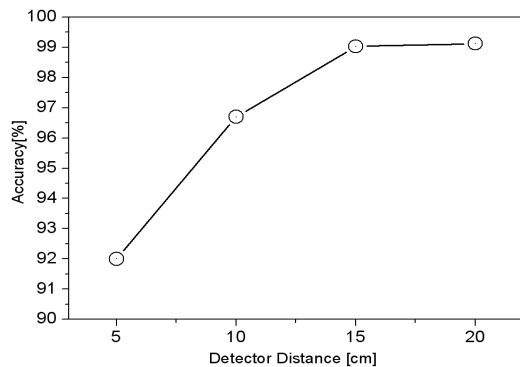
을 확인하였다. 두 검출기 간의 거리에 따른 각도 측정에 있어서는 검출기와 X-선 발생기 사이의 거리가 1096.8mm 임을 고려하여 각도를 구하게 되면 0을 기준으로 할 때, 실제 설계상 거리별 각도는 5cm, 10cm, 15cm, 20cm에 대하여 각각 2.61°, 5.21°, 7.79°, 10.33°가 된다. 오차가 가장 큰 10cm의 경우를 보면 실제 거리는 5.21°이지만 계산상의 값은 4.77°로 약간의 오차를 보인다. 20cm의 경우는 실제 10.33°이며, 영상으로부터 계산한 값은 10.19°로 1.3%의 오차를 보인다.

표 4는 이송방향에 대해 수직인 방향에 대한 변수값을 나타낸 것이다. P_v는 영상면과 검출기의 중심점에 대한 차이이고, T_x, T_y, T_z 성분은 영상 획득 시점에서의 X-선 발생장치에 대한 위치 정보를 의미한다. 이렇게 구한 시스템의 매개변수를 역으로 활용하여 획득한 영상의 좌표점을 대입하면 원형 좌표값을 찾을 수 있다. 아래 표 6은 GCP 점에서의 검출기 간격별 Z축 방향에 대한 깊이 정보를 복원 결과에 대해 보여주고 있다.

[표 5] Y 축에 대한 GCP점 복원 결과

G C P	5cm		10cm		15cm		20cm	
	Z	err (%)	Z	err (%)	Z	err (%)	Z	err (%)
0	-11.54	-8.02	5.42	3.76	-1.72	-1.19	-1.264	-0.88
1	149.74	3.99	152.13	5.65	145.71	1.19	145.26	0.88
2	132.50	-7.99	141.30	-1.88	142.29	-1.19	142.74	-0.88
3	5.78	4.02	5.45	3.79	1.72	1.19	1.264	0.88
4	-11.54	-8.02	-10.88	-7.56	-1.72	-1.19	-1.264	-0.88
5	161.26	11.99	141.27	-1.9	145.71	1.19	145.26	0.88
6	132.50	-7.99	141.30	-1.88	142.29	-1.19	142.74	-0.88
7	17.31	12.02	0.02	0.01	1.72	1.19	1.264	0.88

표 5의 결과에 대한 각 GCP 점의 평균을 통해 그림 5와 같이 검출기 사이의 거리에 따른 깊이 정보에 대한 정확도를 나타내었다.



[그림 5] 검출기 간 거리별 정확도

그림 5의 결과에서와 같이 디텍터 사이의 거리가 멀어짐에 따라 오차는 1% 이내로 수렴되는 것을 확인할 수 있다.

[표 6] 원형복원 결과 및 오차(15cm)

GC P	x	y	z	Err_x	Err_y	Err_z
0	0.11	-1.76	-1.72	-0.03	1.22	-1.19
1	-0.11	0.74	145.71	0.03	-0.51	1.19
2	360.11	1.89	142.29	-0.03	-1.32	-1.19
3	359.89	-1.76	1.72	0.03	1.22	1.19
4	0.11	142.13	-1.72	-0.03	1.30	-1.19
5	-0.11	144.46	145.71	0.03	-0.32	1.19
6	360.11	146.39	142.29	-0.03	-1.66	-1.19
7	359.89	142.13	1.72	0.03	1.30	1.19

깊이 정보인 복원된 Z값은 수식을 통해 알 수 있듯이 X값에 영향을 많이 받는다. X값에 대한 복원 결과를 보면 유사한 값이 나타나지만 15cm에서는 0.03%, 20cm에서는 평균적으로 0.04%의 오차를 보이고 있다. 또한 X-ray 발생장치의 콜리메이터를 통한 X-선의 방출 각도와 X-ray에너지에 의한 영상의 해상도를 고려할 때 한 번의 촬영으로 스테레오 영상을 얻으며 오차를 최소화하기 위해서는 구성된 시스템에서의 검출기 사이거리를 15cm로 설정할 때 최적의 영상을 획득할 수 있다.

표 6은 시스템의 설정을 15cm로 맞추어 획득한 영상에서의 값을 통해 각각의 파라미터를 구한 후 프로젝션 매트릭스를 이용하여 대상체의 모든 좌표값을 계산하여 원래 모형의 좌표값과 비교하여 오차를 나타낸 것이다.

계산된 결과값에서 나타나듯 x방향의 경우 0.03%가량의 오차를 보이며, y방향에서 오차는 2% 이내, z방향은 오차가 1%에 가깝게 나타났다. 본 시스템의 실용적 적용을 위한 오차 범위의 수준은 현재의 단계에서 명확하게 정의할 수 없지만 기존의 2차원 장치의 수준을 고려할 때 x방향에서 0.05%이내의 값을 보이는 연구사례가 있다.[4,5]

검출기 사이의 거리가 가까울수록 X-ray 영상에서 GCP의 값의 차이에 따른 결과값의 오차가 커지게 되며 현재의 시스템에서 영상획득을 위한 효율적인 구조는 검출기 사이의 거리를 15cm로 설정할 때가 가장 효율적임을 알 수 있다. 현재의 시스템에서 모든 좌표에 대한 오차를 줄이기 위해서는 더욱 정밀한 하드웨어 보정을 통해 획득한 영상에서의 GCP점을 이용하여 캘리브레이션을 수행해야 할 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 한번의 스캔으로 기존의 3차원 화물 검색보다 효율적인 화물 검색을 위한 스테레오 X-선 영상 획득장치 및 정밀 제어를 위한 운용 프로그램을 개발하고, 장치의 기하학적 구조 대한 캘리브레이션을 수행하였다. 영상 획득을 위한 두 개의 검출기간의 거리를 달리 함으로써 각도가 다른 두 영상을 얻었고, 이를 통해 장치의 구조적 변수 및 3차원 가시화를 위한 프로젝션 매트릭스를 평행투영변수와 원근투영변수를 통해 구하였다. 산출한 프로젝션 매트릭스를 통하여 영상으로부터 대상체인 컨테이너의 3차원 원형 정보를 계산하였다. 계산된 깊이 값은 1%이내의 정확한 값으로 복원 되는 것을 확인하였고, 디텍터의 거리가 벌어짐에 따라 복원률이 향상됨을 확인할 수 있었다. X-선 발생장치의 콜리메이터의 방출 각도와 영상의 해상도를 고려할 때 한번의 스캔으로 영상을 처리하기 위해서는 검출기 사이 간격을 15cm로 설정할 때 최적의 영상을 획득할 수 있다. 산출된 프로젝션 매트릭스는 3차원 정보를 얻기 위한 중요한 정보로 사용될 것이며, 방사선 영상매칭 기술의 적용을 통해 스테레오 X-선 영상으로부터 3차원 정보 추출을 가능하게 할 것이다.

참고문헌

- [1] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Digital Image Processing, 2nd Ed, Prentice Hall, New Jersey, 2002.
- [2] Avinash C. Kak, Malcolm Slaney, Principles of Computerized Tomographic Imaging, 1st, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, 2001.
- [3] Gupta, R., A. Noble, R. Hartley, j.Mundy, A. Schmitz, 1995. Camera Calibration for 2.5D X-ray metrology. In Proc. ICIP'95, Vol.3, Oct 23-26, 1995.
- [4] Noble, A., R. Hartley, J. Mundy and J. Farley. X-ray metrology for Quality Assurance, In Proc IEEE ICRA'94, vol 2, pp1113-1119, 1994.
- [5] A. Noble, R. Gupta, J. Mundy, A. Schmitz, R. Hartley and W. Hoffman, CAD-based Inspection Using X-Ray Stereo, IEEE international conference on Robotics and automation, pp 2361-2366, 1995.
- [6] 조영호, X-ray 컨테이너 화물검색시스템의 전자선형 가속기 주변 콘크리트 차폐벽 내 방사화 생성물에 대한 몬테카를로법 평가, 한국산학기술학회논문지, Vol. 11, No. 3, pp. 1035-1039, 2010.

- [7] 강현우, 황보현, 윤종호, 조태경, 최명렬, 히스토그램 보정을 통한 적응형 명암비 향상방법, 한국산학기술학회논문지, Vol 11, No. 3, pp958-964, 2010.

황 영 관(Young-Gwan Hwang)

[정회원]



- 2008년 2월 : 수원대학교 대학원 전자공학과(전자공학석사)
- 2010년 8월 : 충남대학교 대학원 정보통신공학과(박사과정)
- 현재 : 한국원자력연구원 연구원

<관심분야>

방사선 검색장치, X-ray 영상처리

이 남 호(Nam-Ho Lee)

[정회원]



- 1991년 2월 : 경북대학교 전자공학과(전자공학학사)
- 1993년 2월 : 경북대학교 전자공학과(전자공학석사)
- 2004년 2월 : 충남대학교 전기공학과(전기공학박사)
- 현재 : 한국원자력연구원 융합기술개발부 책임연구원

<관심분야>

방사선 센서, 입체영상, 원격제어 시스템

이 승 민(Seung-Min Lee)

[정회원]



- 2000년 2월 : 충남대학교 전기공학과(전기공학학사)
- 2002년 2월 : 충남대학교 전기공학과(전기공학석사)
- 2002년 2월 : 충남대학교 전기공학과(전기공학박사)
- 현재 : 충남대학교 전기전자통신 공학교육과 초빙교수

<관심분야>

디지털 신호처리, 신재생 에너지