

스테레오 X-선 검색장치를 이용한 이중물체 형상복원 연구

황영관^{1,2*}, 이남호², 박종원¹

¹충남대학교 정보통신공학과, ²한국원자력연구원

The Study for the Reconstruction of two objects using the Stereo X-ray Inspection System

Young-Gwan Hwang^{1,2*}, Nam-Ho Lee² and Jong-Won Park¹

¹Division of Information Communication, Chungnam National University

²Korea Atomic Energy Research Institute

요 약 스테레오 X-선 검색장치는 기존의 대상물의 단면 정보만을 제공하는 검색 시스템보다 대상체에 대한 추가적인 정보를 제공하여 검색 효율을 높이기 위해 고안되었다. 이를 위하여 선행연구를 통해 스테레오 X-선 검색장치를 개발하고 기하학적 구조개선, 단일 오브젝트에 대한 윤곽선 정합 및 볼륨기반 형상복원 연구 등을 수행하였다. 본 논문에서는 선행 연구를 통해 개발된 스테레오 X-선 검색장치를 개선하여 정밀한 제어를 통해 두 개의 중첩 대상물을 스캔하여 대상체의 외형분리 복원을 위한 연구를 수행하였다. 중첩된 두 종의 대상체에 대한 외형정보를 분리 복원하기 위하여 벡터정보의 거리값을 계산하여 내·외부 복셀을 분리하고 중첩 부분에 대한 제거는 Z축을 기준으로 임계치를 두어 외형정보를 복원하기 위한 연구를 진행하였다. 본 연구의 결과는 3차원 스테레오 X-선 검색장치에 대한 스캔영상의 형상복원 알고리즘 개선을 통해 제한된 스캔환경에서 집적화된 대상체의 검색을 가능하도록 할 것이다.

Abstract The Stereo X-ray inspection system is designed for effectively providing the additional information of objects than the conventional inspection system that offers only 2D cross-section of objects. We studied the geometric improvement of the stereo X-ray inspection system, the stereo matching algorithm of the single object using the edge and the volume reconstruction method for the inspected object. In this paper, we conduct a matching algorithm to find the correspondences between the images and reconstruct 3-D shapes of real objects using the stereo X-ray images. Also, we apply a new 3D reconstruction algorithm for the discrimination of two objects. For the separation of the overlapping objects, we calculate the vector of the object and divide inner and outer voxel of objects. And for the elimination of the overlapping area, we study the reconstruct 3D shapes using the threshold based Z-axis. The experimental results show that the proposed technique can enhance the accuracy of stereo matching and give more efficient visualization for overlap objects in the restricted environment.

Key Words : X-ray Inspection, X-ray Image, 3D reconstruction

1. 서론

최근 우리나라는 무역 1조달러 클럽에 이름을 올릴 정도로 대외 수출입 물량의 규모가 계속적으로 증가되어

왔다. 특히 한·미 자유무역협정으로 인하여 미국에 대한 교역량이 급격히 증가하고 있다. 그런데 미국이 9.11 사태 이후 수출입 물류에 대한 보안 및 안정성 강화를 위해 자국으로 수입되는 모든 컨테이너 물류에 대하여 방사선

본 논문은 국토해양부의 “U기반 해운물류 체계 구축을 위한 기반기술 연구” 과제에서 수행된 연구결과 중 일부이며, 한국원자력연구원 위탁연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Young-Gwan Hwang

Tel: +82-42-868-2245 email: yghwang@kaeri.re.kr

접수일 12년 07월 18일

수정일 (1차 12년 08월 14일, 2차 12년 08월 22일)

게재확정일 12년 09월 06일

검색 의무화를 미국항만보안법을 통해 규정하고 있다. 이로 인해 화물 수출시 선박의 적재 전 화물 검사가 필수적이기에 보안검색장치의 필요성이 크게 증가되고 있다. 방사선 검색에 대한 기술은 미국, 중국 등 선진국에서 지속적으로 개발하여 왔으며 최근에는 일부 제품을 상품화하여 각국에 수출하고 있다. 현재 국내에 도입되어 사용하고 있는 검색장비가 모두 수입된 장비들이기에 향후 선진국에 대한 기술의존도를 낮추기 위해서는 국내에서의 검색장비 기술 개발이 필요하다.

기 개발된 장치들은 검사 대상물의 단면 정보만을 검색하는 방식으로 2차원 영상 정보만을 제공하고 있다. 2차원 영상 정보만으로는 물류 컨테이너 내부의대상물의 형태를 정확하게 판단하기 위해서는 한계가 있다. 이러한 문제를 극복하고 신뢰성 높은 검사가 가능하도록 하기 위해서는 대상체에 대한 형상 정보가 필요하다. 이를 위해 X-선 검사영상의 3차원 정보 추출에 관한 연구를 다양하게 진행하기 시작하였다. 일반적인 3차원 형상정보는 일반 카메라로부터 대상체의 표면 정보를 통해 영상 정합 및 복원 알고리즘을 이용하여 정보 추출이 용이한 반면 X-선 영상은 물체의 투과밀도 정보만이 존재하므로 검사 대상체의 특정위치에 대한 3차원 정보만을 얻을 수 있다는 한계가 존재한다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 윤곽선 정합 및 볼륨정보를 이용한 스테레오 X-선 검색장치에 대한 연구를 수행하였다.[1-3,6]

본 논문에서는 스테레오 검색장치를 개선하여 앞서 수행한 스테레오 X-선 검색장치의 알고리즘 및 단일 대상물체에 대한 체적기반의 외형 복원 알고리즘을 기반으로 중첩 된 물체에 대한 물체간 거리정보를 수치적으로 계산하여 좌표공간에서 두 대상물체의 형상을 분리하는 연구를 진행하였다.

2. 스테레오 X-선 검색시스템 및 구동 프로그램

2.1 스테레오 X-선 검색 장치

그림 1은 스테레오 X-선 획득 장치의 구성된 모습을 나타내고 있으며 그 구성은 X-선 발생장치(X-ray Generator), 검색물체 등속 스캔용 이송장치, 그리고 시차각을 가진 두장의 2D 스캔 영상 획득을 위한 X-ray 디텍터로 이루어져 있다. 또한 시스템의 기하학적 구조를 최적화 시키기 위해 각종 보터를 설치하여 기하구조를 변화할 수 있도록 설계 하였으며, 정밀 제어를 위한 제어 시스템을 추가하였다.

X-선 발생장치는 관전압이 40kV에서 최대 120kV까지 인가할 수 있고, 관전류는 250uA에서 7500uA 범위 내에서 조절이 가능하다. X-선 발생 기준위치는 발생장치의 전면부로부터 81.75mm 안쪽에, 밑면으로 부터 101.6mm 위쪽, 그리고 왼쪽 모서리를 기준으로 367.05mm에 위치한다. X-선 빔의 방출부위에는 필터 기능을 하는 0.4mm두께의 알루미늄이 놓여 있고, X-선 방출 빔의 각도는 상하 80°, 좌우 각도가 최대 10°인 팬빔 형태를 가진다.

X-선을 검출하는 검출기 내부의 X-선 감지용 어레이 포토다이오드 센서가 표면으로부터 안쪽으로 10mm의 거리를 두고 위치에 있고, X-선 발생장치의 스팟(Spot)이 발생장치 표면으로부터 81.75mm안쪽에 위치하기 때문에 소스로부터 검출기까지의 정확한 계산을 위해 91.8mm를 고려해야 한다.



[그림 1] 스테레오 X-선 검색장치
[Fig. 1] The stereo X-ray inspection system

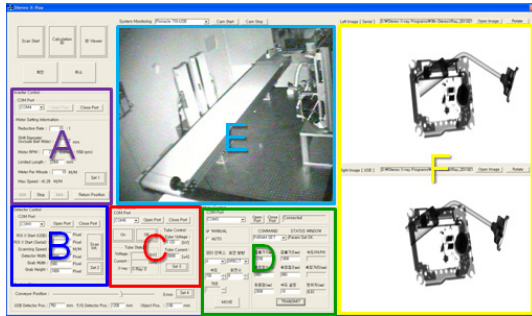
방사선 영상을 얻기 위한 듀얼 라인디텍터는 선형배열 센서(Linear array detectors)로 이루어져 있고, 디텍터 라인의 픽셀은 640개(pixels)가 수직으로 적층되어 있다. 포토다이오드 센서는 X-선이 입사되는 0.1mm의 알루미늄 원도우로 덮여 있으며 개별 포토다이오드 센서의 구조는 높이 0.6mm, 너비 0.3mm, 간격 0.4mm의 형태이고 앞쪽에 부착된 신틸레이터(CsI)에서 변환된 X-선의 광정보를 취득하여 2차원 영상을 형성하게 된다. 또한 디텍터 전면에 부착된 콜리메이터(Collimator)는 0.4mm의 너비로 되어 있으며 디텍터의 최소 영상 집적 시간이 0.5ms이므로 디텍터의 너비 0.3mm를 고려할 때 최대 스캔 속도인 60cm/s의 속도까지 대상물체 검색이 가능하다.

최적의 검색 영상을 얻기 위해서는 등속으로 이동하는 컨베이어가 있어야 하며 컨베이어 속도와 영상 취득 속도의 동기화가 필요하며 이를 위해 정밀 모터 제어를 위한 모듈을 설계하였다. 고속 정밀 제어 모듈은 컨베이어

의 속도를 체크하여 디텍터의 취득 정보와 동기화 되어 영상을 스캔하도록 구성하였다.

2.2 스테레오 X-선 검색장치 구동 프로그램

검색장치의 제어 및 영상 취득을 위해 설계된 스테레오 X-선 영상획득제어 프로그램은 그림 2와 같이 구현하였다. 이 제어 및 영상획득 프로그램의 주요기능은 다음과 같이 구성되어 있다.



[그림 2] 스테레오 X-선 검색장치의 운용을 위한 프로그램 GUI

[Fig. 2] The Program GUI for the operation of the Stereo X-ray inspection system

A부분은 대상체의 이동속도를 설정하기 위한 컨베이어 설정 및 제어를 위한 부분이며, B 부분은 영상 획득을 위한 스테레오 검출기의 설정부이다. B영역에서는 대상체의 관심영역(ROI), 획득영상의 사이즈, 영상 취득 속도 등을 설정할 수 있도록 개선하였다. C부분은 획득영상의 품질을 결정하는 관전압, 관전류의 세기를 제어하기 위한 부분이고, D영역은 대상체의 이동에 대한 정보를 실시간으로 확인하고 속도를 측정하여 스테레오 검출기의 속도 동기화를 위한 모터제어부이다. 모터 제어부에서는 기하구조를 mm간격으로 제어 가능하도록 개선하였다. E부분은 방사선 차폐벽 안쪽의 검색실을 모니터링하는 디스플레이 부분이며 F는 스테레오 검출기로부터 획득된 영상을 출력하는 부분이다. 획득된 영상을 통해 A부분 위의 아이콘을 통해 3D 연산 및 3D 디스플레이를 실행하도록 프로그램 UI를 구성하였다.

3. 시스템의 기하좌표 설정 및 변환

스테레오 X-선 영상 획득 장치에 대한 보정을 위해 센서에 대한 모델링은 Gupta와 Hartley가 제안한 방법을 통해 다음과 같이 수식적으로 나타낼 수 있다.[2,3,6]

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & f & P_v \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{V_x} & 0 & 0 \\ -\frac{V_y}{V_x} & 1 & 0 \\ -\frac{V_z}{V_x} & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{pmatrix} \times (R|RT) \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (1)$$

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. θ값은 두 영상 사이의 각도를 의미하며, (R|RT)는 회전, 천이된 성분을 나타내며 (x,y,z)는 대상물체에 대한 3차원 좌표를 의미한다.

식 1을 정리하여 i장의 이미지에서 임의의 한 점에 따른 x_i에 관계식을 구하면

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

로 표현되는데, T=(T_x, T_y, T_z)는 월드좌표축으로부터 카메라 좌표축으로의 이동이며, θ 값은 두 영상 사이의 각도, S 성분은 X-축 방향으로 오브젝트의 이동속도를 나타낸다. 여기서 미지항은 S, tanθ, T_x-T_ztanθ가 되며, 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 계산할 수 있다. 지상기준점에 대한 깊이 정보는

$$z = \frac{S(u_2 - u_1) - (T_{x1} - T_{z1} \tan\theta_1) + (T_{x2} - T_{z2} \tan\theta)}{\tan\theta_1 - \tan\theta_2} \quad (4)$$

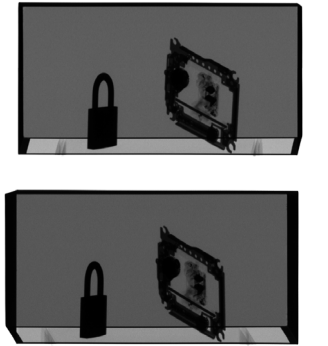
와 같이 나타낼 수 있으며, 두 영상의 좌표점으로앞서 전개한 수식을 다음과 같이 정리하여 획득 영상으로부터 물체의 원형 정보를 추출할 수 있다.

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

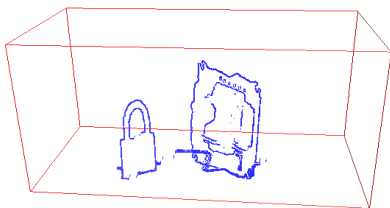
$$y = \frac{(v_1 - p_{v1})(z - T_{z1})}{f_1 \cos \theta_1} \quad (6)$$

4. 스테레오 X-선 영상의 3D 형상복원

스테레오 X-선 영상복원은 가시광 카메라로부터 얻는 정보와는 달리 물체의 투과밀도 정보를 통해 복원해야 하기 때문에 일반적인 스테레오 형상 복원 기법으로는 복원이 불가능하다. 기존의 스테레오 복원 기법을 방사선 영상의 에지 부분만을 대상으로 정합을 시도하여 형상 복원한 결과는 그림 3과 같이 대상체에 대한 외형의 경계선 정보만을 복원하게 된다.[7]



(a) 좌, 우 스테레오 X-선영상
(a) Stereo x-ray image ; left, right



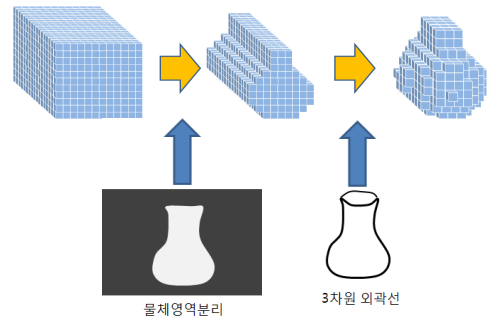
(b) 물체 외곽선에 대한 3차원 복원 결과
(b) 3D reconstruction result using the edge of the object

[그림 3] Edge기반 대상체 형상복원
[Fig. 3] The shape reconstruction of the object based edge detection

이러한 문제점을 극복하기 위해 본 연구에서는 물체의 밀도정보가 최소화되는 에지영상만을 대상으로 정규 교차상관(Normalized cross correlation, NCC)을 기준으로 매칭점 영상 매칭을 시도하였다. 복원 결과는 그림 3(b)와 같이 형태 부분만을 확인할 수 있다.[4,5]

그러나 이러한 에지기반 3차원 복원 알고리즘은 관측 시점을 변화시킬 경우 3차원 정보가 불확실하게 복원되는 단점을 가지고 있다. 이는 물체의 외곽선이라 하더라도 스테레오 X-선 영상을 이용하여 복원한 결과는 물체가 놓여진 방향과 X-선 소스에서 센서의 직선 상에 놓인 외곽선만 복원될 수 밖에 없어 영상에서 보이는 물체의 외곽선만 주로 복원되고 물체의 내부 표면에 있는 외곽선은 거의 영상에 보이지 않아 외곽선의 완전한 모습을 복원하기에는 다소 부족한 점이 있다. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위해 물체의 외곽선에 대한 3차원 복원을 구현하면서 동시에 물체의 전체 모습을 복원할 수 있는 체적(volume) 기반의 3차원 복원 방법을 통해 형상을 복원하였다.[8,9]

X-선 검사 대상 물체의 3차원 체적 복원의 순서를 그림 4에서 간략히 정리하였다. 우선 복원하고자 하는 3차원 공간에 수 많은 복셀 (voxel)로 구성된 체적을 생성한다.



[그림 4] 체적복원의 순서
[Fig. 4] The progress of the volume reconstruction

이 체적의 크기는 복셀의 개수로 표현되며 가로, 세로, 깊이가 각각 W, D, H로 표현된다. 초기의 복셀 공간의 크기는 다음과 같이 정한다.

$$\begin{aligned} W &= (X_{\max} - X_{\min})/v_x \\ H &= (Y_{\max} - Y_{\min})/v_y \\ D &= (Z_{\max} - Z_{\min})/v_z \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 v_x, v_y, v_z 는 각각 하나의 복셀의 x,y,z 크기이다. 각 좌표방향의 최소, 최대는 3차원 외곽선 복원의 최소, 최댓값을 이용한다.

초기의 체적은 따라서 정방형의 공간을 차지하고 있다. 우선 스테레오 영상에서 물체의 영역을 분리한다. 다음으로 물체영역이 분리된 이진화 영상을 이용하여 초기 체적에서 배경에 속하는 복셀을 제거한다. 이 과정은 볼륨내 각각의 복셀을 물체 영상 공간으로 투영하는 단계를 거쳐 진행되며 3차원 공간의 점에서 물체의 영상 공간으로의 투영은 스테레오 X-선 시스템의 보정값에 의해 결정되며 식 (1)을 이용하여 계산할 수 있다.

배경의 복셀을 제거하면 물체 내부점으로 결정되는 복셀이 남게 된다. 하지만 이러한 복셀들이 모두 물체의 내부점은 아니므로 이러한 점들을 제거하기 위하여 미리 복원한 3차원 외곽선을 이용하였다. 즉, 각각의 복셀로부터 3차원 외곽선까지의 3차원 벡터 e 를 모든 외곽선 점들에 대하여 정의하고 이들을 누적하여 내 외부를 판별하는 방법이다. 3차원 외곽선이 모두 K 개의 점 p_k 로 이루어져있고 현재 복셀을 v 라 하면 현재 복셀과 외곽선의 한 점까지의 벡터를 e_k 라 하고, 모든 외곽선 점들에 대한 벡터를 정규화하여 나타내면 아래 식 (8)과 같이 표현된다.

$$e_k = p_k - v, \quad \tilde{e}_k = \frac{e_k}{\|e_k\|} \quad (8)$$

모든 외곽선 점들에 대해 정규화한 벡터의 누적 벡터를 E 라 하면

$$E = \sum_k \tilde{e}_k \quad (9)$$

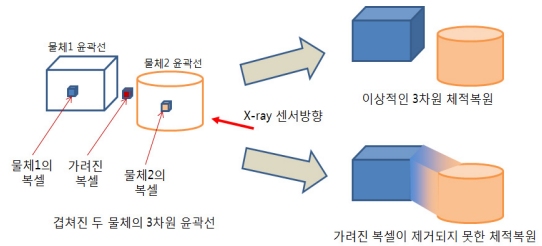
과 같이 정의할 수 있다. 이 누적 벡터 E 의 전방향에 대한 벡터의 합을 기준으로 크기가 0으로 수렴하는 경우 내부점을 판정하고, 그렇지 않는 경우는 외부점으로 판정하여 복셀을 제거하게 된다.

5. 중첩 물체의 형상 분리 복원

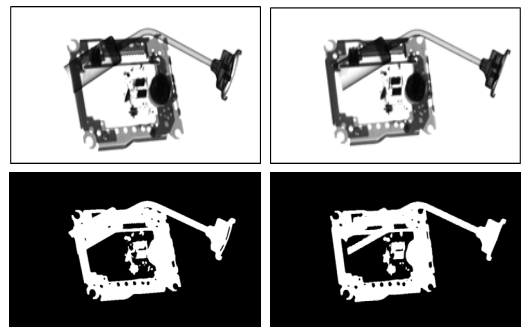
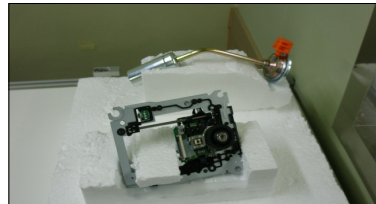
중첩 물체의 3차원 체적복원 시 두 물체가 겹쳐진 공간의 복셀이 정확하게 제거되지 못하면, 두 대상체가 연결된 형태로 체적이 복원되기에 중첩물체에 대한 분리 복원이 불가능하다.

체적복원 알고리즘 단계에서 물체를 분리하는 방법으로 복셀과 물체까지의 거리정보를 변수로 하여 일정거리를 벗어나는 경우 내부 복셀의 여부를 판단하기 위한 누적벡터 E 의 계산에 포함하지 않는다. 이는 복셀 v 로부터 너무 멀리 떨어진 3차원 윤곽선의 경우 현재 복셀 v 를 포함하는 물체의 윤곽선이 아닐 가능성이 높기 때문이다.

그러나 단순히 복셀과 윤곽선의 거리 정보만을 이용하면 두 물체사이의 복셀의 경우 누적벡터가 서로 반대 방향의 거리벡터로 인해 상쇄되어 마치 두 물체사이의 복셀이 아닌, 하나의 대상체에 대한 내부 복셀로 연산 되는 오류를 발생하게 된다. 이러한 문제해결을 위해서 거리벡터의 Z 방향을 함께 고려한다. 겹쳐진 두 물체의 사이 공간의 복셀에 대하여 윤곽선까지의 거리 벡터가 주로 Z축 방향으로 발생되기 때문이다. 가려진 복셀을 내부 복셀과 구분하기 위하여 앞서 언급한 수식 9를 이용하여 Z축 방향에 대한 연산을 수행하고 이들의 누적벡터를 Z방향에서의 거리벡터를 누적하여 임계치보다 크면 누적하지 않도록 설정함으로써 중첩된 영역에서의 내부와 외부 복셀을 구분하도록 하였다. 그림 6은 검색장치로부터 획득한 좌우 영상이며, 그림 7은 중첩 영역의 분리 작업 전의 체적형상이다.

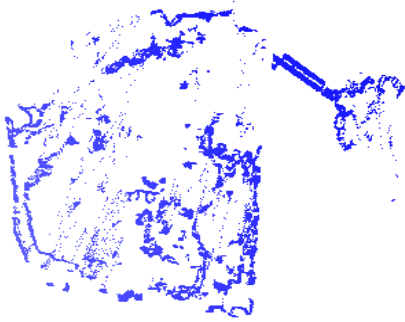


[그림 5] 중첩 물체의 체적분리
[Fig. 5] Concept of the volume separation for overlapping objects



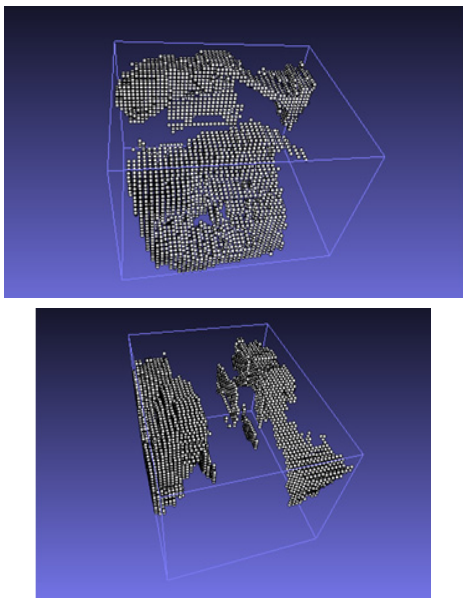
[그림 6] 획득된 스테레오 X-선 영상 : 좌, 우
[Fig. 6] The acquired stereo X-ray Image : Left, Right

획득 영상은 X-선의 에너지 120keV, 디텍터는 640개의 1차원 선형배열 화소센서, 대상물 구동 이송체는 10m/min의 등속으로 스캔영상을 획득하도록 설정하였으며, X-선 발생장치와 디텍터 간의 거리는 1200mm로 시험공간을 구성하였다.



[그림 7] 중첩영역의 분리 전 체적 형상
[Fig. 7] The volume before the separation of the overlapping region

그림 8은 오류 윤곽선을 제거하여 체적 복원 한 결과 영상이다.



[그림 8] 체적 분리 후 형상 복원 결과
[Fig. 8] 3D-shape reconstruction result after the volume separation

[표 1] 실제 모형과 복원 모형의 비교 (mm)
[Table 1] Comparison of the real model and the reconstruction model(mm)

중첩대상체	실제모형	복원모형
가로	230	210
세로	128	140
깊이	160	170
물체간 거리	50	60

표 1에서 나타난 결과는 실제 대상체인 토치와 디스크의 크기 정보를 나타낸 것이고 복원 모형은 형상 복원시 복셀간의 간격을 5mm로 설정하여 복원된 형상의 가로, 세로, 깊이, 분리된 물체간의 거리의 복셀수로부터 산출된 결과값을 나타낸다.

본 연구를 통해 대상체의 밀도 정보만을 포함하고 있는 두 장의 방사선 영상을 이용하여 중첩된 검색 대상체의 형상 분리복원에 대한 가능성을 확인하였고, 향후 검색 장치의 센서 및 구조를 개선하고, 정합 알고리즘과 볼륨복원 알고리즘을 개선하여 복원결과의 정밀도를 높이기 위한 연구를 진행 할 예정이다.

6. 결 론

스테레오 X-선 검색장치는 컨테이너 상자 내의 보이지 않는 화물의 3차원 형태를 검색하는 새로운 개념으로 고안하여 설계 제작된 것이다.

본 연구는 선행 연구를 통해 수행한 단일 물체의 3차원 형상복원 연구에서 겹쳐진 두 가지 대상물에 대한 형상 분리복원 연구를 수행하였다. 대상체에 대한 2차원 밀도 정보를 가진 스테레오 X-선 영상 획득 후 윤곽선 검출로부터 정합하여 3차원 윤곽선을 복원하고 윤곽선 오류 제거 작업을 통해 3차원 체적을 복원하고 복원결과에서 Z축방향으로 두 대상의 형상분리 복원과정을 진행하였다. 복원 결과 스테레오 방사선 영상으로부터 대상체의 복원 및 객체 분리의 가능성을 확인하였다.

본 논문의 결과는 검색시스템을 고속으로 통과하는 컨테이너 내부의 중첩된 검색 대상체에 대하여 2차원의 단면정보보다 더욱 유용한 정보를 제공하는 3차원 형상정보 복원 연구에 활용될 것이다.

References

[1] Alison Noble, Richard Hartley, Joseph Mundy, and

James Farley, "X-ray metrology for quality assurance," in Proc. IEEE Robotics and Automation Conference, pp.1113-1119, (1994)

[2] Gupta, R., A. Noble, R. Hartley, J. Mundy, A. Schmitz, Camera calibration for 2.5-D X-ray metrology. Proc. ICIP'95, Vol.3, (1995)

[3] Gupta, R. and R. Hartley, Linear push- broom camera, IEEE Trans PAMI, 19(9), pp963-975, (1997)

[4] Avinash C. Kak, Malcolm Slaney, Principles of Computerized Tomographic Imaging, 1st, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, (2001)

[5] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Digital Image Processing, 2nd Ed, Prentice Hall, New Jersey, (2002)

[6] Zhigang Zhu and Yu-Chi Hu, "Gamma /x-ray linear pushbroom stereo for 3D cargo inspection," Proc. SPIE, Conference on Non-Intrusive Inspection Technologies, Vol. 6213, 621304, (2006)

[7] Younggwan-Hwang, Namho-Lee, Seungmin-Lee "The Study of the Geometric Structure Optimization for the Stereo X-ray Inspection System Using the Calibration" Journal of the KAIS, Vol.11, No.9, pp 3422-3427, 2010

[8] Nam-ho Lee, Young-Gwan Hwang, Jong-Won Park, Yong-gon Lim "A Study on Stereo Visualization of the X-ray Scanned Image Based on Dual-line Sensors," Journal of the KIICE, Vol.14, No.9, (2010)

[9] Nam-ho Lee, Soon-Yong Park, Young-Gwan Hwang, Jong-Won Park, Yong-gon Lim "A Study on Stereo Visualization of the X-ray Scanned Image Based on Volume Reconstruction", Journal of the KIICE, Vol. 15, No. 7, pp. 1583-1590, (2011)

황 영 관(Young-Gwan Hwang) [정회원]



- 2008년 2월 : 수원대학교 대학원 전자공학과 (전자공학석사)
- 2010년 8월 : 충남대학교 대학원 정보통신공학과 (박사과정)
- 2008년 03월 ~ 현재 : 충남대학교 박사과정, 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)
- 1993년 3월 ~ 현재 : 한국원자력연구원 융합기술개발부 책임 연구원

<관심분야>
방사선 센서, 입체영상, 원격제어 시스템

박 종 원(Jong-Won Park) [정회원]



- 1979년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (전자공학학사)
- 1981년 2월 : 한국과학기술원 전산학과 (공학석사)
- 1991년 2월 : 한국과학기술원 전산학과 (공학박사)
- 1994년 1월 ~ 현재 : 충남대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야>
영상처리, 병렬처리, 의공학