Dual-Sensor 기반 스테레오 X-선 영상의 3차원 형상복원기술을 이용한 검색 자동화를 위한 연구

황영관* · 이남호* · 김종열*

*한국원자력연구원

The Study of automated inspection technology using a three-dimensional reconstruction of stereo X-ray image based dual-sensor Environment

Young-Gwan Hwang* · Nam-Ho Lee*· Jong-Ryul Kim*

*Korea Atomic Energy Research Institute

E-mail : yghwang@kaeri.re.kr

요 약

화물 검색용으로 사용되고 있는 X-선 검색장치는 대상물의 단면 정보만을 제공하고 있기에 검색 대상체의 식별에 어려움이 있어 이에 대한 개선이 요구되어 왔다. 또한 대량의 화물 검색을 효율적으로 수행하기 위해서는 검색시스템에 대한 자동화가 요구되며 자동화를 위해서는 대상체를 식별하기 위한 다양한 식별자가 필요하다. 스테레오 X-ray 시스템은 기존의 검색 장치에 라인센서를 추가하여 검색 대상체에 대한 추가적인 정보를 제공함으로써 검색 효율을 높이도록 고안되었다. 본 논문에서는 선행 연구를 통해 개발된 스테레오 X-선 검색장치를 이용하여 다양한 물체에 대한 검색을 수행하며 형상정보를 복원하여 실제 값과의 비교를 통해 스테레오 방사선 스캔장치에 대한 성능분석을 수행하였다. 또한 본 논문에서 제시하는 3차원 형상복원 알고리즘을 통해 검색시스템을 자동화할 수 있는 새로운 식별자의 제공이 가능하다고 판단된다. 본 연구의 결과는 대형 화물 스캔 장치 및 고속화물 스캔 장치 개발을 위해 활용될 수 있다.

ABSTRACT

As most the scanning systems developed until now provide radiation scan plane images of the inspected objects, there has been a limitation in judging exactly the shape of the objects inside a logistics container exactly with only 2-D radiation image information. Two 2-dimensional radiation images which have different disparity values are acquired from a newly designed stereo image acquisition system which has one additional line sensor to the conventional system. Using a matching algorithm the 3D reconstruction process which find the correspondence between the images is progressed. In this paper, we proposed a new volume based 3D reconstruction algorithm and experimental results show the proposed new volume based reconstruction technique can provide more efficient visualization for cargo inspection. The proposed technique can be used for the development of the high speed and more efficient non-destructive auto inspection system.

키워드

X-ray Line Scan, Stereo X-ray inspection, Sensor calibration

Ⅰ. 서 론

9.11 사태 이후 미국에서는 자국으로 유입되는 수출입 물류에 대한 보안 및 안정성 강화를 위해 모든 컨테이너 물류에 대하여 방사선 검색 의무화를 미국항만보안법에서 규정하고 있으며, 공항만 등에서의 보안 검색이 강화되며 X-선을 이용한 스캔은 큰 이슈로 떠오르게 되었다. 기존의 X-선 검색장치들은 검사 대상물의 단면 정보만을 스캔하여 밀도 정보로 이루어진 2차원 영상 정보만을 제공하고 있다. 일반적으로 2차원 영상 정보

만으로는 물체에 대한 구분에 한계가 있으며, 구분하는 사람의 경험 및 지식수준에 따라 오차를 발생 시킬 수 있다. 또한 고속 검색을 위해서는 자동화된 검색 장치가 필요하며 밀도정보와 단면 정보만을 제시하고 있는 X-선 영상에서의 식별자는 제한되기 때문에 검색효율 개선을 위해서는 새로운 식별자가 필요하다.[1,2]

본 논문에서는 스테레오 영상을 이용한 볼륨기반 형상복원를 바탕으로 다양한 대상체에 대한 형상정보를 획득하고 스캔장치를 통해 얻은 스테레오 방사선 영상과 이를 통해 얻은 형상복원 정보를 비교하여 형상복원 기술을 검증하였다. 형상복원 결과를 이용한다면 효율적인 검색 자동화를 위한 새로운 파라미터로의 적용이 가능할 것이라 판단된다.

II. Dual-Sensor 기반 방사선 검색 시스템

방사선 영상의 3차원 형상화 연구를 위해 검사 대상물의 방사선 투과 영상을 얻기 위한 축소형 방사선 검색 장치를 고안하였다. 경제적 부담을 최소화하고 제작기간의 단축을 위해 기존에 널리 사용되는 이차원 방사선 검사장치를 기반으로 방사선 디텍터(Detector)를 한 대 추가하였다. 그림 1은 검색장치를 운용하기 위한 프로그램으로 좌측 상단에는 검색시스템을 실시간으로 촬영하여 표현한 것이다. 그림 1을 통해 나타내어진 조시실 내부에는 X-선 발생장치 (X-선 Generator), 검색 대상물의 등속 선형 스캔용 스테이지(Stage), 두 대의 방사선 디텍터(Dual-line detector)로 검색 시스템이 구성됨을 확인할 수 있다.

그림 1의 오른쪽에는 비파괴 검사용 X-선 발생장치로부터 획득한 스캔 영상을 나타내고 있으며 그림 1의 하단은 검색시스테믕ㄹ 운용하기 위한 장치의 설정 파라미터를 변경하는 창으로 구성하였다. 디텍터로 부터 얻어지는 2차원 방사선 영상은 대상물에 대한 X-선 장치와 디텍터의 시차(Disparity)로 인해 서로 다른 주시각을 갖게되어 대상물의 3차원 정보를 추출하는 기본 영상으로 사용된다.

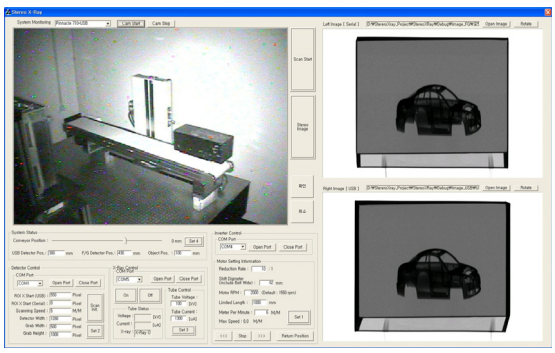


그림 1. 다채널 장치 운용 프로그램

본 연구에서 X-선의 에너지는 129keV, 디텍터는 640개의 1차원 선형배열 화소센서, 대상물 구동 이송체는 10m/min의 등속으로 스캔영상을 획득하도록 설정하였으며, X-선 발생장치와 디텍터간의 정확한 거리는 1,096.8㎜로 시험 공간을 구성하였다.

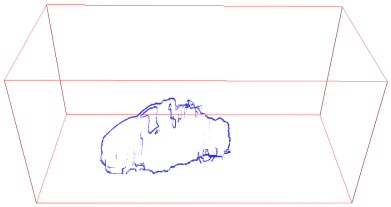
III. Edge기반 방사선 영상 형상복원

방사선 스캔영상은 일반 가시광 카메라로부터 얻는 정보와는 달리 물체의 투과밀도 정보만을 제공하게 되므로 전통적인 스테레오 영상처리를 적용하는데 한계가 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 본 연구에서는 물체의 밀도정보가 최소화되는 에지영상만을 대상으로 영상 매칭을 통해 형상복원 결과를 도출하였다.[3]

(a) 물체의 실제 모습

(b) 좌, 우 스테레오 X-선영상

(c) 우영상의 에지영상



(d) 물체 외곽선에 대한 3차원 복원 결과

그림 2. 자동차 모형에 대한 3차원 복원

IV. 볼륨기반 방사선 영상 3차원 형상화

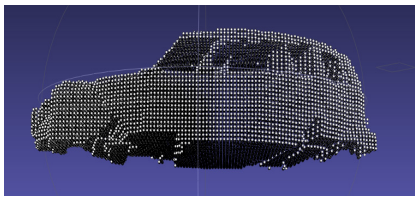
에지기반 3차원 복원 알고리즘은 관측시점을 변화시킬 경우 3차원 정보가 불확실하게 복원되는 단점을 가지고 있다. 이는 물체의 외곽선이라 하더라도 스테레오 X-선 영상을 이용하여 복원한

결과는 물체가 놓여진 방향과 X-선 소스에서 센서의 직선상에 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 외곽선을 복원하더라도 물체의 전체 모습을 파악할 수 있는 새로운 방법이 필요하게 되어, 물체의 외곽선에 대한 3차원 복원을 구현하면서 동시에 물체의 전체 모습을 복원할 수 있는 체적(volume) 기반의 3차원 복원 방법을 제안하였다.

X-선 영상의 전면과 후면 위치에 대한 물리적 모호성을 해결하기 위해 대상물의 3차원 복원과 가시화에서 스테레오 에지 영상정보를 이용하는 방법은 정면방향에 대해 유용한 3차원 정보를 제공하는 결과를 확인하였으나 다양한 방향에 대해서는 불완전한 3차원 정보 복원이 관찰되었다. 완전한 3차원 복원의 문제점을 개선하기 위해 볼륨 복원 기반 3차원 형상화 알고리즘은 복원하고자 하는 3차원 공간을 복셀로 구성된 체적을 정의하고 3차원 복원 대상물에 해당되지 않는 복셀을 제거해나가는 과정이다. 먼저 대상물의 이진 변환 영상으로부터 배경 복셀을 분리하고 각 복셀과 3차원 에지복원 영상과의 벡터를 정의하고 각 누적벡터의 값의 수렴특성을 기준으로 3차원 대상물 정보를 추출하는 과정으로 진행되었다.

(a) 좌, 우 스테레오 X-선 영상

(b) 좌, 우 스테레오 영상의 이진화 영상



(c) 서로 다른 시점의 3차원 체적 복원 결과

그림 3. 자동차 모형의 3차원 체적 복원 결과

Ⅴ. 3차원 형상복원 시험 및 복원결과

3차원 형상복원 시험을 위해 6종의 자동차 모형을 대상으로 검식 시험을 수행하였다. 3차원 체적 모델의 복원 오차를 측정하기 위하여 MeshLab 소프트웨어를 사용하여 그 크기를 측정하였다. 표 1에는 자동차 모형에 대한 실측 크기를 나타내었으며, MeshLab 소프트웨어에서 제공하는 길이 측정 기능을 사용하여 표 2와 같이 복원된 모델의 가로(W), 세로(H), 그리고 깊이(D)를 측정하였다.

그림 4. Model A 실제 모습

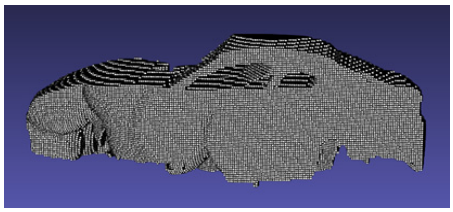


그림 5. Model A 볼륨 기반 복원 결과

표 2에서 볼 수 있듯이 측정 오차는 평균적으로 가로축 3%, 세로축 7%, 깊이 6%의 오차를 나타내는 것으로 분석된다. 더 정밀한 센서의 보정이 이루어진다면 복원 모델의 오타가 줄어들 것으로 기대된다.

표 1. 검색 대상 모형 실측 결과

Model	Real Object		
	전장(㎜)	높이(㎜)	폭(㎜)
A	165.00	45.41	72.76
B	200.00	53.63	75.70
C	124.00	40.00	51.50
D	123.00	49.10	46.80
E	97.40	19.30	48.50
F	135.00	42.60	52.00

표 2. 검색 대상 모형 복원 결과

	볼륨 복원 결과					
	전장(㎜)	높이(㎜)	폭(㎜)	W-err	H-err	D-err
A	156.864	50.184	73.96	4.93%	10.51%	1.65%
B	204.852	57.528	84.28	2.43%	7.27%	11.33%
C	124.184	38.488	51.686	0.15%	3.78%	0.36%
D	132.956	50.456	55.556	8.09%	2.76%	15.76%
E	98.556	21.896	52.46	1.19%	13.45%	7.55%
F	136.052	43.656	51.514	0.78%	2.48%	0.94%
	평균			2.93%	6.71%	6.27%

Ⅵ. 결 론

Dual 센서 기반의 스테레오 검색 장치는 컨테이너 상자 내의 보이지 않는 화물의 3차원 형태를 검색하기 위한 새로운 개념의 장치이다. 화물 내부의 대상체에 대한 검색을 위해 스테레오 장치를 설계 제작하고 장치의 공간기하좌표를 보정하고 공간정보 변수변환을 정의하고 시험 대상물에 대한 3차원 형상화 연구를 수행하였다.

형상 복원을 위해 적용한 윤곽선(에지)기반 복원을 수행하고 볼륨기반 형상복원 알고리즘을 적용하여 검색 대상체에 대한 형상정보를 복원하였다. 복원 실험을 위해서는 자동차 모형을 대상으로 6종의 모델에 대한 복원 결과를 도출하였다.

6종 모델의 복원 결과 실측 값과 복원 값을 비교해보면 가로, 세로, 깊이에 대한 오차가 각각 약 3%, 7%, 6%로 측정 되었다.

비파괴 검사의 자동화를 위해서는 검색대상체에 대한 구분을 위해 다양한 식별자가 필요하며 형상복원 결과의 평면 정보뿐만 아니라 깊이 정보를 통한 볼륨 정보를 추가한다면 검색장치의 자동화를 위한 기초자료로 활용될 수 있다고 본다.

감사의 글

본 연구는 국방과학연구소의 민군기술협력센터의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

[1] Domingo Mery, “X-ray Testing: The State of the Art.”, The e-Journal of Nondestructive Testing(NDT), Vol. 18, No. 09, pp. 01, 2013.

[2] A. Noble, R. Gupta, J. Mundy, A. Schmitz, R. Hartley, W. Hoffman, “CAD-based inspection using X-ray stereo”, Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2361, 1995.

[3] Zhigang Zhu, Li Zhao and Jiayan Lei, “Stereo Matching and 3D Visualization for Gamma-Ray Cargo Inspection Stereo Matching and 3D Visualization for Gamma-Ray Cargo Inspection”, Applications of Computer Vision, pp. 13, 2007.