

Image Correction Method for Segmented Linear Detector

Kwon-Su Chon^{1,*}, Suk-Sim Oh², Wang-Youn Jin²

¹Department of Radiological Science, Daegu Catholic University

²Research Institute, AiSTTECH Inc.

Received: April 18, 2022. Revised: April 28, 2022. Accepted: April 30, 2022.

ABSTRACT

Linear detectors composed of several modules have been widely used in industrial in-line inspection. Two dimensional image obtained from the linear detector shows line artifact at the connection part of each module. In this study, we proposed a method to remove the line artifact using the flat-field correction and a wedge phantom image. Conventional flat-field correction has been applied to remove the artifact, however there are still line artifacts even after applying correction. It was found that two edge pixels at the connection part of two modules were over-corrected after the flat-field correction. Those edge pixels was corrected by using the correction factor obtained from an image of the wedge phantom, and images removed line artifacts were obtained. It is necessary to improve the method obtained manually the correction factor from the image of the wedge phantom.

Keywords: Linear Detector, Line Artifact, Image Correction, Flat-Field Correction

I. INTRODUCTION

산업 및 농산물 분야에서 제품 또는 상품의 이상 유무를 표본(sampling) 검사로 수행하다가 최근부터는 전수검사를 시행하고 있다. 배터리(battery) 분야에서 표본 검사로 인한 불량품의 폭발사고 발생과 이물질이 포함된 통조림, 과자, 냉동식품 등의 제품 출시로 인한 국민 먹거리 불안 이유가 그 중심에 있다.

컨베이어(conveyor) 장치를 따라 이동하는 제품의 전수검사를 위해서는 2차원 엑스선 영상 검출기를 이용한 장치보다는 1차원 선형 검출기(linear detector)를^[1,2] 이용한 검사 장치가 가격 경쟁력 측면에서 우위를 점하고 있다. 1차원 선형 검출기는 작은 크기로 제작된 모듈(module)을 직선 형태로 여러 개 부착하여 필요한 길이를 갖도록 제작하고 있다^[3]. 컨베이어 장치를 따라 이동하는 제품이 선형 검출기를 통과할 때 선형 검출기로부터 영상신

호를 얻고 이것을 연속적으로 획득하여 배치하면 2차원 영상을 얻을 수 있다^[4]. 이것은 제품의 이동 속도보다 선형 검출기의 신호 획득 속도가 훨씬 빠르기 때문에 가능하다.

모듈 형태의 선형 검출기는 주로 간접방식의 검출 형태를 갖는다. 엑스선을 가시광선으로 변환하는 신틸레이터(scintillator)가 있고 그 하단에 가시광선을 전자로 변환하는 포토다이오드(photodiode)가 위치하는 형태이다^[5]. 여러 모듈을 연결하여 필요한 길이의 검출기를 제작하기 때문에 모듈의 연결 부위는 모듈 중간에 위치한 픽셀(pixel)과 다른 특성을 갖게 되는 문제가 발생한다^[6]. 모듈 연결부분에서 광자 검출 효율이 낮아지게 되어 2차원 영상에서 강한 줄 또는 선 허상(artifact)이 발생한다. 선형 검출기를 이용한 인라인(in-line) 검사 장치에서 발생하는 선 허상을 제거하기 위해 선형 검출기로 만든 2차원 영상에 대해 기존에 알려진 Flat-Field Correction 방법이 적용되고 있으나 선명한 선 허상

* Corresponding Author: Kwon-Su Chon

E-mail: kschon@cu.ac.kr

Tel: +82-53-850-2521

을 완벽하게 제거하지 못하고 있다^[7-10]. 이것은 검출기에 도달하는 광자량에 의존하여 선 허상의 강도가 변하기 때문이다.

본 연구는 여러 모듈을 연결하여 제작한 선형 검출기에서 발생하는 선 허상을 제거하기 위한 새로운 보정 방법을 제시한다. Flat-Field Correction 방법을 적용한 후 일정 두께를 갖는 Wedge 팬텀의 영상을 이용하여 선 허상을 제거하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 선형 검출기 및 영상 획득

실험을 위해 5개의 모듈을 직선으로 부착한 선형 검출기(썬아이스트, 대한한국)를 사용하였다. 한 개의 모듈은 0.4 mm 크기의 포토다이오드 128개를 갖는다. 검출기의 연결부위는 Fig. 1에 표시된 점선과 같이 A와 B 모듈 사이에 빈 공간이 발생한다.

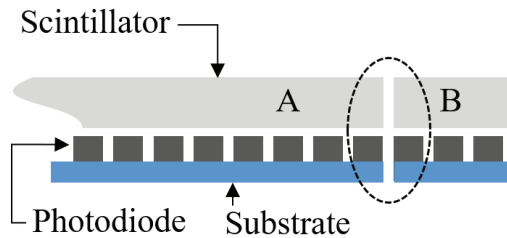


Fig. 1. Schematic diagram of the segmented linear detector.

엑스선관(ThermoFisher, USA)과 선형 검출기 사이의 거리는 400 mm이고 영상 획득을 위해 플라스틱으로 만든 샘플(sample) 스테이지(stage)에 테이프를 이용하여 시료를 고정하고 컨베이어 장치를 이용하여 샘플 스테이지를 이동시켰다. 검출기와 샘플 스테이지까지의 거리는 50 mm가 되도록 조정하였다. 100 kV 관전압에서 266 μ A의 관전류 조건으로 엑스선을 연속으로 조사하면서 선형 검출기에서 영상을 획득하였다. 시료는 포장된 과자와 2 mm 두께의 알루미늄판을 10개 겹친 Wedge 팬텀을 사용하였다.

영상 뷰어(viewer)를 제작하여 1차원 선형 검출기의 신호를 연속적으로 배치하여 16비트 640 × 800

크기의 2차원 영상을 획득하였다. 샘플 스테이지에 원형 모양의 얇은 금속 시료를 부착하여 영상에서 시료가 원형으로 나타나도록 컨베이어 장치의 속도를 5 m/min으로 조절하였고 컨베이어 장치는 연속 회전을 통해 왕복운동을 하도록 제작되었다.

2. Field-Field Correction

영상 뷰어로 획득된 영상 데이터를 Eq. (1)에 의해 Flat-Field Correction을 수행하였다.

$$I = \frac{\text{Avg}}{I_{\text{on}} - I_{\text{off}}} (I_{\text{raw}} - I_{\text{off}}) \quad (1)$$

여기서 I_{on} 과 I_{off} 는 엑스선관과 검출기 사이에 아무 것도 없는 상태에서 엑스선을 조사했을 때의 영상(white 영상)과 엑스선관을 off 했을 때의 영상(dark 영상)이고 I_{raw} 는 샘플 영상이다. Avg는 상수값으로 여기서는 I_{on} 영상의 평균 픽셀값을 사용하였다.

Eq. (1)을 각 픽셀에 적용하면 Flat-Field Correction된 영상을 획득하게 된다. 여기서 주의할 것은 I_{on} 영상을 획득할 때 I_{raw} 영상을 획득하는 엑스선 조사 조건과 동일한 상태에서 영상을 획득해야 한다.

3. Wedge 팬텀을 이용한 영상보정 방법

Wedge 팬텀을 대상으로 획득한 영상을 Flat-Field Correction 수행하더라도 선 허상을 완전히 제거할 수 없다. 두께가 동일한 부분에서는 잡음 수준의 차이를 제외하고는 거의 비슷한 대조도를 보여야 하지만 모듈의 경계 부분에서 피크와 비슷한 형태의 불연속적인 특성이 나타난다. 동일 두께 내에서 Wedge의 영상이 일정한 값을 갖도록 엣지(edge) 부분의 픽셀값을 보정하는 방법을 사용한다.

공기 부분을 0으로 두고 팬텀의 두께가 두꺼워질수록 1, 2, ..., 10의 인덱스를 부여하면 인덱스 위치에서 정상 픽셀값의 평균 대비 선 허상을 나타내는 픽셀의 값을 상대적으로 얼마로 조정해야 하는지 알아낼 수 있다. 이 보정값을 과자 시료의 엣지 부분에 적용하여 선 허상이 완전히 제거된 영상을 얻는다.

III. RESULT

1. Flat-Field Correction 수행

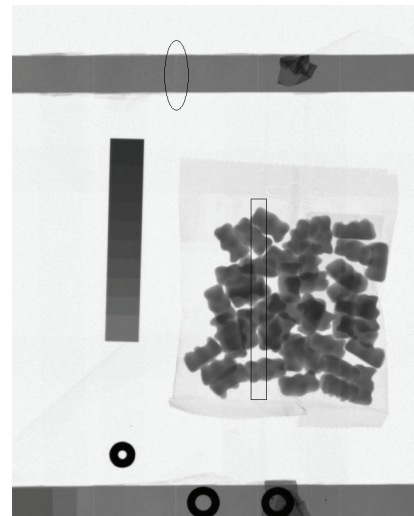
5개의 모듈이 연결된 선형 검출기에서 얻어지는 영상은 모듈 내부에 위치한 픽셀과 경계의 픽셀은 다른 검출 특성을 보이기 때문에 선 허상이 나타났다. Fig. 2는 white 영상을 나타낸 것으로 모듈 사이에 강한 선 허상이 나타난다. 그리고 동일 모듈 내에서도 검출 특성이 조금씩 다르게 나타난다.



Fig. 2. White image obtained with the segmented linear detector.

통상적으로 실시하는 Flat-Field Correction을 수행하면 선 허상이 완전히 제거되지 않고 미세하게 남는다. Fig. 3과 같이 픽셀값이 크게 나타난 부분(밝은 회색 부분)은 선 허상이 상대적으로 약하게 보이나 픽셀값이 낮은 부분(검은 회색 부분)에서는 선 허상이 상대적으로 강하게 나타났다. 타원으로 표시된 부분과 긴 직사각형으로 표시된 영역은 제거되어야 할 선 허상이 나타나고 있다.

Flat-Field Correction으로 인해 영상의 모든 픽셀이 바르게 보정되지 못하고 경계 부분에 위치한 픽셀들은 과도하게 보정되었다. Fig. 4는 보정 전의 모듈 연결부분의 픽셀값과 같은 부분의 Flat-Field Correction 수행 후의 픽셀값을 나타낸 것이다. 왼쪽 모듈의 끝 픽셀(A로 표시)과 오른쪽 모듈의 시작 픽셀(B로 표시)은 피크 형태로 나타나 다른 픽셀보다 과도하게 보정(a와 b로 표시)되었음을 나타낸다.



(a) Original image



(b) Magnification of line artifacts

Fig. 3. Image after the flat-field correction. Line artifacts by abnormal-edge pixels are not removed with the correction method. Line artifact are shown in (b) the magnified parts of line artifact.

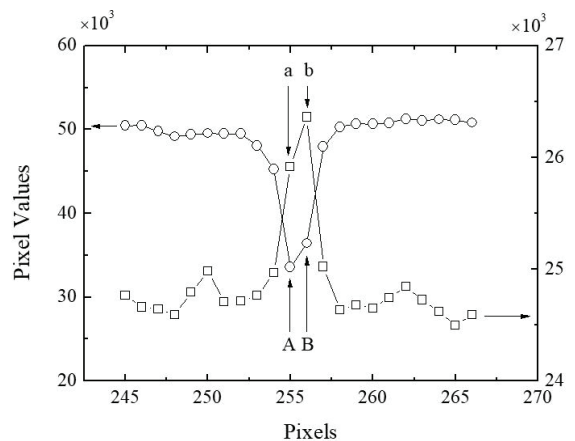


Fig. 4. Top (○) and bottom (□) data show before and after the flat-field correction, respectively. Two edge pixels (denoted by A and B) shows abnormal properties after the flat-field correction (a and b).

2. Wedge 팬텀을 이용한 추가적인 보정

두께가 서로 다른 Wedge 팬텀을 이용하여 영상을 획득하였다. Fig. 5에서 모듈의 엣지 부분에 선 허상이 나타났다. 이것은 모듈의 경계 부분이 Flat-Field Correction에 의해 완전히 처리되지 못한 다는 것을 의미한다.

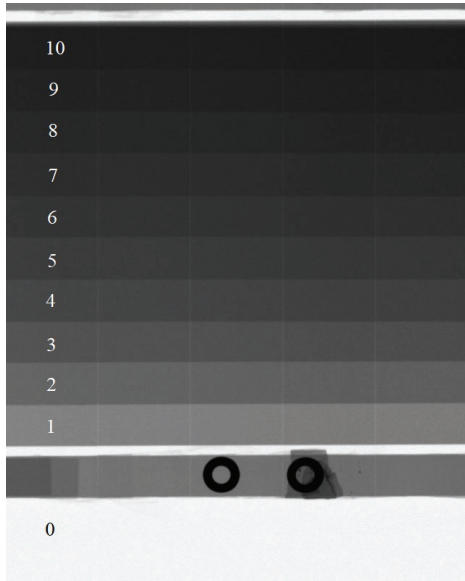


Fig. 5. Wedge phantom image after the flat-field correction. Lines which are removed are shown clearly.

Fig. 6은 인덱스 0부터 10까지에 대한 평균 픽셀 값의 로그에 대한 값으로 비정상적인 엣지 픽셀의 보정인자를 나타낸 것이다.

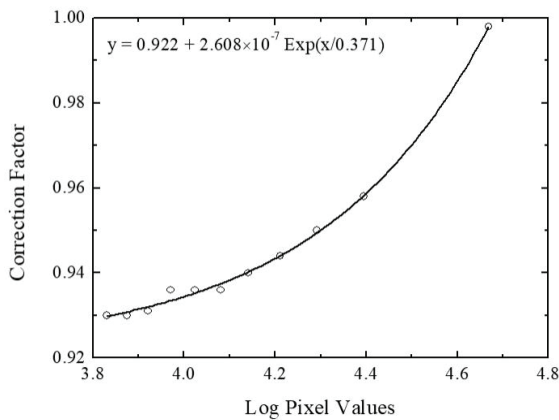


Fig. 6. Correction factors for two edge pixels.

픽셀값이 낮을수록 모듈의 엣지 픽셀은 더 큰 값을 나타내어 보정인자를 낮은 값으로 보정해 주어야 한다. 보정인자를 적용한 이후의 샘플 영상은 Fig. 7과 같이 선 허상이 제거되어 바르게 보정되었다는 것을 확인할 수 있다.

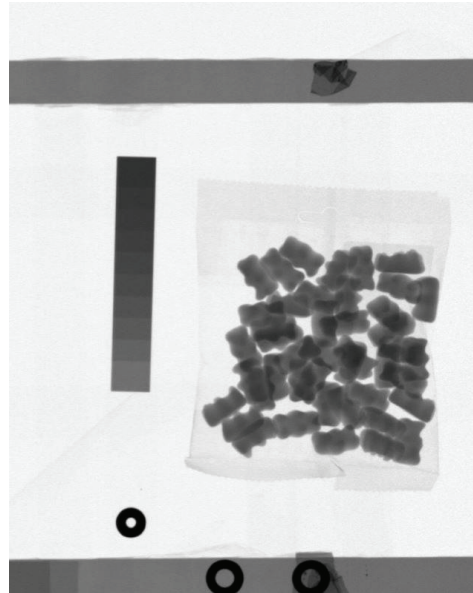


Fig. 7. Image after applying correction factors.

IV. DISCUSSION

보통의 Flat-Field Correction의 방법만을 적용하면 모듈 연결부분의 엣지 픽셀에 대해서는 보정이 제대로 적용되지 않는다. 보통 Flat-Field Correction 이후 엣지 픽셀의 선형보간을 통해 그 차이를 최소화한다. 픽셀값의 차이가 대략 200 정도로 크지 않기 때문에 대조도 차이가 큰 경우는 선 허상이 거의 관찰되지 않는다. 대부분의 제품 및 농산물 인라인 검사에는 단순한 선형보간 방법을 적용하더라도 줄 허상의 영상이 육안으로 확인될 정도로 나타나지 않는다. 그러나 Fig. 5와 같은 거의 일정한 두께를 갖는 시료 예를 들면 팩(pack)형 배터리 같은 경우는 선 허상이 선명하게 나타나기 때문에 보정이 필요하게 된다. 제시된 2단계 보정 방법(Flat-Field Correction과 Wedge Phantom 영상을 이용한 보정)은 수동적인 요소가 많이 포함되어 있다. 보정인자를 구하는 절차가 대표적이다. 관전압이나 관전류 바꾸어 영상을 촬영할 경우 기존의 보정인자를 적

용하면 여전히 불필요한 선 허상들이 나타난다. 영상 획득 조건을 바꿈에 따라 보정인자를 자동으로 얻을 수 있는 추가적인 연구가 필요하다.

V. CONCLUSION

여러 모듈을 연결하여 제작한 선형 검출기의 영상보정 방법을 제시하였다. Flat-Field Correction만을 적용하면 모듈 연결부위 엣지에 위치한 픽셀이 정상적으로 보정되지 않고 과도하게 보정되는 것을 확인하였다. Wedge 팬텀의 영상을 이용하여 추가적인 보정인자를 산출하고 적용하여 온전히 보정된 영상을 획득하였다. 보정인자를 산출하는 자동적인 방식을 자동으로 획득할 수 있도록 추가적인 개선 연구가 필요하다.

Acknowledgement

본 연구는 중소벤처기업부의 기술개발사업(디딤돌 창업과제 S3056527) 지원에 의해 수행되었다.

Reference

- [1] R. P. Haff, N. Toyofuku, "X-ray detection of defects and contaminants in the food industry", *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*, Vol. 2, No. 4, pp. 262-273, 2008. <http://dx.doi.org/10.1007/s11694-008-9059-8>
- [2] A. Brambilla, P. Ouvrier-Buffet, J. Rinkel, G. Gonon, C. Boudou, L. Verger, "CdTe Linear Pixel X-Ray Detector With Enhanced Spectrometric Performance for High Flux X-Ray Imaging", *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. 59, No. 4, pp. 1552-1558, 2012. <http://dx.doi.org/10.1109/TNS.2012.2206828>
- [3] N. M. Allinson, "Solid-state imaging arrays for X-ray detection", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, Vol. 201, No. 1, pp. 53-64, 1982. [http://dx.doi.org/10.1016/0167-5087\(82\)90011-4](http://dx.doi.org/10.1016/0167-5087(82)90011-4)
- [4] M. J. Paulus, S. S. Gleason, S. J. Kennel, P. R. Hunsicker, D. K. Johnson, "High Resolution X-ray Computed Tomography: An Emerging Tool for Small Animal Cancer Research", *Neoplasia-International Journal for Oncology Research*, Vol. 2, No. 1, pp. 62-70, 2000. <http://dx.doi.org/10.1038/sj.neo.7900069>
- [5] M. J. Yaffe, J. A. Rowlands, "X-ray detectors for digital radiography", *Physics in Medicine and Biology*, Vol. 42, No. 1, pp. 1-39, 1997. <http://dx.doi.org/10.1088/0031-9155/42/1/001>
- [6] M. Yang, H. Chen, F. Y. Meng, D. B. Wei, "Novel correction method for X-ray beam energy fluctuation of high energy DR system with a linear detector", *Chinese Physics C.*, Vol. 35, No. 11, pp. 1074, 2011. <http://dx.doi.org/10.1088/1674-1137/35/11/018>
- [7] A. L. C. Kwan, J. A. Seibert, J. M. Boone, "An improved method for flat-field correction of flat panel x-ray detector", *Medical Physics*, Vol. 33, No. 2, pp. 391-393, 2006. <https://doi.org/10.1118/1.2163388>
- [8] J. Lifton, T. Liu, "Ring artefact reduction via multi-point piecewise linear flat field correction for X-ray computed tomography", *Optics Express*, Vol. 27, No. 3, pp. 3217-3228, 2019. <http://dx.doi.org/10.1364/OE.27.003217>
- [9] V. V. Nieuwenhove, J. D. Beenhouwer, F. D. Carlo, L. Mancini, F. Marone, J. Sijbers, "Dynamic intensity normalization using eigen flat fields in X-ray imaging", *Optics Express*, Vol. 23, No. 21, pp. 27975-27989, 2015. <http://dx.doi.org/10.1364/OE.23.027975>
- [10] D. W. Davidson, C. Fröjd, V. O'Shea, H-E. Nilsson, M. Rahman, "Limitations to flat-field correction methods when using an X-ray spectrum", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, Vol. 509, No. 1, pp. 146-150, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9002\(03\)01563-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9002(03)01563-8)

모듈로 구성된 선형 검출기의 영상보정 방법

천권수^{1,*}, 오석심², 진왕연²

¹대구가톨릭대학교 방사선학과

²(주)아이스트 기업부설연구소

요 약

여러 모듈을 선형으로 배치하여 제작한 선형 검출기가 산업의 전수검사에 활용되고 있으나 선형 검출기로 획득한 2차원 영상에서 연결부위에 선 허상이 나타난다. 본 연구는 Flat-Field Correction 이후에 Wedge 팬텀 영상을 이용하여 선 허상을 제거하는 방법을 제시하였다. 통상적인 Flat-Field Correction을 수행하더라도 모듈의 연결부분에서 발생하는 선 허상을 제거하지 못하였다. 모듈의 연결부위에 위치한 양 엣지의 픽셀들이 Flat-Field Correction 이후 과도하게 보정되는 것을 확인하였고 이 픽셀들의 추가적인 보정을 위해 Wedge 영상을 이용하여 보정인자를 구하여 적용함으로써 선 허상이 완전히 제거된 영상을 획득하였다. 보정인자를 구하는 수동적인 절차를 자동화하여 산업에서 선 허상 제거를 쉽게 수행할 수 있도록 개선할 필요가 있다.

중심단어: 선형 검출기, 선 허상, 영상보정, Flat-Field Correction

연구자 정보 이력

| | 성명 | 소속 | 직위 |
|------------------|-----|-----------------|------|
| (제1저자) (교신저자) | 천권수 | 대구가톨릭대학교 방사선학과 | 교수 |
| (공동저자) | 오석심 | (주)아이스트 기업부설연구소 | 연구소장 |
| | 진왕연 | (주)아이스트 기업부설연구소 | 연구원 |