

현대판 �핑크스: 국경의 관문을 지키는 X-ray 판독 기술

Modern Sphinx: X-ray Inspection Technology for Customs

이정원 (J.W. Lee, jeongwon@etri.re.kr)

문태준 (T.J. Moon, ansend@korea.kr)

의료정보연구실 선임연구원

관세청 정보개발실 주무관

ABSTRACT

Today, the volume of international trade by airplanes and ships is rapidly increasing, and the volume of trade over land is expected to increase as inter-Korean relations change. In customs processes, humans inspect using the naked eye; therefore, computer vision technology can be used to assist customs inspectors responsible for X-ray security screening. In particular, because of recent advances in deep learning technology, algorithms for image understanding and object detection performance are improving, and studies on their application to X-ray screening have been published. This manuscript describes trends in artificial intelligence X-ray image-reading technology to detect prohibited items. X-ray inspection AI technology is similar to the Sphinx, which was the guardian of the pyramids in ancient Egyptian mythology.

KEYWORDS X-ray, 딥러닝, 객체 검출

1. 서론

스핑크스는 파라오의 얼굴과 사자의 몸을 한 신화 속 동물이다. 피라미드로 통하는 길목을 지키고 앉아 왕래하는 사람에게 이것저것 묻고 통과 여부를 판단하여 피라미드를 지키던 수호자였다. 성경에 세금 징수원 '세리'가 등장하는데, 세리에는 일반세를 수급하는 '갹바이(gabbai)'와 세관에서 관세

를 징수하는 '목케스(mokhes)'가 있었다. 목케스는 마치 �핑크스처럼 통관 업무를 보던 공무원이었다. 목케스 중 가장 이름을 날린 사람은 예수의 제자 마태였으니, 현대의 세관 공무원은 �핑크스와 마태의 후예이다.

한반도 최초의 세관은 두모진 해관이었지만 3개월을 버티지 못했다. 1878년 9월 28일, 동래부사 휘하의 두모진에 해관을 설치하고 일본과의 무역

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2020.J.350604>

* 이 동향분석 원고는 2019년 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 국가과학기술연구회 창의형 융합연구사업(CAP-18-03-ETRI)의 지원을 받아 수행된 연구임.



본 저작물은 공공누리 제4유형

출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

©2020 한국전자통신연구원

에 관세를 징수하였는데, 일본 상인들의 항의와 일본 군함의 함포 발사 등 무력시위를 견디지 못하고 3개월 만에 폐관되고 말았다.

사실상 최초의 근대적 세관은 1883년 6월에 세워진 인천해관이라 할 수 있다. 최초의 세관 창설 이후 140여 년 동안 세관은 무역 관세를 징수하는 역할에 머물지 않고, 국민에게 위협이 되는 약물과 위해물품의 반입도 감시하고 있다.

공항과 항만을 통해 국경을 건너는 화물과 사람들은 모두 세관을 거친다. 세관은 국민의 안전과 재산권 보호를 위해 서류 심사와 화물 검사로 이루어지는 통관 업무를 수행하는데, 최근의 흐름은 관세를 부과하는 역할에서 국경에서 안보를 수호하는 역할로 무게중심이 옮겨가고 있다. 특히 검사 대상 화물에 대해서는 X-ray 검색기로 촬영한 영상을 판독하여 화물 내 불법물품 은닉이 의심되면 개장검사를 하거나 통관보류 등의 조치를 취한다. X-ray 영상 판독 시스템은 세관 업무에서 가장 중요한 역할을 하고 있으니, 글로벌 자유무역 시대의 국경을 수호하는 현대판 스팅크스라 할 만하다. 본고는 세관의 X-ray 검사를 위한 컴퓨터 비전 기술 동향을 요약한다.

II. 컴퓨터 도움 검색의 필요성

1. 늘어나는 국제 교역량

최근 해외 전자상거래 사이트 이용 증가로 전자상거래 물품의 주요 반입수단인 특송화물 반입량이 폭증하고 있다. 2010년 8,777천 건이었던 특송화물 반입량은 2019년 52,536천 건으로 499% 증가했다.

인천공항과 부산항은 국내 최대 무역 통로이다. 인천공항은 2018년 국제공항협의회 국제화물 통계 기준으로 세계 3위 수준으로 물동량이 많으며, 2019년 기준으로도 국제화물 물동량은 295만 톤으

로 세계 3위 수준이다[1]. 국내 최대 무역항인 부산항의 연간 교역량은 세계 6위 수준이며, 컨테이너 물동량은 3년 연속 신기록을 이어갔다. 2019년 컨테이너 전용 터미널에서 처리한 전체 물동량은 2,159만 6천여 건으로 전년 대비 2.1% 늘었다[2]. 또한 인천항은 2017년 말 역대 최초로 305만TEU를 기록하고, 2018년에는 312만TEU로 전년 대비 2.4% 증가했다[3].

이에 비해, 관세청 직원은 2010년 4,462명에서 2019년 5,148명으로 15.4% 증가에 불과하여 개인당 업무량은 갈수록 폭증하고 있어 기존 방식으로 불법물품의 식별이 더 어려워지고 있다.

2. 늘어나는 밀반입

최근 대표 밀수 품목은 금괴와 담배이다. 담배 적발 건수는 2012년부터 2016년까지 각각 41건, 81건, 88건, 593건, 572건으로 매년 늘고 있다. 특히 2015년 담뱃값이 인상된 이후로 담배 밀수는 여행자, 컨테이너 수입화물을 가리지 않고 시도되고 있으며, 적발 금액도 7배가량 급격히 늘어, 2016년까지 4년간 적발된 담배 밀수 규모는 1천400억 원에 이른다[4].

마약은 국민 건강과 경제활동에 미치는 영향이 더욱 크다. 관세청의 '2019년 마약류 밀수단속 동향' 자료에 따르면 2019년에만 총 660건 348kg의 마약류 밀반입이 적발됐다. 이는 2016년 423건 50kg, 2017년 476건 69kg에서 급증한 수치이다. 필로폰, 코카인, 대마(종자 포함), MDMA 등 적발된 마약의 종류도 다양하다[5].

안보를 위협하는 위해물품 밀반입도 늘고 있다. 국내로 들어오는 항공기만 보더라도 총기류 기내 반입 시도가 적지 않다. 2017년에만 19건이 적발됐다. 공항에서 반입을 금지하는 안보위해물품은 총

포도검류, 전기충격기 등이 있는데, 2019년 적발된 총포도검류는 522건으로 하루 평균 1건 이상이다. 품목별로는 실탄 33건, 도검류 476건, 총기류 13건이었다.

III. 세관 X-ray 검사

1. 현황

X-ray 검색기는 세관 검사에서 중요한 역할을 한다. 세관에서 X-ray 검색기는 여러 체크포인트에서 다양하게 활용된다. 공항에서는 X-ray 검색기로 승객들의 기내수하물과 위탁수하물을 전량 검사하며, 항공화물을 검사하기도 한다. 항만에서는 승객들의 수하물 외에도 화물 컨테이너를 고정형 또는 이동형 X-ray 검색기로 촬영하여 밀수품과 안보위해물품을 식별하고 있다.

2005년 5월 26일에는 인천공항 세관에서 시가 553억 원의 금괴 3,455kg가 적발됐다. 컴퓨터 중앙처리장치 부품에 금괴를 교묘하게 붙여 박스 중앙에 세로로 세우는 방식으로 일명 ‘알박기’라 부르는 수법이였다. 기존에 세관에서 주로 활용하던 단방향 X-ray 검색기의 허점을 노린 은닉 수법이였지만, 당시 인천공항 세관에서 새로 도입한 양방향 X-ray 검색기로 ‘알박기’ 수법으로 은닉한 금괴를 적발할 수 있었다.

수입 화물에 대해서만이 아니라 수출 화물에 대해서도 X-ray 검사 물량이 갈수록 늘고 있다[6]. 2001년 9.11 테러로 충격을 받은 미국 국토안보부 산하 세관및국경보호국은 2002년 ‘컨테이너 안전 협정’을 발표하여 미국행 우범 의심 화물에 대해 출발지 항만에서 X-ray 검사를 실시하도록 조치하였다. 이에 따라 2019년 5월 기준으로 세계 각국 58개의 항만에서 미국행 선박의 화물 컨테이너를 대상으로 X-ray 검사를 실시하고 있으며, 테

러 위협 예방을 위해 미국으로 입항하는 컨테이너의 80% 정도를 대상으로 사전 검사를 실시하고 있다[7]. 부산항도 2005년부터 컨테이너 안전협정에 따라 출항 전에 X-ray 검사를 실시하고 있으나, 검색기 설치 예산과 인력 문제로 전량 검사를 하지 못하고 단계적으로 확대하고 있는 실정이다.

2. 절차

세관의 화물 검색 과정은 검사대상 화물 선별, 검색기 촬영, 영상 판독, 검사의 네 단계로 이루어진다.

가. 검사대상 화물 선별

선별은 X-ray 판독대상 화물을 골라내는 작업이다. 여행자 수하물이나 해외직구로 들어오는 특송·우편 화물은 전량 X-ray로 판독한다. 하지만, 현 세관의 장비와 인력은 항만으로 들어오는 화물 컨테이너 물량을 감당하지 못하기 때문에 물류 원활화를 위해 일정 기준으로 선별한 고위험 화물 컨테이너에 대해서만 X-ray 판독을 실시한다. 세관 직원이 적하목록이나 운송장에 기재된 정보를 분석하여 판독 대상으로 선정한 컨테이너는 X-ray 검색기로 보내진다.

나. 검색기 촬영

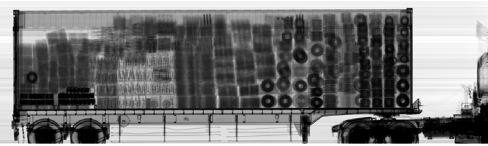
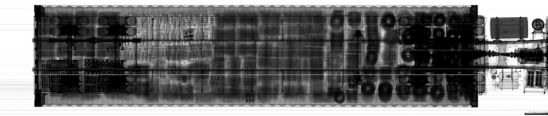
항공기 수하물이나 특송 화물은 X-ray 검색기를 통과하면서 촬영이 이루어진다. 수하물용 X-ray 검색기는 주로 160/80Kev의 듀얼에너지로 촬영하며, 수직과 수평으로 양방향 이미지를 획득한다. 영상은 제조사별 기준에 따라 유기물, 무기물 등의 물성이 반영된 8비트 RGB 영상으로 획득된다(그림 1 참조).

화물 컨테이너는 X-ray 검색기가 설치된 검색



출처 관세청 DB

그림 1 특송 화물 X-ray 영상



출처 관세청 DB

그림 2 양방향 컨테이너 검색기 X-ray 영상
(위) 수직 영상, (아래) 수평 영상

센터로 이송되고, 화물 컨테이너 검색기는 보통 6/3MeV 듀얼에너지로 촬영하며, 검색기에 따라 단방향 이미지를 얻기도 하고, 그림 2와 같이 수직과 수평 양방향 이미지를 얻기도 한다.

다. 영상 판독

검색기에서 획득한 X-ray 영상은 관독실의 모니터로 실시간 전송된다. 관독실에서는 관독 직원이 X-ray 영상을 육안으로 관독하여 개장 검사 여부를 결정한다. 항공기 수하물이나 특송 화물의 경우 물류 지체가 발생하지 않도록 관독자는 수초 이내에 판단을 내려야 하며, 화물 컨테이너의 경우 하나의 X-ray 영상에 대해서 2인 교차 관독을 원칙으로 하고 관독에 수분 정도 소요된다.

X-ray 영상 판독 직원은 도메인 지식과 영상 이

해 능력을 갖춰야 한다. 어떤 물품이 금지된 물품인지 알아야 하며, 운송장의 정보와 일치 여부를 판단할 수 있어야 한다. 또한 X-ray를 투과한 물품이 어떻게 보이는지 알아야 하고, 동일한 물품을 다른 각도에서 촬영하면 X-ray 영상이 어떻게 달라지는지, 물품이 겹치면 어떻게 보이는지, 발생기와 검출기의 특성이나 오류에 의한 영상 왜곡 등을 이해해야 한다.

라. 검사

관독실에서 X-ray 영상과 신고내역을 비교 분석하여 은닉 물품 혹은 허위 신고 의심 판정을 내리면, 개장 검사를 실시한다. 항공기 수하물이나 특송 화물은 즉시 포장을 개봉하고, 화물 컨테이너는 검사장으로 보낸다. 검사장에서는 컨테이너 문을 개봉하여 육안으로 물품 내역을 확인하는데, 비용이 발생한다. 국내의 경우 컨테이너 개봉 비용은 수십만 원 정도이며 화주가 부담하도록 되어 있는데, 2021년부터는 국가가 부담할 수 있는 법적 근거가 마련되었다.

3. 세관 X-ray 검사의 목표

가. 불법물품 은닉 적발

첫 번째 목표는 은닉한 불법물품 적발이다. 총기류, 폭발물, 도검류와 같은 안보위해물품이나 마약, 금괴, 담배 같은 밀수품이 적발 대상 품목에 해당한다. 적하목록이나 운송장에 표기되지 않은 물품을 영상에 의존하여 적발해야 하는 어려움이 있다.

나. 허위신고 적발

두 번째 목표는 허위신고 적발이다. 관세 탈루 목적으로 품명이나 수량을 속이는 밀수 사례에 대응하기 위하여, 세관장에게 제출한 적하목록이나

운송장에 신고한 물품 종류와 수량의 일치 여부를 확인하는 것이다. 특정 불법물품이 아닌 다양한 정상물품들을 X-ray 영상만으로 일치 여부를 판단해야 하는 작업이어서, 불법물품 은닉 적발보다 어려운 문제로 취급된다.

IV. 컴퓨터 도움 검색 기술

세관이나 공공기관의 X-ray 보안 검사 과정에서 판독원을 보조하기 위한 목적으로 컴퓨터 비전을 활용한 기술들이 연구되고 있다. 최근 머신러닝 특히 딥러닝을 활용한 기술의 발전으로, 영상 이해와 객체 검출 성능이 좋아지고 있어서 X-ray 보안 검색 분야에서도 딥러닝 기술이 적용되기 시작했다.

X-ray 영상을 이용한 컴퓨터 비전 기술로 검출하려는 대상은 주로 폭발물이나 SMT(Small Metallic Threat)라고 불리는 것들이다. 총기류, 도검류, 렌치, 면도칼, 표창 등이 이에 해당한다. 또한, 빈 컨테이너를 식별하거나 컨테이너 안에 은닉된 자동차를 검출하기도 한다.

세관 X-ray 검색기 영상은 크게 두 종류로 나눌 수 있다. 첫 번째 종류는 항공기 수하물이나 소포 박스 등을 촬영한 영상이다. 수하물은 적재 위치에 따라 위탁수하물과 기내수하물로 나뉘지만, 거의 구분하지 않고 연구한다. 두 번째 종류는 화물 컨테이너를 촬영한 영상이다. 화물 검색 연구는 주로 선박용 화물 컨테이너에 집중되어 있다. 화물 컨테이너는 사이즈에 따라 1TEU이거나 2TEU의 두 종류가 있고, 기능에 따라서는 냉장용과 냉동용 컨테이너 등이 있지만, 별도로 구분하지 않고 연구에 활용한다.

수하물 X-ray 영상과 화물 컨테이너 X-ray 영상은 크게 보면 동일한 원리를 이용한 X-ray 투과 영상이지만 X-ray의 투과 에너지가 다르고 영상의

크기도 차이가 난다. 또한 현장의 업무 조건이 달라서 판독원들의 요구사항도 다르다. 컴퓨터 비전을 활용한 컴퓨터 도움 검색 연구는 비교적 데이터가 풍부한 수하물 검색 분야에서 연구가 먼저 시작되었고, 화물 컨테이너 검색 분야는 비교적 최근부터 시작되었다.

화물 컨테이너를 촬영하는 X-ray 검색기에는 고정형 X-ray 투과 검색기 외에도 ZBV(Z Backscatter Van) 차량형 이동 검색기도 있다. ZBV는 X-ray 산란 원리를 이용한 방식으로, 검색 차량이 화물 컨테이너에 접근하여 비교적 손쉽게 X-ray 산란 영상을 획득할 수 있지만 X-ray 투과 영상과 비교하여 해상도가 낮고 노이즈가 심하다.

이처럼 X-ray 검색 컴퓨터 비전 기술은 여러 관점으로 분류할 수 있겠지만, 본고는 기술의 활용 목적에 따라 컴퓨터 기반 트레이닝, 가상 학습셋 생성 기술, 위해물품 자동 검출 기술로 나누어 정리한다.

1. 컴퓨터 기반 트레이닝

CBT(Computer-Based Training)는 세관 판독 직원 교육을 위한 소프트웨어 기술이다. 현재 공항의 수하물 혹은 특송화물 X-ray 영상은 현장에서 3초 이내에 이상 징후를 판별해야 하는데, 판독원들은 수년간 축적된 경험을 바탕으로 개인적인 감각과 노하우에 의존하고 있다. 고경력 판독원의 경우 다양한 사례를 많이 접하면서 이상 화물 여부에 대한 판단이 가능하지만, 신입 판독원의 경우 X-ray 영상에 대한 다양한 경험이 없어 이상 화물 여부에 대한 판단이 어려울 수밖에 없다. 더군다나 국내에서 발생하는 불법물품 적발 영상은 정상 품목에 비해 현저히 적을 뿐 아니라, 영상 다운로드 및 백업 절차도 번거로워서 활용도 높은 데이터셋을 구축

하지 못하고 있다.

CBT 기술의 핵심은 사례 영상을 생성하는 가상 학습셋 생성 기술인데, 주로 TIP(Treat Image Projection) 기술을 활용한다. TIP 기술을 통해 만들어진 데이터는 인공지능 학습에 활용되기도 한다.

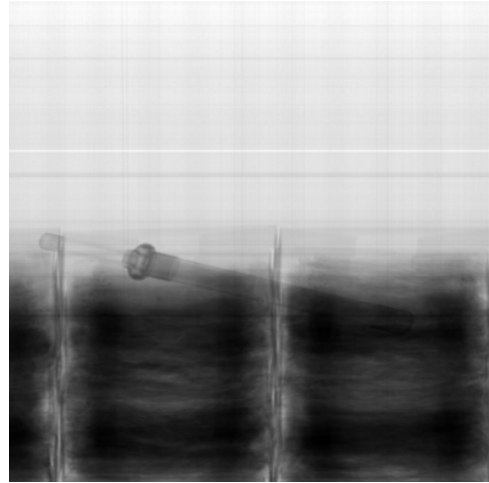
2. 가상 학습셋 생성 기술

실제 환경에서 획득한 데이터는 정상 사례에 비해서 적발 사례가 매우 드물기 때문에, 적발 사례 영상은 가상으로 생성할 필요가 있다. 가상 학습셋 생성 기술은 2000년대 초반부터 TIP 기술 연구가 시작되어 주로 판독원 교육과 평가를 위한 도구로 활용되었는데, 2016년부터는 딥러닝 학습 데이터로 활용되기 시작했으며, 최근에는 딥러닝 기술인 GAN(Generative Adversarial Network)을 이용하여 가상 학습셋을 생성하는 연구로 이어지고 있다.

가. TIP

TIP는 가상의 위험물품 아이টে를 정상 이미지에 합성하는 기술이다. 안보위해물품 적발 사례는 정상 사례에 비해 극히 적고, 특히 한국에서는 시중에서 구하기 어려운 총기류 같은 안보위해물품의 경우 다양한 참조 사례를 구축하기 어렵기 때문에 TIP 기술을 사용한다.

TIP는 위험물 아이টে 추출 및 프로젝션 단계와 다양한 변이 및 노이즈 생성 단계로 이루어진다. 첫 번째 단계에서는 Bee-Lambert 공식을 이용하여 배경에서 물체를 추출하고 그것을 다양한 배경에 투사한다. 두 번째 단계에서는 다양한 변이와 노이즈를 만들어 내는데, 위치 조정, 크기 확대 및 축소, 회전 등의 변환을 하고 노이즈를 추가한다. 또한 발생기와 검출기의 흔들림에 의해 생기는 변이도 고려할 수 있다.



출처 ETRI 개발 기술

그림 3 화물 컨테이너 영상에 도검을 가상으로 합성한 영상

TIP 기술을 화물 컨테이너 X-ray 영상에 적용한 논문은 University College London(UCL)의 2016년 논문이 처음이었으며, 랜덤 포레스트(Random Forest) 기법으로 빈 컨테이너를 검출하고, CNN(Convolutional Neural Network)으로 자동차를 검출하는 모델을 학습하였다. 그림 3은 ETRI에서 개발한 TIP 기술로 화물 컨테이너 영상에 도검을 가상으로 합성한 영상이다.

나. GAN

최근에는 가상 학습셋 생성에도 GAN을 활용하는 연구들이 시작되었다. 2019년 중국의 Yang 그룹이 GAN을 이용한 가상 학습셋 생성 연구를 처음 발표했다. 자신들이 파라미터를 수정하여 제안한 GAN 모델을 DCGAN(Deep Convolutional GAN), WGAN-GP(Wasserstein GAN Gradient Penalty)와 비교했는데, DCGAN은 안정적이고 학습이 잘되지만 영상 품질이 좋지 않고 노이즈가 많고, WGAN-GP는 DCGAN보다 성능이 좋지만 여전히 자연스럽게 보이지 않는 부분이 남아 있다.

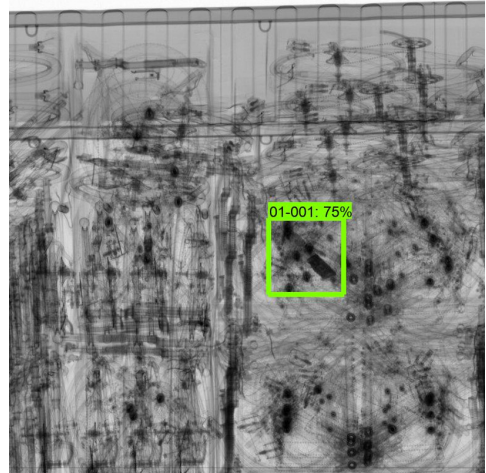
3. 위해물품 자동 검출 기술

ATD(Automatic Threat Detection)는 X-ray 영상에서 밀수품 및 안보위해물품을 자동으로 검출하여 판독자에게 알림을 주는 소프트웨어 기술이다. 국경 세관에서는 다양한 물품이 수출입 되고 물품에 따라 은닉 및 적발 방법이 달라져서 검출, 클러스터링, 분류 등 다양한 기술이 필요하다. 가장 일반적인 검출 대상은 총기류와 도검류이다. 배터리도 폭발물 조립에 활용할 수 있고 폭발 사고 가능성도 있기 때문에 드물게 연구되고 있다.

컴퓨터 비전 기술은 주로 사진 이미지를 대상으로 연구되고 있으나, X-ray 이미지는 사진과 여러 면에서 다르다. 가시광선과 달리 X-ray는 물체를 투과할 수 있기 때문에 겹침 현상이 가장 두드러진 차이점이다. 또한 노이즈의 종류와 레벨, 아티팩트 양상이 다르고, X-ray 발생기의 위치에 따라 왜곡이 발생하기도 한다.

X-ray 영상에서의 수하물 검색 알고리즘은 사진 영상에서 주로 활용되던 방법들(SIFT, RIFT, HoG)이 잘 작동하지 않는다고 알려져 있다[8]. 따라서 2012년부터 영상 인식 분야에 활용되기 시작한 CNN 기반 딥러닝 기술이 최근에 X-ray 보안 검사 분야에 적용되고 있다. 영국의 Durham University에서 2016년에 발표한 연구는 수하물과 화물 컨테이너 영상을 통틀어서 보안 검색 분야에 딥러닝을 처음 적용한 논문이었으며 AlexNet과 GoogLeNet을 사용해서 98%의 정확도를 보였다[9].

화물 컨테이너 X-ray 영상에서의 SMT 검출은 수하물 X-ray 영상에서보다 더 어렵다. 컨테이너 영역에 비해 SMT의 크기가 상대적으로 매우 작고, 다양한 제조사에서 다양한 모델을 만들어 내고 있으며, 정상적인 화물과 유사하게 생겼고, 촬영 각도와 방향도 제한적이지 않아서다. 그림 4에서와



출처 ETRI 개발 기술

그림 4 화물 컨테이너 영상에 가상으로 합성한 도검을 딥러닝 기술로 자동 검출한 예

같이 화물 컨테이너 내부에 다양한 물품이 섞여 있을 경우 육안으로 도검을 판별하기가 쉽지 않다.

가. 공개 데이터셋 현황

1) GDxray

칠레의 PUC 컴퓨터학과 Grima 연구 그룹에서 만든 데이터셋이다. 총 19,407개의 영상은 {castings, welds, baggage, natural objects, settings}의 5개 그룹으로 분류되어 있고, 수하물 영상에 해당하는 {baggage} 그룹은 8,150개의 영상으로 구성되며, 세 개의 위험물품 {gun, shuriken, razor blade}이 포함되어 있다. 영상 내 객체들 간의 겹침이 적어서 상대적으로 검출이 쉬우며, 정상 영상이 상대적으로 적어서 실제 현장 상황을 반영하지 못한다는 한계가 있다.

2) SIXray

중국의 University of Chinese Academy of Sciences 와 존 홉킨스 대학교, Kingsoft에서 만든 데이터셋으로, 2019년 1월 arXiv에 공개되었고, 2019년 6월

컴퓨터비전 국제 학회 CVPR(Computer Vision and Pattern Recognition)에서 발표되었다. SIXray는 총 1,059,231개의 X-ray 이미지에 대해서 수작업으로 정제한 6개의 카테고리 {gun, knife, wrench, pliers, scissors, hammer, negative}에 해당하는 8,929건의 아 이템을 포함한다. 이는 기존에 공개된 데이터셋에 비해 100배 큰 규모이다. 전체 영상 중 금지품목이 포함된 영상은 1% 미만이다.

3) NIA

2019년 한국정보화진흥원(NIA) ‘위해물품 엑스레이 이미지 AI 데이터 구축’ 사업으로 엠폴시스템이 주관하고 인씨스가 참여하여 구축한 공개 데이터셋은 위해물품 27품목, 570샘플을 포함하며, 총 405,900장의 이미지 데이터로 구성되어 있다[10].

나. 표준 및 상용 소프트웨어 현황

1) DICOS

NEMA(National Electrical Manufacturers Association)는 의료용 영상 표준 포맷 DICOM을 만들어 배포한 기관이다. NEMA는 2010년 8월, 보안검색 CT 영상과 X-ray 영상을 위한 표준인 IIC v01 DICOS Information Object Definitions를 처음 발표했으며, 이는 DICOS v01이라 불린다. DICOS(Digital Imaging and Communications in Security)는 의료용 영상 데이터 표준 포맷인 DICOM(Digital Imaging and Communications in Medicine)을 본떠 만들어졌다.

2) OR Technology

1991년에 창립된 독일의 PACS(Picture Archiving and Communication System) 회사 OR Technology는 2008년 처음 의료용 PACS 영상 뷰어 dicomPACS DX-R을 출시했고, 병원과 동물병원용 PACS 솔루션을 개발하였다. 2017년부터 보안 검색 분야로 확

장하여, Leonardo DR mini system을 경찰청에 설치했고, dicomPACS 뷰어를 보안 검색 X-ray 표준 파일 포맷 DICOS용으로 개조하여 dicosPACS를 출시했다.

3) Stratovan

Stratovan은 의료용 CT 영상 분석 기술을 이용한 ATR(Automatic Threat Recognition) 알고리즘을 개발했다. X-ray 검색기 장비 업체 Smiths Detection의 CTX-9800 모델에 폭발물을 검출하는 ATR 기능을 탑재했다. Stratovan은 CT 장비의 영상을 DICOS 포맷으로 변환하는 라이브러리를 개발했으며, 장비에 의존하지 않는 알고리즘을 적용했다.

다. 주요 연구 그룹 현황

수하물이나 화물 컨테이너 X-ray 영상을 이용한 보안검색 기술을 개발하는 연구 그룹은 전 세계적으로 보아도 많지 않다. 각 연구 그룹의 현황과 추세를 파악하기 위해 연구 그룹별로 논문을 모아서 그림 5와 같이 타임라인 그래프로 표현하였다. 또한 이 절에서는 각 그룹의 연구 현황을 간략히 요약한다.

1) CASRA(스위스)

CASRA(Center for Adaptive Security Research and Applications)는 2008년에 설립된 스위스의 연구 센터이다. 취리히 대학과 FHNW에서 응용 연구, APSS가 소프트웨어 개발을 담당하고 있다. X-ray 보안 검색을 위한 소프트웨어 기술 분야에서 가장 활발한 그룹 중 하나이다.

취리히 대학은 2000년부터 취리히 공항에서 X-ray 보안 검색 프로젝트를 시작했다. 2002년에는 X-ray 판독관들을 교육시키는 소프트웨어 X-ray Tutor를 개발했다. 2006년 European Com-

History of X-ray Security Imaging Research

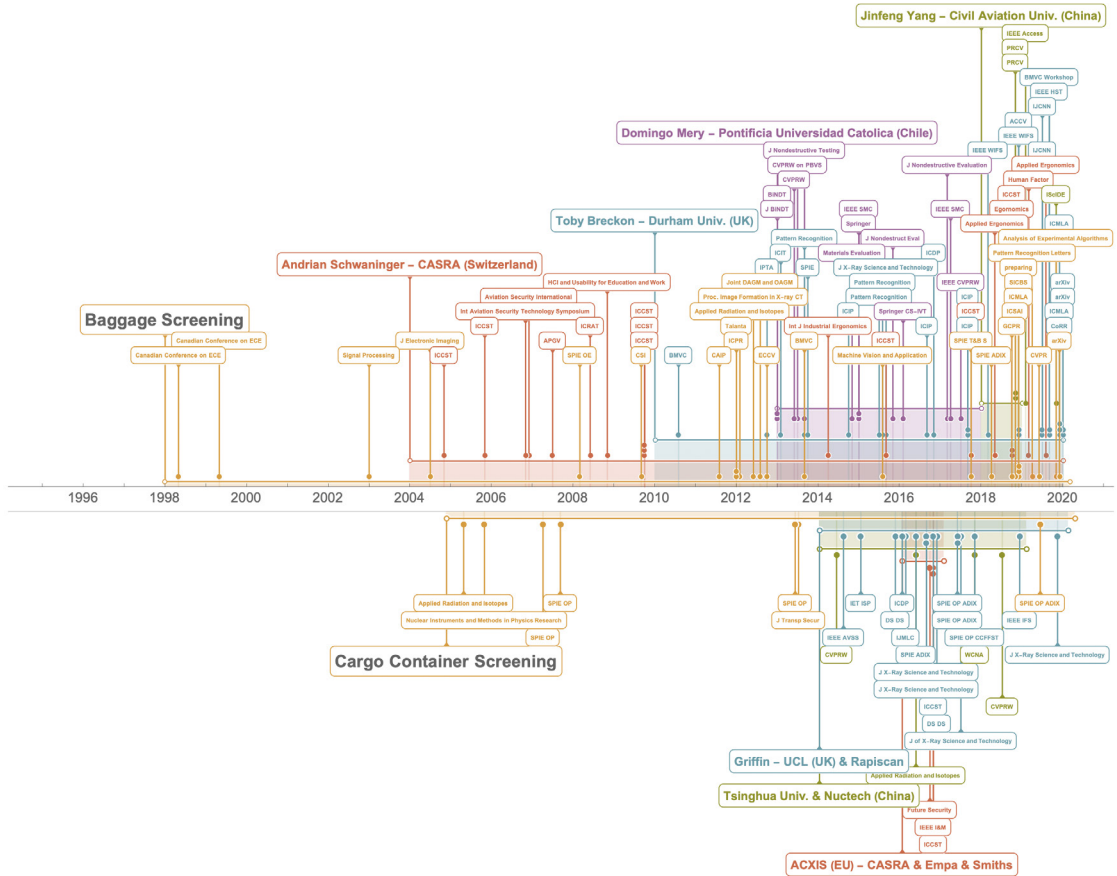


그림 5 세관 X-ray 영상 판독을 위한 컴퓨터 비전 기술 논문 그룹별 분류

mission에서 6개국의 10개 공항이 참여하는 연구 프로젝트 VIA[11]를 편당했고, 2008년에 CASRA가 창설되었다. 2011년 웹기반 소프트웨어 X-ray Tutor version 3를 개발하여 배포하였고, X-ray Tutor는 화물, 우편물, 감옥 등 다양한 영역에 적용되었다. 2014년부터는 행동심리학적인 관점을 포함한 휴먼 머신 인터페이스 연구와 양방향 (multi-view) 이미지와 삼차원 이미지에서 폭발물을 자동으로 검출하는 연구를 시작했으며, EU의 화물 X-ray 검색 연구 프로젝트 ACXIS에 참여했다.

2) Durham University(영국)

Durham University 컴퓨터학과에서는 Toby Breckon 교수를 중심으로 2010년부터 X-ray 보안 검색 연구 논문을 발표하였다. 수하물을 촬영한 CT 영상을 활용하여 위해물품 검출 기술을 연구하고 있다. Samet Akcay가 2016년에 발표한 논문[9]은 수하물 X-ray 영상과 화물 X-ray 영상 보안 검색 분야를 통틀어서 딥러닝 기술을 처음 적용한 논문이다.

3) PUC(칠레)

칠레 폰티피컬 가톨릭 대학교(PUC)의 Domingo

Mery 교수가 이끄는 XCV 랩에서 2011년부터 꾸준히 수하물 X-ray 보안 검색 분야 논문을 발표하고 있다. 2015년에 수하물 보안검색 분야 최초의 공개 데이터인 GDXray를 배포했으며, X-ray 검사를 위한 매트랩 툴박스 Xvis를 개발했다.

4) UCL(영국)

영국 UCL 컴퓨터학과의 Griffin 교수는 X-ray 장비 업체 Rapiscan에서 제공한 화물 컨테이너 X-ray 영상을 대상으로 자동 판독 기술을 연구하고 있다. 2016년에는 화물 컨테이너 X-ray 영상을 이용한 위해물품 검출에 딥러닝 기술을 처음 적용한 논문을 발표했다.

5) ACXIS(EU)

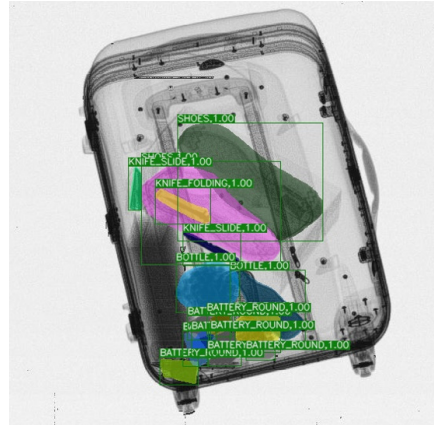
ACXIS(Automated Comparison of X-ray Images for cargo Scanning)는 European Commission에서 화물 컨테이너 X-ray 영상 자동 분석 기술 개발을 위해 가동한 프로젝트이며, 유럽 각국의 연구소와 회사가 참여했다. X-ray 장비업체 Smiths Detection이 참여하고 있으며, 수하물 검색 분야를 꾸준히 연구한 CASRA 그룹이 주도적으로 참여했다.

6) 칭화대(중국)

2017년 1월, 중국의 칭화대와 X-ray 장비 제조업체 Nuctech는 위험물 검출을 위한 공동 연구실을 런칭했으며, 2018년에 딥러닝을 적용한 화물 컨테이너 자동 검색 논문을 CVPR Workshop에 발표했다.

7) IBM(미국)

IBM은 미국 국토안보부 산하 교통안전청으로부터 충가류 데이터를 제공받아 X-ray 이미지 판독을 위한 CODA(Cognitive Object Detection Assistant)



출처 ETRI 개발 기술

그림 6 수하물 X-ray 영상에서 위해물품 판별을 위한 객체 검출 기술

프로젝트를 추진 중이다.

8) ETRI(한국)

ETRI는 2017년 5월 관세청과 MOU를 맺고, 2018년부터 국가과학기술이사회 창의형 융합연구사업으로 화물 컨테이너 X-ray 영상에서 위험물을 판독하는 ‘스핑크스’ 기술 개발을 시작했으며, 한국과학기술연구원에서는 차량형 후방산란 X-ray 촬영 장비인 ZBV 영상에서의 차량 유형 분류 기술을 개발하고 있다.

한편, ETRI 연구팀은 2019년부터 관세청의 ‘AI X-RAY 판독시스템 구축’ 사업에 참여하여 수하물 X-ray 영상에서의 위해물품 검출 기술을 개발하고 있으며(그림 6 참조), 특히 X-ray 보안 검색 분야에서 처음으로 정상 물품에 은닉한 마약 검출을 연구 중이다.

V. 결론

국경을 통과하는 화물량이 폭증함에 따라 고위

험 물품을 정확하게 선별하여 관세국경 안전을 확보하기 위해 다양한 신기술이 도입되고 있으며, X-ray 영상 판독을 위한 컴퓨터 비전 기술도 꾸준히 연구되고 있다. 일반적인 사진 이미지에서와 달리 X-ray 영상 특성을 활용한 이미지 합성 기술 연구가 활발하고, 사진 이미지에서 좋은 성능을 보인 딥러닝 기술이 X-ray 보안검색 영상에도 적용되는 추세이다.

관세청은 X-ray 판독인력의 인사 이동과 증가하는 업무량 등 변화하는 업무환경에 적극적으로 대응하기 위해 X-ray 판독업무에 컴퓨터 기술 특히 딥러닝 기술을 적용하고 있다. 이에 따라 대량의 영상데이터를 체계적으로 수집, 정제, 관리하는 일이 중요해졌다.

용어해설

GAN 적대적 생성 네트워크라 불리며, 실제와 유사한 이미지를 생성하는 딥러닝 기술

TEU 20ft 즉, 6.096m 길이의 표준 컨테이너 단위

TIP 가상의 위험물품 아이템을 정상 이미지에 합성하는 기술

ZBV 산란 X-ray 영상을 획득하기 위한 차량형 이동 검색기

약어 정리

| | |
|-------|---|
| ACXIS | Automated Comparison of X-ray Images for cargo Scanning |
| ATD | Automatic Threat Detection |
| ATR | Automatic Threat Recognition |
| CBT | Computer-Based Training |
| CNN | Convolutional Neural Network |
| CSI | Container Security Initiative |
| CT | Computed Tomography |
| CVPR | Computer Vision and Pattern Recognition |
| DCGAN | Deep Convolutional GAN |

| | |
|---------|--|
| DICOM | Digital Imaging and Communications in Medicine |
| DICOS | Digital Imaging and Communications in Security |
| EDS | Explosives Detection System |
| GAN | Generative Adversarial Network |
| MDMA | 3,4-Methylenedioxymethamphetamine |
| NEMA | National Electrical Manufacturers Association |
| PACS | Picture Archiving and Communication System |
| SMT | Small Metallic Threat |
| TEU | Twenty-foot Equivalent Unit |
| TIP | Threat Image Projection |
| WGAN-GP | Wasserstein GAN Gradient Penalty |
| ZBV | Z Backscatter Van |

참고문헌

- [1] 김주영, "인천공항, 2차 최고 화물공항 '우뚱'...아시아 최고 화물공항상 수상 '꽤', 국토일보, 2019. 6. 18.
- [2] 손인준, "부산항 컨 물동량 2195만개... 3년 연속 신기록," 경남일보, 2020. 1. 7.
- [3] 매일경제, "7천만명 오가는 인천공항...물동량 고공행진 인천항," 2019. 6. 27.
- [4] 관세청 대표 블로그, "담배 밀수의 모든 것," 2018. 2. 26.
- [5] 김양수, "관세청, 지난해 마약류 426kg 적발...전년 대비 6배 폭증," 중앙일보, 2019. 1. 24.
- [6] Global Security, "Container Security Initiative (CSI)," <https://www.globalsecurity.org/security/ops/csi.htm>
- [7] U.S. Customs and Border Protection, "CSI: Container Security Initiative," May 31, 2019. <https://www.cbp.gov/border-security/>
- [8] M. Bastan et al., "Visual Words on Baggage X-Ray Images," in Proc. Comput. Anal. Images (Seville, Spain), Aug. 2011, pp 360-638, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-23672-3_44
- [9] S. Akcay et al., "Transfer learning using convolutional neural networks for object classification within X-ray baggage security imagery," in Proc. IEEE Int. Conf. Image Process. (Phoenix, AZ, USA), Sept. 2016, doi: 10.1109/ICIP.2016.7532519.
- [10] AI Hub, "위험물품 엑스레이 이미지," <http://aihub.or.kr/aidata/033>
- [11] VIA Homepage, <http://www.viaproject.eu>