

논문 2015-52-9-18

안전성 고도화를 위한 융합-가변형 전차선 검측시스템의 구조

(Structure of Integrated Adaptive Catenary Inspection System for Improved Safety)

김 지 윤*, 김 정 평**, 김 우 생***

(Ji-Yoon Kim, Jung-Phyung Kim[Ⓢ], and Woo-Saeng Kim)

요 약

지금까지의 전차선 검측 시스템은 검측차량을 이용하여 검사구간을 주행 한 후 결과를 산출하였다. 이것은 아열대기후로의 변화에 인한 자연 환경의 급변과 450Km/h급 고속철도 차량의 등장으로 변화가 요구된다. 이에 고속 주행환경과 노반정보를 반영하는 융합·가변형 전차선 검측시스템의 구조를 연구하였다. 기존의 시스템은 전차선에 한정하여 마모의 정도를 판단하였다. 이에 비해 본 논문에서는 검지를 위하여 참조하는 정보를 검측대상의 영상정보에 추가하여 음향정보를 융합하였고, 지형정보에 따라 검지빈도와 정밀도를 가변적으로 적용함으로써 시설물 검측에 대한 기본적인 모델을 제안하였다.

Abstract

Almost all existing inspection methods for catenary system have relied on dedicated track inspection cars. Two factors make it necessary to modify the conventional method: First, the climate has become increasingly similar to that of a subtropical area. In addition, high speed trains have been developed that can run as fast as 450Km/h. This paper presents a visual catenary inspection system structure that incorporates roadbed information for high-speed running environments. Conventional catenary inspection systems determined the degree of wearing only for the trolley wire. The facility inspection system presented in this paper on the other hand utilizes visual and sound data of inspection targets and adjusts inspection frequency and sensitivity depending on the geographic data.

Keywords : Catenary System, Inspection system

I. 서 론

2014년 4월에 발생한 세월호 참사 이후 시설물 전반

의 안전성에 대한 국민적인 관심이 높아지고 있다. 철도분야에서도 안전성 고도화에 대한 다양한 연구 및 개발이 이루어지고 있으며 철도분야의 검측시스템도 예외일 수 없다. 특히 철도분야의 기반시설에 해당하는 전기 및 시설분야에 실시되고 있는 검측시스템은 안전성의 고도화를 향한 집중적인 연구개발이 필요한 실정이다. 현재 시행되고 있는 검측시스템은 고속카메라와 레이저검지장치를 장착한 검측차량을 이용해 이루어지고 있다. 이러한 방법은 하드웨어 지향적인 구조이므로 외부 환경 변화에 기민한 대응이 힘들뿐 아니라 고비용 구조를 가진다. 이에 환경변화에 능동적인 대응과 다양한 검측방법론의 적용을 통하여 검측시스템의 발전에도 모호기 위하여 시설물 촬영 영상과 마찰 음향을 검측

* 정희원, 한국철도대학

(Korea National Railroad Collage)

** 정희원, 한국교통대학교

(Korea National University of Transportation)

*** 정희원, 광운대학교

(Kwangwoon University)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: 23003622@hanmail.net)

※ 이 논문은 2013년도 한국교통대학교 교내학술연구비의 지원받아 수행한 연구임.

Received ; July 9, 2015

Revised ; August 15, 2015

Accepted ; September 3, 2015

원시정보로 하고 지리정보의 가변 적용을 통하여 검측 효율을 높일 수 있는 구조의 융합·가변형 검측시스템 구조를 설계하였다.

II. 본 론

1. 연구의 배경

가. 사회적 배경

최근 사회 전반에서 안전에 대한 요구가 높아지고 있는 실정이다. 이러한 사회적인 인식의 변화에 따라 철도분야에서도 보다 고도화된 안전인식을 반영한 연구가 요청되고 있다.

2014년 8월25일 JTBC 뉴스 보도에 따르면 쌍크홀 사고와 관련하여 지하철 9호선의 설계 및 시공에 따른 지질 안전성 검사는 해당 공사구간의 근접한 구역에 대한 지형 및 지질에 대해서만 수행 하였다. 이것을 통해 안전성 검사의 대상을 직접 공사 구간뿐 아니라 광범위한 구역에 대하여 폭넓게 하지 않은 점이 일차적인 이유임을 알 수 있다. 하지만 설계자와 시공자를 포함한 사회 주변에 광범위하게 안전에 대한 인식이 결여되어 있었던 것에도 이유가 있음을 인식하고 안전 분야에 대한 시각을 연구 단계에서부터 높여야 할 시점이다.

해마다 국가적 피해 중 상당부분이 폭우와 폭설로 발생하는 현실에서 폭설과 폭우에 의한 사회적인 대응이 중요하게 인식되고 있다. 특히, 2014년 8월 경상남도 일대에 발생한 시간당 200mm의 강수에 따른 시내버스 승객 7명의 사상 및 실종사건의 사례에 비추어 보면 최근에 국내에 발생하는 대부분의 기후적 조건이 과거에 시행된 사회기반시설의 설계와 시공에 반영된 기후조건에 벗어나는 것으로 파악되어 국가기반시설에 적용되는 설계기준을 대폭 수정해야 할 시점이라고 판단된다.

이에 과거의 통상적인 안전성 검사에 관한 기준을 보다 엄격하게 적용한 연구가 이루어져야 할 시점이다. 이를 위하여 철도분야의 전차선 검측시스템에 대하여 두 종류의 검지형태를 제시하는데, ‘실시간처리’와 ‘상시검지’의 필요성이 그것이다.

‘실시간처리’는 급변하는 기후변화로 인한 안전에 대한 의식이 높아짐에 따라 언제 발생할지 모르는 사고에 대한 철저한 대비적인 이유로 필요한 요소이고, ‘상시검지’는 폭우 같은 이상기후 때문에 토사 유출로 인하여

열차의 운행이 중단 되는 등의 철도 주변 환경의 변화 요소를 전차선 검측시스템이 흡수할 수 있어야 한다는 것이다.

나. 검측 시스템의 현황

고속철도에서 사용하는 전차선로는 이동하는 열차에 전력을 공급하는 시스템으로 전차선, 조가선 등으로 구성^[10]되어 있다. 이러한 구성에서 열차의 팬터그래프와 접촉하여 전기를 공급받는 직접 대상인 전차선은 마모와 외부환경의 영향을 받아 오손이 발생할 수 있으므로 이를 대비하기 위하여 전차선로에 대한 검측시스템이 운영 중에 있다. 현재 고속철도 전차선로 검측에 사용하는 검측차량은 일시를 정하여 검측을 시행한다. 이러한 검측은 코레일의 운행계획에 의하여 운행 허가를 득한 후 운전명령에 의하여 시행 하는데 이것 또한 경부선에서 발생하는 운행 유휴시간을 통해 시행된다. 2014년 현재 코레일의 여객 및 화물 운행 계획표(다이아)를 분석한 결과 경부선 전체에 대한 1일 평균 유휴시간은 1~2 시간으로 추산되었다. 이러한 검측 환경은 급격한 기후변화에 즉시적으로 대응 하는데 한계를 가진다. 또한 상시 검지가 이루어지지 않으므로 기후변화에 따른 검지대상의 급작스러운 오손발생에 대처가 늦을 수 있다.

또한 검측장비는 대부분 외국산이며 가격이 사양에 따라 최저 30억 원에서 최대 100억 원에 이르는 고가이므로 철도 운영에 큰 부담을 주고 있는 현실이다.

다. 기존 검측 시스템의 사례

우리나라 철도에서 사용하는 검측시스템은 최초 노선 설계 시에 참여한 기술에 따라 좌우되는 경향을 가지며 현재 다양한 기종의 검측차량을 이용한 검측이 이루어지고 있다.

먼저 이탈리아 Mermec 사의 T-SIGHT 5000 시스템에서는 고주파수의 스캐닝 성능을 가진 광학 3각측정 솔루션을 이용하여 카테나리 전차선의 장력을 측정 하고 있다. 이어서 시티대학교(City University) Ken Grattan 교수 연구팀에서는 전차선에서 발생하는 모든 종류의 이상 현상을 알아낼 수 있는 섬유광학 센서 설계를 개발했다. 또한 일본의 Tatsuya Koyama은 가속도계 등의 센서 대신에 카메라를 이용하여 주체 및 프레임의 측면에 흑백의 띠로 된 인식표시를 복수의 장소에 붙이고, 팬터그래프 근접에 복수의 라인 CCD카메라

를 설치하여 인식표시를 촬영한 1차원 화상으로부터 화상처리기술을 이용하여 인식표시의 이동량, 즉 주체와 프레임의 변위를 구하여 접촉력을 측정하는 “화상정보에 의한 접촉력 측정방법”을 개발하였다.

이상의 사례를 보면 전차선 검측시스템은 고주파수 정보의 이용, 광학 센싱 정보의 이용, 영상 정보의 이용 등의 구조를 가진다. 이것은 검측대상을 검측 하는 방법론의 일원화에 따른 검측 품질의 고급화라는 장점과 동시에 검측 기법의 고급화에 따른 비용의 과대가 따른다. 이에 본 연구에서는 통상의 품질을 가진 검측 장비로부터 발생되어지는 영상, 음향 자료를 처리할 수 있도록 하는 구조를 제안하였다.

Ⅲ. 시스템의 설계와 구조

1. 시스템의 설계

융합·가변형 검측시스템은 크게 5가지의 과정을 거쳐 그 결과를 반환하며 주요 알고리즘은 그림(1)과 같다.

입력정보로는 영상정보, 음향정보, 지형정보를 가지고 다음의 순서로 처리하여 전차선의 이상에 대한 검측을 한다. 1 단계에서는 입력 전차선 영상에 대한 이미지 처리한다. 이어서 2 단계에서는 1단계의 결과에 지형정보를 반영하여 가중치를 부여하며, 3 단계에서는 음향정보를 반영한 가중치를 부여한다.

전 과정을 거쳐 출력된 결과를 가지고 지형별/음향별 이상가중치를 가진 영상처리 결과를 도출한다.

이와 같은 결과는 기존의 영상만을 이용하여 전차선을 검측하였던 방식에 대비하여 다양한 검측기법이 반영된 검측 결과를 도출하는 장점을 가진다.

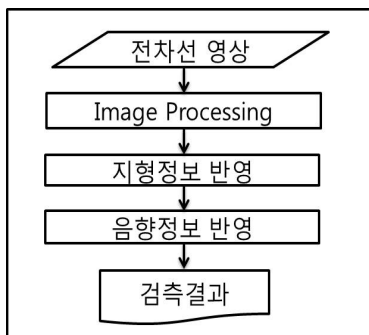


그림 1. 융합 가변형 전차선 검측시스템 알고리즘
Fig. 1. Integrated Adaptive Catenary Inspection System Algorithm.

2. 융합·가변형 검측시스템의 구조

융합·가변형 검측시스템은 실시간 검지와 상시검지의 효율을 극대화하기 위하여 기본적으로 융합구조와 가변구조를 가지고 있다. 융합구조는 기존의 검측 시스템의 구조를 개선하기 위한 방법이고 가변 구조는 검측 효율을 최적화하기 위한 방안이다.

가. 시스템의 융합구조

기존의 검측차량을 이용한 검지방법은 화상검지나 레이저검지를 활용한 기술이었다. 이러한 기술은 견고한 하드웨어 지향적인 시스템이기 때문에 우리나라의 변화되는 기후현실에 대한 대응이 상대적으로 낮다. 이의 극복을 위하여 본 시스템에서는 기존의 전차선 검측 시스템의 입력정보가 전차선에 대한 화상정보이었던 것에 추가 하여 전차선에서 발생하는 음향정보를 융합하여 처리하는 특징을 가진다.

기존의 영상처리를 이용한 전차선 검측시스템에서는 검측 대상구간의 동영상을 입력으로 하여 단위시간 당 프레임의 수를 초당 30프레임으로 정하여 각 프레임에 대한 영상 안에서 전차선의 마모 정도를 측정하였는데 융합구조 시스템에서는 기존의 영상정보에 음향 데이터를 추가 적용하여 음향 정보의 변이에 따른 가중치를 부여하도록 한다. 음향정보는 전차선과 카테너리가 접촉하면서 발생하는 음향 데이터를 잡음제거를 거쳐 정상음향과 비정상음향으로 분류하고 이를 영상정보와 융합하여 융합인식부에서 처리함으로써 기존의 화상검측 시스템의 검지 효율에 대한 향상을 목적으로 한다.

나. 시스템의 가변구조

검측 대상물이 전체 철도 구간 중에서 갖는 절대적인 위치의 지형정보와 그 변이를 감안하여 노반의 변화정

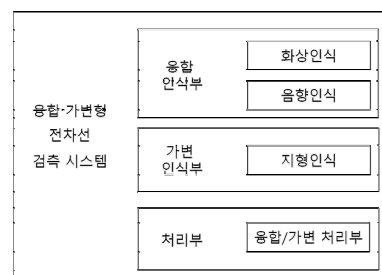


그림 2. 융합 가변형 전차선 검측시스템 개념도
Fig. 2. Integrated Adaptive Catenary Inspection System diagram.

도에 따라 가변적인 검지 정밀도와 검지빈도를 가진다. 변이의 예로는 철로의 곡선, 기울기, 이음매, 분기, 건널목, 교량의 진입부 / 진출부, 터널 진입부 / 진출부 등이 그것이다. 이러한 노반의 변화를 가변인식부에서 처리한다.

이상의 융합구조와 가변구조를 반영한 융합·가변형 전차선 검측시스템의 전반적인 개념도는 그림 (2)와 같다.

다. 융합 인식부

현재까지의 검측시스템은 고속카메라를 통한 이미지를 입력으로 하여 통상 초당 100cut의 이미지 처리를 목표로 설정한 후 검지대상으로 전차선의 마모정도나 레일의 마모 정도를 검지하는 기술로 채택하였다. 그러나 해당 방식은 고가의 검측차량을 사용하는 것을 전제로 설계되어 앞에서 언급한 열차의 속도증가로 인한 노선 용량감소와 안전의식 증가로 인한 상시검지의 필요성에 적극적으로 대응하지 못하는 단점이 있으므로 본 고에서는 상시검지를 위한 최적의 영상 및 음향 검지시스템의 구조를 제안하였다.

통상의 CCD 카메라를 고속의 이동체에 장착하여 그 이미지를 얻기 위한 설계는 카메라 배치방법과 영상 획득기술로 나눌 수 있다. 카메라 배치방법은 검지대상 영상의 신뢰성 확보를 위하여 검지대상과 직렬배치를 하되 영상의 손실방지를 위하여 일정한 규칙에 따라 배치 하여야하며 일정한 사양을 갖추어야 한다.

고속철도의 이동속도를 감안한 초당 최소 획득프레임을 구하는데 필요한 카메라의 사양은 동영상의 경우 초당 30프레임 이상의 영상획득이 가능하며 고정 장치에 부착한 상태로 10시간 이상의 연속촬영이 가능한 사양으로 구성한다.

음향을 인식하기 위하여 통상의 CCD카메라에 일체형으로 내장된 MIC장비로부터 음향을 수집한다. 수집된 음향정보는 노이즈 필터링 처리과정을 통하여 잡음을 제거한 후 생성된 음향, 음압 등을 분석하여 ‘정상’, ‘이상’을 판단한다.

이상에서의 영상인식과 음향인식의 구조를 가진 모듈을 융합 인식부라고 정의한다.

라. 가변 인식부

기존의 영상처리를 통한 전차선 검측시스템은 획득

한 영상을 대상으로 각 프레임 안에서 전차선의 마모 정도를 판단하는 것을 주된 처리 모델로 하였다. 융합·가변형 검측시스템에서는 기존의 마모도 판단대상 영상에 대하여 단순히 마모 정도를 판단하는 시스템이 아니라 여기에 노반의 기울기와 노반 상황정보를 가중치로 부여하여 실시간 탐지효율을 극대화 하는 융합 인식부를 정의한다.

이러한 융합 인식부는 서울 부산 간 고속철도 구간 노선도를 참고 하였으며 참고한 노선도 상에서 곡선구간 교량구간 등의 변이 요소를 수치화 하여 단위지점마다 해발, 꺾임, 교량 입/출구, 터널 입/출구의 4 종류의 세부요소를 지정하여 지점에 대한 마모도를 판단하는 영상 처리 시에 가중치로 부여할 수 있도록 구성한다.

마. 화상/지형처리부

입력데이터로 구성된 전차선에 대한 디지털 영상으로 촬영된 전차선 영상^[9]은 정확도의 증가와 처리속도 향상을 위하여 그레이 레벨로의 변환 및 콘트라스트 보정^[2]과 노이즈 제거^[3] 및 영상히스토그램의 균등화^[5]를 통해 영상의 전처리를 수행한 후 초기영상을 구성한다.

이후 초기영상 중에서 순수한 전차선로의 영역을 설정 다음 캐니 엣지 디텍터^[7]을 이용하여 전차선로 영역에 존재하는 전차선의 엣지를 검출하고 허프 변환을 통해 식 (1)과 같이 직선^[8]을 구한 뒤 이 결과물의 직선을 전차선로로 인식한다.

$$x \cos\theta + y \sin\theta = r \quad (1)$$

그 뒤 인식된 전차선로 영상에 또 다른 직선이 검출될 수 있으므로 해당 직선의 길이와 넓이를 이용하여 식(2)와 같이 특징 값을 추출하고 프레임별로 나오는 직선 중 해당 직선 값을 갖는 직선에 대해서만 전차선로로 인식한다. 그리고 해당 선의 점검구역을 설정하고 구간의 점검 점 중 일정 두께 이하로 떨어지는 레벨의 전차선로에 대해 이상선로로 분류한다. 또한, 곡선 및 언덕 등 특이치 형태로 판단되는 해발, 꺾임, 교량 입/출구, 터널 입/출구의 구간에 가중치를 가산하여 더 많은 프레임을 검사하는 방법으로 이전의 연구^[1]보다 더 유연한 결과 값을 산출한다.

$$r = \sum_{y=0}^{n-1} \sum_{x=0}^{m-1} a_k \quad (2)$$

다음 단계로 Dilation(팽창)과 Erosion(침식)^[4]알고리

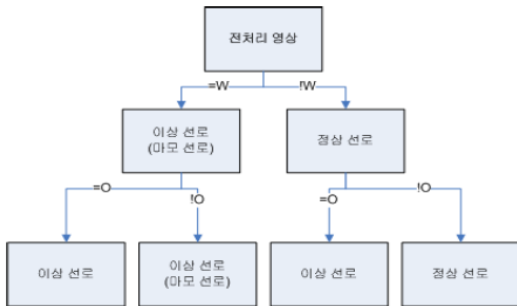


그림 2. 이상영상 의사결정 트리
Fig. 2. Binary image decision-making tree.

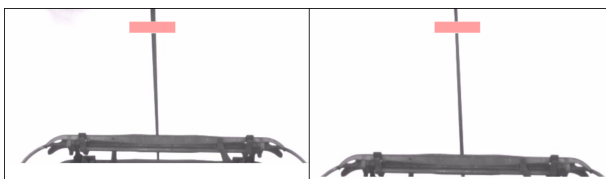


그림 3. 입력 영상 (좌측 : 정상 우측 : 마모)
Fig. 3. Input Image (left : Normal right : abnormal).



그림 4. 처리결과 영상 (좌측 : 정상 우측 : 마모)
Fig. 4. process result Image.
(left :Normal right :abnormal)

즘을 사용하여 최종구분 영상을 생성한다. 이후에 최종 구분 영상에 대한 마모도를 판단하기 위하여 그림(2)와 같은 의사결정트리^[6]을 이용하여 이상영상을 획득하는 순서로 이루어진다.

이상의 영상처리 과정에서 사용된 입력영상 및 처리 결과는 그림(3),그림(4)과 같다.

입력영상 그림(3)은 전차선이 카테너리와 접촉하는 영상으로써 좌측의 적색 마킹부분이 정상면적을 가진데 비하여 우측의 적색마킹부분은 상대적으로 면적이 협소함을 나타내고 있다. 출력영상 그림(4)는 화상처리의 전 과정을 통하여 처리 완료된 결과로 적색 마킹부분을 통해 정상전차선과 마모전차선의 차이를 나타내고 있다.

영상의 처리 과정 중에 각각의 단계는 전처리과정, 최종영상 획득과정, 의사결정과정으로 나누는데 이 과정이 입력된 순차적인 프레임영상을 대상으로 이루어진다. 이때 순차적인 영상 프레임에 지형인식부에서 지정한 세부요소를 지정하여 각 요소별로 각각 다른 정밀도

를 부여하여 화상처리와 지형처리를 복합 하게하여 노반의 형태에 따라 다른 정밀도를 수행하게 함으로써 기존의 침식팽창기법을 이용한 전차선 검측 시스템^[1] 및 기타 전차선 영상을 이용한 검측시스템이 가지는 하드웨어 지향적인 획일적인 검측 효율을 개선하고자 한다.

IV. 결 론

융합·가변형 검측시스템은 국가적인 안전의식 고도화에 초점을 맞추었다. 또한 기존 검측 시스템이 고가의 하드웨어 지향적인 점을 개선하는 방향으로 시스템 구조를 설계하였다. 그리고 자연환경이 급변하고 국가적인 안전 인식이 고도화 되는 추세에서 기존의 검측 시스템을 유연한 설계로 바꿀 수 있는 방향에 대하여 화상인식 및 지형정보 반영의 융합성을 가지며 이의 처리에 가변성을 가지는 구조의 검측 시스템의 구조를 제시하였다. 본 논문에서 제시한 융합·가변형 전차선 검측 시스템의 구조를 기본으로 하는 구체적인 구현 및 현장 적용 실험과 그에 따른 보정 등에 향후 연구가 이루어질 것으로 기대한다.

REFERENCES

- [1] JiYoon Kim (2006) Dilation and Erosion Technique using a Inspection of the Catenary System Design, 9(6), pp. 701-704
- [2] Harley R. Myler (1993). "Contrast Correction", The Pocket Handbook of Image Processing Algorithms in C, pp.57-58, Prentice Hall.
- [3] Fitch. J (1984). "Median filtering by threshold decomposition", IEEE Transaction on Acoustics, Speech, and Signal processing, Vol.32, No.1, pp.145-153.
- [4] Su Chen (1995). "Recursive erosion, dilation, opening, and closing transforms", IEEE Transaction on Image processing, Vol.4, No.3, pp.335-245.
- [5] A.K. Forrest (2006). "Colour histogram equalisation of multichannel images", IEE Proc. -Vis. Image Signal Processing, Vol.152, No.6, pp.677-686.
- [6] Mohamed Moussa (2004). "Decision tree module within decision support simulation system", Simulation Conference, 2004. Proceedings of the 2004 Winter.

[7] John Canny, "A Computational Approach to Edge Detection" , IEEE Transaction on pattern analysis and machine intelligence, Vol. pame-8, No.6, November 1986.

[8] Rong-chin Lo, Wen-Hsiang Tsai, "Gray-scale hough transform for thick line detection in gray-scale images" Pattern Recognition, Vol. 28, No. 5, pp, 647-661, 1995.

[9] Ahn Young-Hoon, Hyun Chung-il (2006) "The measurement and evaluation of catenary system by using electric rolling stock on Honam", Spring Conference of The Korean Society for Raileay, 2006 , pp.767-771.

[10] Yim Geum-Kwang, Yoon Yong-Han (2004) "A Suggestion for Improvement of Tension Balancer in Trolley Wire System", Autumn Conference of The Korean Society for Raileay 2004, pp.1328-1333.

— 저 자 소 개 —



김 지 윤(정회원)
 1995년 평생교육진흥원 컴퓨터과
 학과 학사 졸업.
 1998년 광운대학교 전산학과
 석사 졸업.
 2005년 광운대학교 컴퓨터과학과
 박사 수료.

<주관심분야 : 데이터베이스, 멀티미디어 등>



김 정 평(정회원)
 1979년 경희대학교 학사 졸업.
 1987년 경희대학교 경영대학원
 석사 졸업.
 1992년 경기대학교 대학원
 졸업(경영학 박사).
 1993년~현재 한국교통대학교
 철도경영물류학과 교수

<주관심분야 : 경영학일반, 철도경영정책>



김 우 생(정회원)
 1985년 서울대 수료 및 텍사스
 주립대학 전산학과 졸업
 (학사)
 1987년 미네소타 주립대학
 전산학과 졸업 (석사)
 1991년 미네소타 주립대학
 전산학과 졸업 (박사)

2001년 UC 버클리 대학 교환 교수
 1992년~현재 광운대학교 컴퓨터 소프트웨어
 학과 교수

<주관심분야 : 데이터베이스, 멀티미디어 등>