

능동형 열차위치검지장치 구성방안 연구

신경호, 정의진, 이준호
한국철도기술연구원

The study on configuration method for active train position

Kyung Ho Shin, Eui Jin Jung, Jun Ho Lee
Korea Railroad Research Institute

Abstract - 열차의 위치를 검지하는 방식으로 널리 사용되고 있는 방식은 궤도회로를 이용하는 방식으로 간단한 구성과 신뢰성이 높은 장점이 있다. 하지만 설치 및 유지보수에 많은 비용의 발생 및 고정폐쇄방식으로 인한 연속적인 열차의 위치검지가 불가능하다. 궤도회로를 이용한 열차의 위치검지는 지상장치를 통하여 지상 센터에서만 열차위치의 파악이 가능하므로 이러한 방식의 위치검지는 수동형의 열차위치검지라 할 수 있다. 이에 반해 능동형 열차위치검지는 차상에서 열차의 위치를 검지하여 전방 및 후방열차, 지상센터 간 통신을 통한 해당 열차의 위치정보를 교환하는 방식이며 연속적인 열차위치의 검지가 가능하다. 하지만 궤도회로와 같은 수준의 신뢰성을 가지는 장치구성이 필요하다. 본 논문에서는 신뢰성 향상을 위하여 여러가지 센서들을 통합한 능동형 열차위치검지장치의 구성방안과 운영시나리오를 제안하고, 장단점을 분석한다.

1. 서 론

열차제어시스템은 열차의 진로제어 및 열차간의 간격제어를 수행하는 시스템이다. 이를 위해서는 열차의 정확한 위치검지가 반드시 필요하다. 현재 가장 널리 사용되고 있는 열차위치검지방법은 궤도회로를 이용한 방식으로 간단한 구성과 신뢰성이 높은 장점이 있다 [1]. 하지만 설치 및 유지보수에 많은 비용이 발생하고, 고정폐쇄방식으로 인한 연속적인 위치검지가 불가능하다. 또한 지상장치를 통한 지상센터에서만 열차의 위치검지가 가능하며, 이러한 이유로 수동형 열차검지방법이라고 할 수 있다.

근래 통신기술의 발달로 인하여 위치검지방식이 궤도회로를 이용한 지상중심의 수동형 위치검지방법으로부터 차상중심의 능동형 위치검지방법들이 개발되고 있다. 능동형 열차검지방법은 해당 차량이 자신의 위치를 연속적으로 검지하여 지상센터간의 통신을 통하여 위치정보를 교환하는 방법이다. 대표적인 차상중심의 능동형 위치검지방법으로 유럽의 ETCS(European Train Control System)가 있으며, 현재는 Level 2 단계가 개발 중에 있다[2].

따라서 고속, 고밀도의 열차제어를 위해서는 연속적인 열차의 위치검지가 필요하며, 이를 위해서 능동형 열차검지방법의 적용이 필요하다.

본 논문에서는 수동형 열차검지방법인 궤도회로를 대체하여 능동형 열차위치검지장치에 적용 가능한 센서들을 나열하고 장단점을 비교한다. 특히 위치검지 정확도의 신뢰성을 높이기 위하여 여러 개의 능동형 센서를 복합적으로 사용하는 방법을 검토하며 GPS(Global Positioning System), INS(Inertial Navigation System), Tachometer, Transponder를 센서로 사용한 능동형 열차위치검지장치의 구성방안 및 이에 대한 운영시나리오를 제안하고, 장단점을 분석한다.

2. 열차검지용 센서

2.1 수동형 열차검지용 센서

궤도회로는 1872년 미국의 윌리엄 로빈슨(William Robinson)에 의해 발명되어 보급된 가장 오래되고 광범위하게 사용되는 열차위치검지방식이다. 궤도회로는 레일을 전기회로의 일부로 사용하여 회로를 구성하고 차량의 차축에 의해 레일을 단락함에 따라 열차의 존재유무를 검지하여 신호기, 선로전환기, 연동장치 등의 신호기기를 직접 또는 간접적으로 제어할 목적으로 고안된 전기회로이다[1]. 간단한 구성과 신뢰성이 높은 장점이 있지만 연속적인 위치검지가 불가능하다.

2.2 능동형 열차검지용 센서

- GPS

GPS는 미국 DoD(Department of Defense)소유의 전지구적 위성 측위 시스템이다[3]. GPS는 위성과 사용자간의 통신지연시간을 측정하여 위치를 검지하는 방식이다. GPS를 이용하여 위치검지를 하기 위해서는 4개 이상의 GPS위성 신호를 수신해야만 하며, SPS(Standard Positioning Service) GPS receiver의 위치 정확도는 약 15m(CEP)를 가진다. 위치검지를 하기 위해서는 위성신호의 수신이

반드시 이루어져야 하기 때문에 위성의 가시성이 나쁜 환경에서는 위치 검지가 불가능하다. 하지만 위성의 가시성이 보장되는 환경에서는 운행시간, 운행거리에 따른 오차 누적이 없는 절대적인 위치검지가 가능하다. GPS의 위치 정확도를 높이기 위해서는 DGPS(Differential GPS)를 사용할 수 있다. DGPS는 기준이 되는 실제 위치를 알고 있는 기준국으로부터 GPS 위성신호에 포함된 오차의 보정정보를 전송 받아 GPS의 위치정확도를 증가시키는 방법이다. DGPS 사용 시 위치정확도는 약 1m 이하를 가진다. 또한 GPS는 정확한 시각 정보의 제공도 가능하기 때문에 차량과 지상 시각시스템간의 시각동기용으로도 사용이 가능하다.

- INS

INS는 관성센서인 가속도계와 자이로스코프를 사용하여 위치를 검지하는 관성항법장치이다. 가속도계는 병진운동에 대한 가속도를 측정하고 자이로스코프는 회전 각속도를 측정하여 적분을 통해 위치를 계산한다. 관성센서는 비접촉 센서로서 주위의 환경에 강인한 특징이 있으며, 위치와 속도, 자세를 연속적으로 측정할 수 있는 장점이 있다. 하지만 계산양이 많고, 운행시간에 따라 오차가 누적되는 단점이 있다. 근래에는 마이크로프로세서의 발달로 인하여 관성센서가 body-fixed된 strap-down INS가 많이 사용되고 있다[4].

- Tachometer

Tachometer는 magnetic 또는 optical 센서를 사용하여 휠의 회전수를 카운트하여 위치를 검지하는 방식이다. 차량이 움직인 거리와 속도를 연속적으로 측정할 수 있는 장점이 있다. 반면에 휠의 slide/slip에 의하여 오차가 발생하며, 이동거리가 증가함에 따라 오차가 누적되는 단점이 있다.

- Transponder

Transponder는 RFID(radio frequency identification)기술을 이용한 것으로 reader와 transponder(TAG)로 구성된다[5]. 지상에 transponder를 설치하고 차량에 reader를 설치한 경우 리더기 안테나의 인식영역에 트랜스폰더가 위치하게 되면 트랜스폰더는 자신의 위치 데이터를 전송하게 되고, 리더기는 위치 데이터를 판독하여 차량의 위치를 검지한다. 연속적인 차량의 위치 검지는 불가능 하지만 다른 센서와 혼용 시 절대위치 보정용으로 사용 가능하다.

- Doppler Sensor

Doppler sensor는 파장이 반사되어 돌아올 때에 속도에 관계되어 주파수가 변화되어 돌아오는 Doppler 효과를 이용하여 속도를 측정하는 센서이다. 일반적인 철도차량 분야에서는 tachometer의 slip/slide와 같은 오차를 보정하기 위하여 사용하고 있다.

3. 센서 통합용 필터

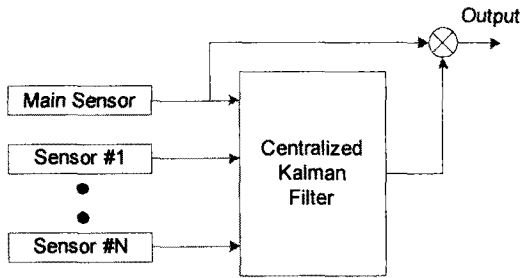
여러 센서들의 확률적으로 발생하는 오차를 최소화하기 위하여 칼만 필터를 사용하여 센서통합필터를 구성한다.

3.1 칼만 필터(Kalman filter)

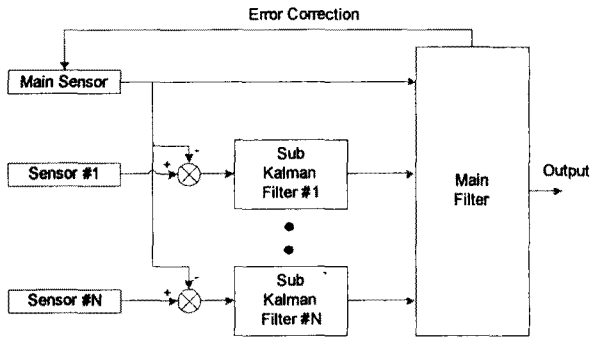
칼만 필터는 잡음이 포함된 측정치로부터 시스템의 상태변수를 추정하는 방법으로서, 영평균의 가우시안 잡음에 대한 최적의 추정자이다. 다만 칼만 필터를 사용할 때는 시스템의 동적 모델과 오차원의 특성을 정확히 알아야 하는 것이 매우 중요하다[6].

3.2 센서 통합 필터

칼만 필터를 이용하여 센서를 통합하는 방법은 크게 두 가지 방법이 있다. 첫째 일반적으로 사용되는 방법으로 모든 입력을 칼만 필터에 집중하는 방법인 집중형(centralized) 칼만 필터가 있다. 이 방법은 그림 1과 같이 모든 센서의 출력을 하나의 칼만 필터의 입력으로 연결한다. 집중형 칼만 필터는 많은 계산이 필요하므로 높은 성능의 마이크로프로세서를 필요로 하며, 센서의 수가 적은 경우에 유용하다.



〈그림 1〉 집중형 칼만필터의 구조

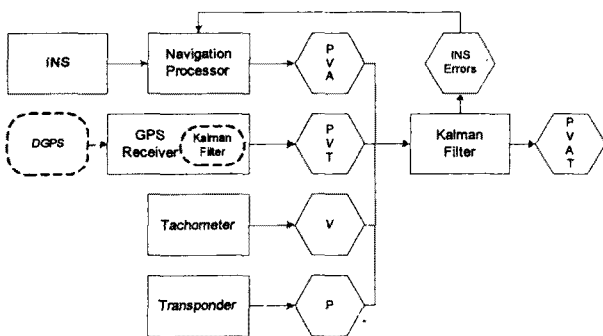


〈그림 2〉 분산형 칼만필터의 구조

둘째로 집중형 칼만 필터의 단점을 보완하는 필터 구현방법인 분산형(decentralized) 칼만 필터가 있다. 이것은 칼만 필터를 상위 레벨의 주 필터와 하위 레벨인 부 필터로 구성하는 방식이다. 즉 각 센서에 관련된 부 필터에서는 지역 상태변수를 추정하며 주 필터에서는 부 필터로부터 전달받은 지역 상태변수의 추정치를 혼합하여 전역적으로 준 최적의 상태변수를 추정한다. 분산형 칼만 필터의 구조는 그림 2와 같다. 이 방법은 부 필터의 사용으로 인하여 계산량이 감소하는 결과를 가진다. 센서의 수가 많은 경우에 유용하다[7].

4. 다중센서 통합기법

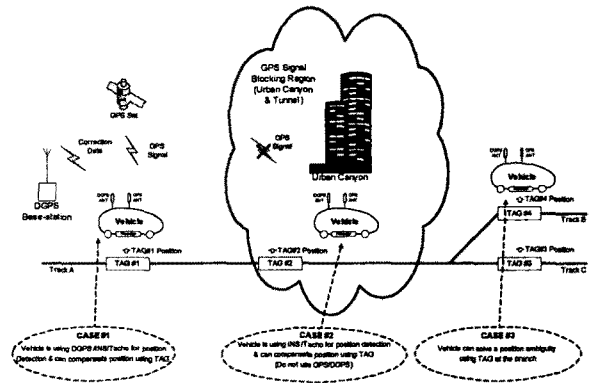
본 논문에서는 하나의 센서를 사용하는 경우의 문제점을 보완하기 위하여 여러 능동형 열차위치검지용 센서들을 통합하여 열차위치검지장치를 구성한다. 본 구성에서 사용하는 센서로는 GPS, INS, tachometer, transponder가 있으며, 통합필터로는 분산형 칼만 필터를 사용하여 그림 3과 같이 여러 센서들을 통합 구성한다. 본 구성에서 주 센서로서는 strap-down INS를 사용하며 position(P), velocity(V), attitude(A) 정보를 출력한다. 그 외 나머지 센서로서 transponder와 GPS는 위치 보정용 센서, tachometer와 GPS는 속도 보정용 센서로 사용한다. 또한 GPS의 시각정보(T)를 이용하여 position, velocity, attitude에 대한 time tagging을 한다. 주 칼만 필터에서는 보조센서인 GPS, transponder, tachometer로부터 INS의 오차를 계산하여 INS에 피드백하고, 최적의 항법해를 계산한다.



〈그림 3〉 센서통합방법

5. 운영시나리오

운영시나리오는 GPS 위성의 가시성과 선로 분기와 같은 열차의 물리적인 운행환경에 따라서 Case #1, Case #2, Case #3 로 나누어 구성하였으며 그림 4에서 각 경우에 따른 운영방안을 나타내었다.



〈그림 4〉 운영시나리오

GPS 위성의 가시성이 보장된 환경은 Case #1 으로서 최적의 운영환경이 된다. Case #1의 환경에서는 GPS의 사용으로 self-contained된 위치오차 특성을 가지므로 transponder를 사용한 위치 보정의 필요성이 감소한다. 따라서 위치 보정용 transponder의 설치 간격을 최대한으로 함으로서 설치비용을 줄일 수 있다.

Case #2는 GPS 위성신호의 가시성이 나쁜 상황으로 최악의 운영환경이다. Case #2의 운영환경은 터널이나 역 구내, 도심과 같은 지역이며 이러한 경우에는 INS, tachometer를 사용하여 연속적인 열차의 위치를 결정하고, 위치 보정용 transponder를 이용하여 열차의 위치를 보정한다.

Case #3은 열차의 분기구간에 열차가 존재하는 경우이다. 열차의 분기구간은 자동차 도로와는 달리 점차적으로 벌어지기 때문에 INS만을 이용하여 정확하게 분기구간의 진입을 구분하기가 어렵다. 따라서 분기구간의 진입부에 transponder를 사용하여 분기구간에서의 열차위치검지의 모호성을 제거한다.

6. 결 론

본 논문에서는 먼저 능동형 열차위치검지기를 위하여 사용 가능한 센서들의 특징을 비교하였다. 고속, 고밀도의 열차제어를 위해 필수적인 연속적인 열차위치검지의 정확성을 높이기 위하여 GPS, INS, tachometer, transponder를 사용한 능동형 열차위치검지방편과 이에 따른 운영시나리오를 제안하였다.

본 구성방식은 INS를 주 센서로 하고, GPS, Tachometer, Transponder를 보조센서로 사용하는 방식이며, 확률적으로 발생하는 위치오차를 최소화하기 위하여 칼만 필터를 적용하였다. 제안한 구성은 열차의 위치검지용 장치의 지상설비를 최소화할 수 있으므로 설치비용의 절감과 상호운영성의 효과가 예상된다. 본 구성에서 접촉식 센서인 tachometer를 제거하면 MAGLEV (Magnetic Levitation Vehicle)와 같은 열차의 위치검지장치로도 사용이 가능하다. 또한 본 구성을 적용하기 위하여 열차운행 조건에 따라서 3가지의 운영 시나리오로 분류하고 각 시나리오의 특징을 정의하였다. 향후 연구과제로서 시뮬레이션과 시험을 통한 본 구성의 신뢰성 및 타당성의 증명이 필요하다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] 김영태, "신호제어시스템", 3rd ed, Tech-media, 2004
- [2] R. J. Hill, "Electric Railway Traction.V. Train Detection, Communications and Supervision", Power Engineering Journal, vol.10, no.2, pp.87-95, 1996.4.
- [3] E. D. Kaplan, "Understanding GPS Principles and Applications", Artech House, 1996
- [4] J. A. Farrell, M. Barth, "The Global Positioning System & Inertial Navigation", McGraw-Hill, 1998
- [5] K. Finkenzeller, "RFID Handbook", 2nd ed, Carl Hanser Verlag, 2002
- [6] R. G. Brown, Patrik Y. C. Hwang, "Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering", 3rd ed. John Wiley & Sons, 1997
- [7] A. Mirabadi, N.Mort, F. Schmid, "Design of Fault Tolerant Train Navigation Systems", Proc. Of American Control Conference, Vol.1, 1999