

철도차량용 다중화된 ATC 장치

On the Multiple Constructed ATC(Automatic Train Control) Systems for the Railway Vehicles

이 을 재[†] · 박 선 순[†] · 김 영 석[†]

(Eul-Jae Lee · Sun-Soon Park · Young-Seok Kim)

[†] 다원산전(주)

^{*} 인하대학교 전기공학과

ABSTRACT

The carborne Automatic Train Control(ATC) system keeps automatically optimum train speed against over speed by detecting the speed code signals from wayside(track) circuit equipment. If there is no response for braking against the over speed detected, the driver will be noticed instantly by visual and audible warning signals. And then the ATC processes into braking mode for safe train operations to prevent any hazards by over speed limit. In this paper we are introduced the novel ATC system which has triple constructed structure made by 32 bit floating point DSP(ADSP21020-20) and process dealt with frequency domain and time domain for detecting signals. Owing to these reason it is no needed several band pass filters used in conventional ATC systems to detect the speed limit frequency. Also system's reliability and tolerance are incremented by adopt to 2 out of 3 logic to the outputs decision.

1. 서론

안전하고 효율적인 철도 System의 구현을 위하여 철도의 고속화와 고밀도화가 요청되고 있다[1]. 특히 대도시에 운행되고 있는 도시철도는 중요한 교통운행 수단으로 기능향상과 더불어 증가되는 승객의 수를 따르기 위한 고속화와 고밀도화가 절실히 필요하다. 일반적으로 고속화와 고밀도화는 서로 상반되는 경우가 많아 고속화를 추구하면 고밀도화가 저하되고 반대로 고밀도화를 기하면 고속화 기능이 저하되어 전체적인 수송능력의 저하가 야기된다. 또한 고속화와 고밀도화가 이루어진 경우라도 실제

운행에서 한 열차의 운행난조는 전 열차의 운행난조로 그 효과가 파급되게 되어 열차의 지연을 초래하는 주요한 원인이 된다. 따라서 고속/고밀도화에 대한 요청을 충족시키기 위해서는 전체적인 System의 신뢰도 향상이 우선되어야 하며 특히 ATC(Automatic Train Control) System이나 ATO(Automatic Train Operation) System의 성능향상이 실질적으로 이루어져야만 한다.

ATC System은 60년대 말부터 상용화가 이루어져 이보다 먼저 상용화가 된 ATS(Automatic Train Stop) System과 함께 열차의 보안 제어 장치로서 기능의 향상 및 기술의 발전이 계속되어오고 있다. ATC 장치의 기술적인 변천은 최초 Analog 방식에 의한 System을 시작으로 하여 70년대 중반부터 Discrete 소자를 사용한 조합회로로 이루어진 Digital System으로 발전된 이후 80년대에 들어서는 Microprocessor를 채용한 컴퓨터 방식으로 발전되어 왔다. 이에 따라 System의 기능은 확장되고 전체적인 체적도 줄어들게 되어 현대의 철도 차량에서 중요시하는 소형/경량화를 이룰 수 있게 되었다. 그렇지만 System의 주요부분은 Analog 방식을 그대로 답습하고 있으며 부품의 노화로 인한 신뢰도 저하 문제는 물론 System의 확장성과 적응성에 방해가 되고 있다.

본 논문에서는 적응성과 확장성에 기초하여 32Bit DSP를 채용한 새로운 방식의 ATC System의 구현에 대하여 설명하였다. 구현되어진 ATC System에서는 기존 방식과는 달리 Digital 신호처리 기법을 도입하여 수신 신호가 주파수영역과 시간영역에서 함께 처리되도록 하였으며 이에 따라 Hardware의 변경없이 Software 상에서 수신 신호의 확장, 변경이 자유롭게 이루어지게 되었다. 이와 함께 주요처리부를 3중화하여주고 출력에 대하여는 2 Out of 3 Logic을 적용함으로써 System의 Tolerance와 Safety가 향상되도록 하였다.

2. ATC 일반

ATC(Automatic Train Control) System이나 ATS(Automatic Train Stop) System 등의 보안 장치는 지상 장치와 차상장치로 구성된다. 지상장치에서는 선행열차의 유무를 검사하여 선행열차와 후속열차의 상대거리로부터 후속열차의 주행 허용속도 신호(ATC 장치의 경우) 혹은 제동 개시점 신호(ATS 장치의 경우)를 차상장치에 전달한다. 차상장치에서는 수신신호에 대응한 허용속도 이하로 열차속도를 저하시키는 제어를 한다. 이와 같이 지상신호에 관련된 허용속도와 열차속도와의 관계를 조화하여 제동신호를 출력하는 기능을 속도조화 기능이라 하며 보안제어 차상장치[4]의 중심적 기능이 된다.

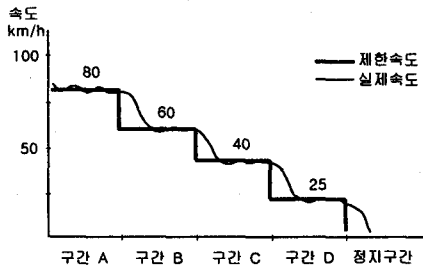


그림 1 ATC system의 속도규제 방식
Fig.1 Speed restriction of ATC system

ATC의 일반적인 제어방법은 그림 1에서와 같이 지상에서 구간마다 속도 관련 정보를 출력하고 차상에서는 이를 수신하여 구간내에서의 지시속도까지 감속할 수 있도록 구간과 단계별 속도에 따라 열차를 제어하는 것이다. 현재 ATC에 의한 제어방식에는 지상신호식과 차내신호식의 두 가지가 있다. 지상신호식은 기관사에 의한 감속을 기본으로 하고 ATC는 Back-up 장치로서의 역할만 수행한다. 따라서 엄밀한 분류로는 ATS의 범주에 속하며 속도제어 패턴은 ATS와 유사하여 진입금지구간의 직전에서 정지신호가 발생하는 특징이 있다. 이 때문에 열차간격에 1구간 정도의 낭비구간이 발생되므로 고밀도 운전에 장애가 된다. 반면 차내신호식에서는 지상에 신호기가 없고 통상의 감속은 ATC 장치에 의하여 자동적으로 수행된다. 이 방식은 지상신호식과는 달리 선행열차에 접근할 수 있는 장점이 있으며 단순히 ATC라함은 차내 신호식을 지칭하는 경우가 많다.

ATC 장치의 일반구성을 그림 2에 나타내었다. 지상장치는 제한속도 신호를 전송하는 송신기와 선행구간의 규제속도를 수신하는 수신기로 구성된다. 신호 전송방식에는 궤도회로를 사용하여 직접 Rail에 신호전류를 투입하는 직접방식과 궤도간에 부설한 유도선을 사용하는 간접방식이 있다. 또한 궤도회로방식에서는 구간별로 Rail를 절연하는 방식과 Impedance 차에 의해 절연하지 않고 사용하는 무절연 방식의 두 가지가 실용되고 있다. 두 방식 모두 1

kHz 전후의 반송주파수를 사용하며 진폭변조, 주파수변조 등에 의하여 규제속도를 표현한다. 차상장치는 규제속도를 수신하는 수신기, 속도조사등을 행하는 제어기로 구성된다. 궤도회로에 출력되는 지상신호에는 ATC 신호뿐만 아니라 차량 Tracking 신호와 Traction Motor 구동을 위한 전원장치의 Harmonic 성분등도 포함되어 있다. 이에 따라 수신부는 신호의 분리를 위하여 제한속도 신호수 만큼의 저역통과 필터와 대역통과필터로 이루어진 필터군을 내장하고 있는 것이 일반적이다. 초기의 ATC 장치는 5단계 정도의 속도단계를 사용하였으나 고속화와 고밀도화의 요청에 따라 속도단계수가 증가하는 추세에 있으며 20단계 이상의 초다단수를 채용한 System도 상용화되고 있다 [3].

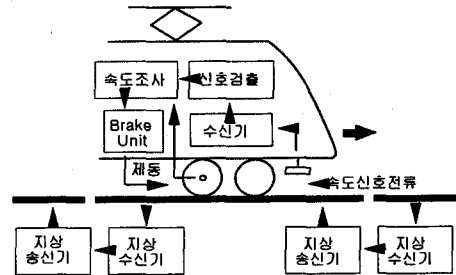


그림 2 ATC system의 구성
Fig. 2 Configuration diagram of ATC system

3. 3중화 방식에 의한 ATC System

개발되어진 ATC 장치는 차량의 운전실에 설치되며 각종 표시와 경고 및 과속방지를 위하여 다음과 같은 역할을 수행한다.

- ① 제어전원 공급
- ② 지상신호의 수신
- ③ 열차의 실제속도 검출
- ④ 과속여부 판정
- ⑤ 제동의 보장
- ⑥ 제동의 인식
- ⑦ 운전실내의 표시 및 경고
- ⑧ 차량 Computer와의 연계
- ⑨ 차륜경변화에 대한 Calibration 기능

3.1 System의 구성

그림 3은 개발되어진 3중화 ATC 장치의 구성을 나타낸 것이다. 지상의 신호를 수신하는 Pick up coil은 열차의 하부에 2개가 직렬 연결되어 있다. 이와 같은 구조는 차량의 바퀴를 통하여 Current loop가 형성되었을 때 두개의 pick up coil에 수신된 신호가 동위상일 경우 신호의 크기가 증대되지만 Noise등에 의하여 발생된 신호에 대하여는 감쇄가 되는 Pre-processing의 효과가 있게 된다. 수신된 신호는 동일 구조를 갖는 각각의 DSP Unit에 공급되

고 내부의 Coupling amp를 거쳐 A/D 변환기에 입력된다.

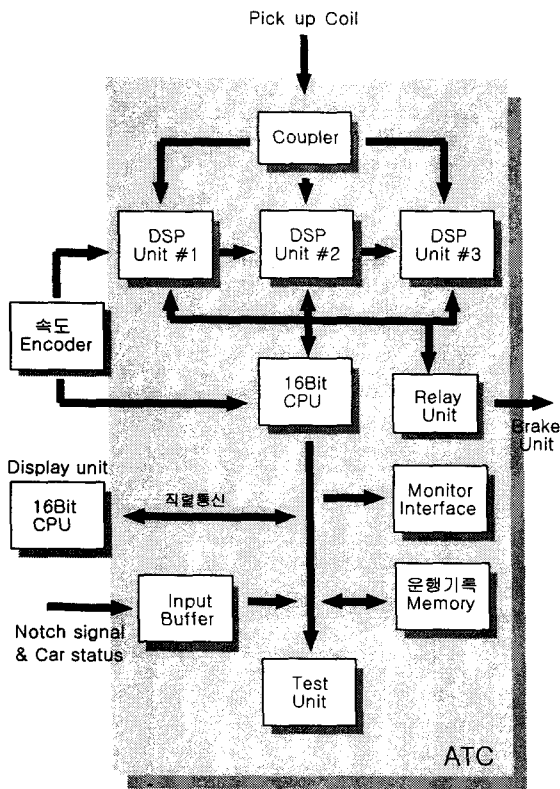


그림 3 3중화 ATC System의 구성도
Fig. 3 Block diagram of multiple constructed ATC system

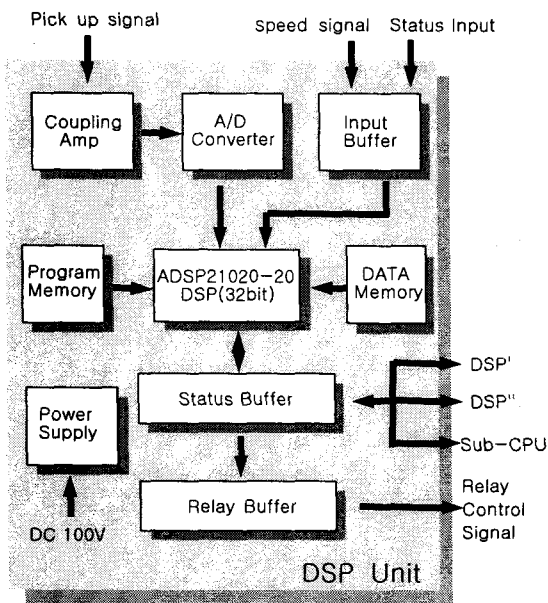


그림 4 DSP unit의 구성도
Fig. 4 Block diagram of DSP unit

입력된 신호의 Processing 및 속도 관련연산은 ADSP-21020 Digital Signal Processor를 사용하여 처리하였으며 20MHz의 clock 속도를 가지고 있다. 이 DSP는 단일 Clock에 의하여 모든 Instruction이 수행되며 40Bit의 Data word length와 48Bit program memory word length를 갖는 고성능 부동소수점 DSP이다. 그림 4에 DSP Unit의 구조를 나타내었다.

3.2 사양

개발되어진 3중화 ATC 장치의 사양은 다음의 표와 같다.

표 1 3중화 ATC의 사양
Table 1 Specification of ATC system

형 식	정 격
수신방식	시간-주파수 Hybrid 방식
Main CPU	ADSP21020-20 32bit DSP
보조 CPU	180C196KC-16 16bit CPU
다중 방식	3중계 방식
신호 주파수	0 -20.4 Hz 9 step
Carrier 주파수	990Hz
검출 속도(km/h)	5, 15, 25, 40, 60, 70, 80, 100
속도조사 방식	Digital 연산 방식
차륜직경 보정	780mm - 860mm 1mm 간격
전원 전압	100VDC(70-110)
소비 전력	약 40W

표 2 ATC의 속도특성
Table 2 Velocity feature of ATC system

항 목	정 격
Speed sensor 출력	40 Pulse / rev
Zero speed 검출	5km/h 이하
제동확인 지연 시간	2.5 - 3.0 Sec
감속도 비율	2.4 km/h

3.3 신호의 검출

수신되어진 신호로부터 Carrier 주파수를 검출하고 변조된 신호를 복원하는 것은 DSP를 사용하여 주파수 영역과 시간영역에서 처리하였다. Carrier 신호의 검출을 위해서 Discrete Fourier Transform(DFT)을 적용하였으며 속도 신호에 대한 주파수의 복원은 시간영역에서 Carrier의

RMS값을 검사하고 적절한 Threshold 값을 거쳐 판별하게 된다. 입력된 이산 시간 신호 $x(nT)$ 에 대한 Discrete Fourier Transform은 아래 식과 같다.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W^{nk}, \quad k=0,1,\dots,N-1 \quad (1)$$

표본 간격 T 는 $x(n)$ 에 포함되어 있으며 N 은 Frame의 크기를 나타낸다. 상수 W 는 twiddle factor로 다음과 같다.

$$W = e^{-j2\pi/N} \quad (2)$$

적용되어진 Frame의 크기는 128 Point로 110Hz의 주파수 분해능을 갖도록 하였다. 이에 따라 신호에 대한 Sampling 주기는 $71 \mu\text{sec}$ 가 된다.

표 3 신호주파수에 따른 제한속도
Table 3 Speed restriction for the frequency detected

신호 주파수	제한 속도
0 Hz	15 km/h
3.2 Hz	25 km/h (Yard)
5.0 Hz	25 km/h
6.6 Hz	40 km/h
8.6 Hz	60 km/h
10.8 Hz	70 km/h
13.6 Hz	80 km/h
16.8 Hz	Yard cancel
20.4 Hz	100 km/h

3.4 다수결 논리(2 Out of 3 logic)에 의한 출력

DSP Unit에서 처리된 결과들은 2 Out of 3 논리에 의하여 최종적으로 출력된다. 이를 위해 각 DSP Unit은 다른 DSP Unit과 연속적인 통신을 통하여 검출된 Data를 비교하며 상호간의 고장여부도 감시하게 된다. 2 Unit 이상의 Data가 서로 일치하여야 정상 Data로 간주되며 조건이 만족되지 않는 경우 Safe mode로 전환되도록 되어 있다. 이와 함께 각 Unit에서 출력된 Data를 Relay로 구성된 Hardware 2 out of 3 논리에 다시 통과시킴으로써 처리의 신뢰도가 증대되도록 하였다.

4. 결론

본 논문에서는 철도차량의 고속/고밀도화에 부응하여

System의 구조를 다중화함으로써 Tolerance와 Safety를 향상시킨 3중화 ATC 장치의 구현에 대하여 설명하였다. 구현되어진 ATC 장치에서는 신호의 수신에 관련된 처리를 DSP를 사용하여 주파수영역과 시간영역에서 수행하고 있다. 따라서 Analog 방식에서 발생되던 노화, 진동등에 의한 Error의 가능성이 거의 없으며 수신 주파수의 변경 및 기능의 확장이 자유로운 특징이 있다. 또한 보안 제동 장치에서 가장 중요시되는 신뢰도의 향상에 역점을 두어 수행된 결과를 Software와 Hardware를 이용하여 2 Out of 3 logic에 의하여 처리되도록 하였다.

참고 문헌

- [1] 高岡, 外: 鐵道における高速.高密度運轉システム, 日立評論, 73, 3, 267~272(平3-3)
- [2] 村本: 東急田園都市線.新玉川線のATCシステム, 鐵道の電氣技術, 15~24, Vol.1, No.1(1990)
- [3] 前川, 外: JR東日本901系用 ATC 裝置, 鐵道におけるサイパネティックス利用國內シンポジウム第29回, 322~325(1992)
- [4] 高岡: チェック方式によるフェイルセーフなデジタル演算方式の開発, 電子情報通信學會論文誌A, Vol. J75-A, No.6, 1080~1089(1992)

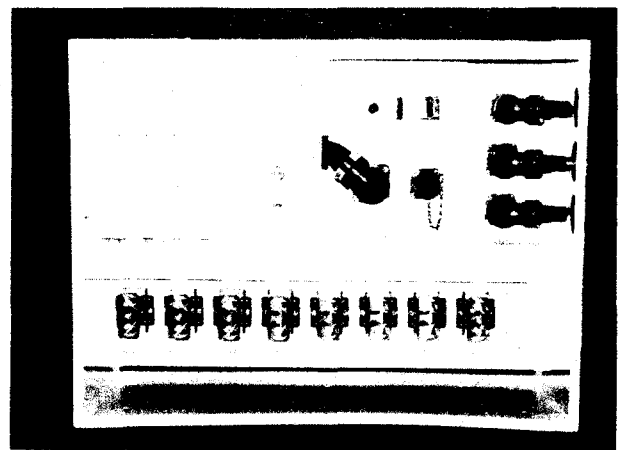


그림 5 3중화 ATC 장치의 외관
Fig. 5 A multiple constructed ATC system