무선기반열차제어시스템(CBTC)에서 가상기본블록과 Database와의 관계에 관한 연구

Research on Relation between the virtual basic block and Database Organization in CBTC

강구안*, 고영환*†, 김태훈**

Ku-An Kang*, Young-Hwan Koh*†, Tae-Hun Kim**

Abstract BGLRT(Busan-Gimhae Light Rail Train) is the first time applied driverless train based on steel wheel type train in CBTC method. This system is using two methods to get current position. First is fixed position by Tag and second is relation position by the twoTaco-meters.
This thesis is researched to the Tags position structure for the inside of consist about basic block and how to structure tag arrangement in database. After defined this tags position structure in virtual basic block in database system. After defined logical block, WCU can control the Tran start/stop/and alignment position by PMA. And also we defined PW and SW logical blocks structure in database.

Keywords : PMA(Primitive Movement Authority), PW(Plausibility Window), SW(Stopping Window), VOBC(Vehicle On Board Controller), WCU(Wayside Control Unit), LDET(Lost Detection), , AP(Access Point)

초 록 부산김해경전철은 한국에서 처음으로 개통된 철제차륜방식의 CBTC(Communication Based Train Control) 기반 무인경전철이다. 무인경전철에서 중요한 열차의 현재 위치는 트랜스폰더 태그에 의한 절대위치 인식과 태그와 태그 사이의 상대위치를 두 개의 타코메타를 사용하여 계산한다.

열차가 이동하는 가상기본블록은 태그들로 구성하고 이 태그가 포함되는 가상기본블록을 WCU(Wayside Control Unit)가 PMA(Primitive Movement Authority)정보를 전달하여 열차를 제어하는 방식이다.

본 논문에서는 열차제어의 기본블록 안의 태그들의 배열에 따른 데이터베이스구조와 열차이동 시 통신이상으로 PW(Plausibility Window)나 SW(Stopping Window)에 의한 특정구간 블록폐쇄를 위한 데이터베이스 정의에 관하여도 연구하고자 한다.

1. 서 론

본 논문에서 다루고자 하는 시스템은 한국에서 처음 도입된 철제차륜방식의 무선기반열차제어시스템 CBTC(Communication Based Train Control)이다. 무선기반열차제어 방식에서

† 교신저자: 부산김해경전철운영㈜ 고영환 대표이사/신호기술사(kohyw@hanmail.net)

열차의 현재 위치를 정확하고 빠르게 산출하는 것은 중요한 기술이다. 부산김해경전철에서 열차의 현재 위치를 검지하기 위해서 아래의 두 가지 입력 값을 통하여 검지한다[6].

첫 번째는 열차의 절대위치를 트랜스폰더 태그 ID 값에 의한 절대위치결정 방식이고 두 번째는 태그와 태그 사이의 상대거리는 두 개의 타코메타에 의하여 검지한다. 열차의 위치 값은 각 선로에 설치된 트랜스폰더 태그 ID를 지날 때마다 열차에 설치된 트랜스폰더 검지장치는 트랜스폰더 ID를 수신한다. 검지장치는 태그 정보를 ATP에 전달하고 ATP는 수신된 ID가 트랜스폰더의 예상 순서와 마지막 수신 지점으로부터 진행된 거리가 타당한지 확인한다. 확인된 트랜스폰더 ID와 관련된 선로 변 위치를 저장된 비교표를 이용하여 확인한다. 트랜스폰더 간의 거리는 두 개의 독립된 타코메타 입력을 통해 확인한다[7].

따라서 본 논문에서는 열차제어의 기본인 가상기본블록(Block)안의 태그들의 구조와 데이터베이스와의 관계에 관한 연구고 이를 기반으로 열차이동 시 통신장애로 인한 제동거리 구간에 PW와 SW를 폐쇄하기 위한 데이터베이스 정의에 대해서도 연구하고자 한다.

2. 본론

2.1 무선기반열차제어 시스템에서의 위치 산출방법 및 PMA 역할

2.1.1 지상 열차 위치검지

열차방호시스템 ATP(Auto Train Protect)의 주요기능으로서 열차는 지속적으로 지상설비와 통신을 통하여 열차 자신의 상태, 즉 이동방향, 위치, 운전모드, 등에 대하여 AP(Access Point)를 통하여 WCU에 보고한다. WCU는 블록점유 확인을 통해 열차위치를 검지하고 해당 블록을 점유블록으로 지정한다. 열차는 시스템적으로 한 블록을 빠져나감과 동시에 한 블록 진입을 확인한다[2].

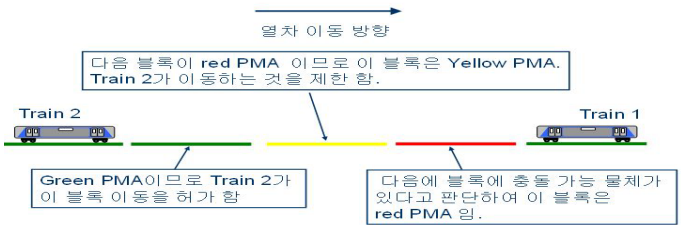

Fig.1 Train moving according to PMA status from WCU

WCU는 각 블록에 열차의 진입가능 여부를 결정하여 열차이동 권한 PMA을 설정한다. WCU는 선행열차와 후행열차 사이에 최소 하나의 적색 PMA를 가진 블록과 황색 PMA를 가진 두 번째 블록을 유지시킴으로써 안전열차이격을 보장한다[1][7].

2.1.2 열차 위치보고

열차는 열차의 전/후방 및 중간 지점에 위치하는 기본블록 ID를 보고한다. 예를 들어, 열차전방이 여유거리 안으로 계산되는 동안 블록 n내에 위치에 있다고 보고된다. 열차전방이 여유거리를 가로지를 때 이 전방위치가 블록 n+1에 있다고 보고된다[1][7].

WCU는 산출 값에 따라 블록 n과 n+1이 점유되고 PMA 산출을 위해 이 정보를 이용한다. WCU

는 열차위치중앙의 블록 ID를 ATS에 보낸다. ATS는 블록 n에 있는 열차 아이콘을 표시한다[1][4][7].

Fig. 2 Report train position n

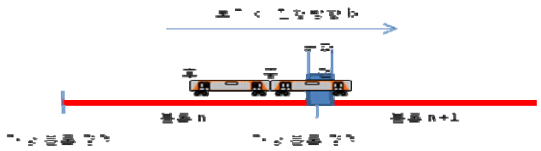

Fig. 3 Report train position n & n+1

Fig. 2은 현재 열차위치의 전/중/후 모드 n을 보고한다. 또한 열차의 전방이 버퍼를 지나지 않고 위에 올라서면 또한 현재 열차위치는 전/중/후 모드 n을 보고한다. Fig. 3은 현재 열차의 전방 위치가 버퍼 선을 넘어서 n+1을 보고하고 중간 및 후방은 n의 위치를 보고한다[1][7].

2.1.3 안전열차이격

기본블록은 모든 장애모드에 있어 열차가 장애물과 충돌하는 것을 방지하기 위해서 충분한 길이를 가지고 있음을 보장한다.

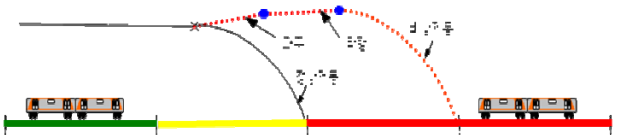

Fig. 4 Safety distance law

위와 같이 최소 블록길이는 발생 될 수 있는 최악의 조건에서 열차를 보호할 수 있는 충분한 거리를 두고 설계된다. 각각의 논리블록은 고정된 길이와 위치를 가진다[1][4].

논리블록 방식은 검지된 차량의 허용 최대 속도제한 또는 할당된 운행방향에 열차운행 또는 검지된 두 대의 차량 또는 반대 방향으로 운행하는 열차의 안전이격 거리 분리를 보장한다[1].

2.1.4 PW와 SW 블록 다이아그램

기본블록거리가 정의되고 열차 이동 시 통신 이상이 발생한 위치로부터 PW와 SW는 정해진 블록의 개수만큼 블록을 폐쇄하여 열차의 안전거리를 확보한다. 이는 블록의 거리와 열차의 이동속도를 감안하고 제동거리를 계산하여 고정블록의 개수를 정한다.

Table 1 Define number of blocks for PW

Down Track(하선)					Up Track(상선)				
Block ID	PW Block				Block ID	PW Block			
	GD0		GD1			GD0		GD1	
101	103	105	--		102	104	106	--	
103	105		101		104	106		102	
105	107		103		106	108		104	

PW는 열차가 이동 중 3초간 통신장애가 발생하면 장애발생위치 블록에서 후행 블록과 전방 블록을 폐쇄하여 열차의 안전이격을 보장한다. Fig. 6은 기본블록 103에서 통신장애 시 PW 블

록 폐쇄를 나타낸 것이다.

Table 2 Define number of block for SW

Down Track(하선)					Up Track(상선)					
Block ID	Blocks GDO				Block ID	Blocks GD0				
101	103	105	107	109	102	104	106	108	110	112
103	105	107	109		104	106	108	110	112	

SW도 열차이동 시 3초간 통신장애가 발생하면 장애발생 블록에서 이동방향으로 10초 내에 열차를 정지하기 위해 열차이동의 전방 및 후방 블록 PW블록을 포함하여 이동 방향으로 더 많은 블록을 폐쇄하면서 열차를 상용제동으로 정지시켜 열차의 안전이격을 보장한다. Fig. 7은 기본블록 103에서 통신장애 시 PW 블록폐쇄와 동시에 이동방향으로 SW도 같이 블록폐쇄를 나타낸 것이다.

2.2 무선기반 열차 제어 시스템에서의 PMA안의 태그와 데이터베이스와의 관계

2.2.1 가상 기본블록 안의 태그들의 위치 설정

하나의 기본논리 블록을 설계하고 만들 때에는 역사의 거리와 분기기의 사이에 가상기본블록을 설정하고 이 설정된 가상기본블록 안에 적절한 간격으로 태그들을 설치한다.

Fig. 5 Setting of Tags position in Logical Block

이러한 물리적인 태그들 설치가 완료되면 이를 호출하여 사용하기 위해서는 기본블록에 대한 태그들 구조를 데이터베이스를 이용한 테이블이나 파일시스템 형식으로 정형화 한다.

기본블록에 대한 데이터베이스 나 파일시스템이 정형화 되면 열차가 이동 시 통신이상으로 열차안전이격 거리를 확보하기 위한 PW와 SW의 고정블록 폐쇄 정보를 데이터베이스에 정형화하여 호출 사용한다. PW와 SW는 태그들이 설치된 가상기본블록 안의 거리와 차량의 속도 등을 계산하여 열차가 3~10초 동안에 정지할 수 있는 기본블록들을 고정적으로 정의하여 사용한다. 비상시 블록의 폐쇄는 열차가 이동 중 이상이 발생한 위치를 기준으로 열차의 전중후 위치에서 마지막에 호출한 태그의 위치가 포함되는 기본블록의 전방과 후방의 블록을 폐쇄하게 하여 열차안전이격을 보장하게 한다.

그림은 기본블록 101안의 태그들 T1, T2, T3, T4가 하나의 기본블록101을 구성하는 그림이다. 열차가 이동 중 차량의 중간에 위치한 트랜스폰더 검지기가 T1, T2, T3, T4을 읽으면 가상기본블록은 같은 기본블록 101 값을 ATP를 통하여 WCU로 전달한다. 즉 열차의 현재위치는 기본블록101(T1, T2, T3, T4)이 위치한 블록이다. 이와 같은 방법으로 모든 가상기본블록 안에 태그들을 설정한다. 이러한 기본블록을 연결하여 열차가 운행할 수 있는 진로를 만들 수

있다. 또한 열차의 전방과 후방의 위치는 소프트웨어적으로 약 20m로 고정된 값을 계산하여 호출한다.

열차이동 중 통신이상 시 현재블록을 기준으로 기본블록의 폐쇄는 **PW블록점유(n-1, 열차현재위치, n+1)** 블록만 PW를 발생시켜 열차의 안전이격을 한다. PW 발생과 동시에 SW를 발생시켜 열차를 10초안에 이동방향으로 안전하게 정지하게 하여 열차안전이격을 보장하게 한다. SW 시 폐쇄블록의 정의는 **SW블록점폐쇄(n-1, 열차현재위치, n+1, n+2, n+3...)**로 PW 블록을 포함하여 더 많은 블록을 폐쇄하여 열차를 10초안에 정지시켜 열차안전이격을 보장한다. 이때 n+∝의 값은 현재열차가 위치한 기본블록 안의 최고속도에 따라 고정블록의 개수는 정해진다. 이를 데이터베이스에 고정 정의하여 호출 사용한다.

2.2.2 기본블록 안의 태그들 구성에 따른 데이터베이스 구조 및 PW & SW 고정블록 정의

기본블록 안의 태그들 구조에 따른 데이터베이스 구조와 통신장애로 인한 차량이동의 안전이격을 위한 PW와 SW의 고정블록폐쇄 정보는 다음과 같은 데이터베이스 형식이나 파일시스템 포맷으로 정의하고 필요 시 이를 호출하여 사용한다.

Table 3 Define Tags and PW & SW blocks in Database

Block ID	TAGs	PW blocks	SW blocks	Up[m] Position	Down[m] Position	Station	Ext
101	T1,T2,T3	103,105	103,105,107,109	512		A역~B역	..
102	T20,T21,T22	104,106	104,106,108,110		512	B역~C역	..
103	T30,T31,T32,T33	105	105,107,109	529		C역~D역	..
104	T40,T41,T42,T43	106	106,108,110,112		529	D역~E역	..
105	T50,T51,T52,T53	107	107,109,111	565		E역~F역	..
..	..	..	..			..	..
Xn	TXn,TXn+1,TXn+2	Txn, Txn, Txn…	Txn, Txn, Txn…	..	..	X역~X역	..

예를 들어 기본블록101번은 3개의 태그들(T1, T2, T3)을 하나의 기본블록으로 구성하는 기본블록ID 101로 정의한다. 따라서 열차가 기본블록101을 지날 때 열차는 T1을 읽고 현재의 기본블록 정보 블록 ID 101을 WUC에게 전달하고 WCU는 기본블록 ID 101 열차위치를 인식하여 블록제어를 위한 PMA 정보를 전송한다. 다음 T2, T3을 반복하여 기본 블록정보 ID 101을 WCU로 전송하여 열차가 이동한다. 기본블록 ID 103의 T30 태그들을 순서대로 읽으므로 서 기본블록 정보 블록 ID 103를 WCU에게 전달하여 다음 블록을 점유하게 한다. 이러한 실행을 데이터베이스 테이블에 반복 호출 실행하여 열차는 진행방향으로 이동하게 된다. **(SELECT 기본 Block ID FROM 데이터베이스.테이블 WHERE = 현재차량위치에 속한 태그)**들로 현재 열차의 위치에 있는 기본블록 데이터를 호출할 수 있다.

열차가 기본블록 ID 103 이동 중 통신장애나 차량의 VOBC장애가 발생하면 열차의 안전거리 확보를 위해 PW나 SW를 발생시켜 블록폐쇄가 필요하다. 현재열차의 전중후가 블록103의 태그들의 값 중에 하나라면 PW blocks의 값 105를 데이터베이스 테이블에서 호출하여 블록을 폐쇄

한다. 동시에 SW도 발생하여 3초 이상 통신이상이 발생하면 열차이동 방향의 기본블록 105, 107, 109의 블록 폐쇄하여 열차안전이격을 보장하게 된다. **(SELECT PW Blocks, SW Blocks FROM 데이터베이스.테이블 WHERE = 현재차량위치가 속한 기본블록)**으로 현재 열차의 위치에서 열차 안전이격을 위한 PW 및 SW의 고정블록 데이터를 호출할 수 있다.

또한 태그를 읽는 순서에 따라 열차의 이동 방향도 결정 할 수 있다. 블록 ID 101안의 태그 T1, T2, T3를 읽고 다음 블록 ID 103안의 태그들을 읽으면서 열차는 Xn역 방향으로 이동한다고 판단 가능하다. 또한 열차의 이동 방향을 블록 ID 106를 읽고 블록 ID 104를 순차적으로 읽으면 A역 방향으로 열차가 이동한다고 판다. 위의 테이블에서 기본블록 ID 홀수는 하선을 나타내고 짝수는 상선을 나타낸다.

2.4 통신이상 발생시 현재열차 위치에 따른 일반적인 블록폐쇄

열차가 이동 중 통신이상으로 PW나 SW로 기본볼록을 폐쇄할 시 열차의 전중후 부분이 경계구간을 지나지 않고 있다고 보고 정의한다. 전중후의 값이 경계구간을 넘어서면 단지 기본블록 폐쇄의 호출범위가 다르고 기본 이론은 같다.

Fig. 6 PW happen in normal

위의 그림에서 보듯이 열차가 이동 중 3초 이상의 통신이상이나 열차의 VOBC 이상이 발생할 경우 블록을 폐쇄한다. 이때 블록 폐쇄정의는 태그의 위치와 가상기본블록의 거리에 따라 달라질 수 있다. 예를 들어 열차의 태그 검지기가 읽은 태그가 T30, T31, T32 기본블록 103안의 값이면 블록 폐쇄는 데이터베이스에 정의된 PW블록 값(105)을 호출하여 블록을 폐쇄고 또한 뒤에서 오는 열차의 안전을 보장하기 위하여 블록 101도 동시에 폐쇄하여 열차의 뒤에서 오는 열차와의 안전이격도 확보한다.

Fig. 7 PW+ SW in normal

위의 그림은 진행방향 기준 통신이상이 3초 내에 처리되지 않아 PW블록폐쇄와 동시에 SW 블록을 호출하여 진행방향으로 더 많은 블록을 폐쇄하여 열차를 상용제동으로 정차하게 한다. 즉 현재 열차의 위치가 블록 ID 103에서 통신 이상이 발생하여 PW를 101, 103, 105 블록을 폐쇄하고 동시에 SW의 기본블록 105, 107, 109를 호출하여 기본블록을 폐쇄하여 10초 내에 열차를 안전하게 정차시킨다.

Fig. 8 behind direction distance is short then the break requested distance

선로전환기 구간 역사가 짧은 구간의 경우 기본블록의 구간을 짧게 설계해야 하는 구간이 있다. 이는 열차의 최고속도에 대한 제동거리 따라 한 개 이상의 기본블록을 점유하는 경우가 있다. 위의 그림은 진행방향 기준 후방의 기본블록 길이가 짧아서 뒤의 블록을 하나 더 폐쇄한 것을 보인다. 이때 PW점유블록(100,102,104,106)이 된다.

3. 결론

본 논문에서 연구한 열차제어의 가상기본블록 안의 태그들 배열에 따른 데이터베이스 구조에 관하여 정의하고 열차안전이격을 보장을 위한 PW와 SW에 대한 고정블록 폐쇄에 대하여 데이터베이스 점유방법론 및 정의를 연구하였다.

열차의 비상제동 시 기본블록의 폐쇄의 정의는 열차 속도에 대한 제동거리를 충분이 계산하여 고정블록을 정의하여 안전거리를 확보할 수 있게 정의 하여야 한다. 만약 선로전환기 위치와 거리상의 제약으로 기본블록의 거리가 제동 거리보다 짧으면 블록의 점유를 한 개 이상 점유하여 안전거리를 충분히 확보해야 한다.

무인경전철에서 네트워크의 연속성은 아주 중요하다, 그래서 열차의 진로를 결정하기 위해서 중앙집중식 데이터베이스로 사용할 것인지 열차내의 VOBC자체에서 사용되는 standalone 이나 파일구조로 사용할 것인지에 대한 연구가 더 필요할 것이다.

무인열차운영에서 열차이동에 대한 진로는 아주 많다. 다음 연구는 태그들로 구성된 기본블록을 군집으로 하여 열차진로 구성방법에 대한 데이터베이스 구조에 대해서 깊이 있는 연구를 하고자 한다.

참고문헌

1. 부산김해경전철운영㈜ 관제실무 교육 매뉴얼, pp. 1~167 , 2010.8
2. 현대로템㈜ 열차무선설비 운영자 교육자료, pp. 1~139 , 2010.12
3. 현대로템㈜ 열차무선설비 운영자 교육자료[열차무선설비], pp 1~100 , 2010.12
4. 현대로템㈜ 부산-김해 경전철 50량 교육교재[상권], pp. 2-2-1~2-2-119 , 2010.12
5. 현대로템㈜ 부산-김해 경전철 50량 교육교재[하권], pp. 6-6-1~6-6-30, 2010.12
6. CBTC 무선기반열차제어 시스템에서 RFID를 이용한 실시간 열차 현재위치 구현에 관한 연구. 강구안, 김대일, 김장열, 김윤수 2013 추계학술대회
7. 현대로템㈜ 신호부문 설계 사양서 시스템 디자인 사양서, pp. 53~84, 2011.01.31