In-Track 방식 PRT 차량의 분산식 경로 제어 방법

Method for Distributed Routing of a Personal Rapid Transit Vehicle using In-Track process

장영환† 김말수* 류명선** 김재식*** 최승갑****

Jang, Young Hwan Kim, Mal Soo Ryou, Myung Seon Kim, Jae Sik Chio, Seung Gab

ABSTRACT

The PRT can be divided into In-Track and On-Board according to propulsion method. In process of In-Track, vehicles driven by LIMs(Linear Induction Motor) which are installed in Guideway. Central Controller, which control whole machine, must control speed and direction of all vehicles. In this case, as vehicle increases, Central Controller will overload. If Central Controller fails, all vehicle stops. To avoid this problem, processing of Central Controller must be distributed. This paper introduces method of Distributed Routing. Method of Distributed Routing will provide safety and efficiency for PRT System.

1. 서 론

PRT(Personal Rapid Tracnsit)는 도시교통에 있어서 자동차의 편리함을 보유하면서 대기오염과 교통체증 등의 결함을 제거하기 위해 개발되고 있는 차세대 교통수단이다. 가장 큰 특징은 짧은 운행 간격과 무정차 운행이다. 승객은 2~6인승의 차량에 탑승하여 지정된 목적지까지 무인 운전에 의해 수송된다. 또, PRT는 차량의 추진 제어 방식에 따라 On-Board 방식과 In-Track 방식으로 구분된다. On-Board 방식은 추진 장치가 각 차량에 설치되어 차량 스스로 속도를 제어하여 차량을 이동시키는 제어 방식이다. In-Track 방식은 모든 Track 구간에 차량의 길이에 따라 일정 간격으로 모터가 설치되어 어느 구간이든 차량이 이동할 수 있도록 제어된다. 이 방식은 중앙제어장치가 전체 차량의 흐름을 직접적으로 제어할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이를 위해 전체 PRT Track을 일부 구간으로 구분 짓고 구간제어장치를 두어 각 구간의 상태를 보고받는 중앙집중식 제어구조를 갖게 된다. PRT 특성 상 추진 방식에 상관없이 무인, 무정차로 운행 되는 차량에 탑승한 승객의 안전을 위해 각 제어 장치들은 비상 상황을 철저하게 예방하고, 비상 상황 발생 시 신속한 복구가 가능해야 한다. 즉, 승객의 안전을 최우선으로 제어장치들이 설계 및 구현되어야 한다. 특히, 무정차로 운행하기 때문에 차량이 목적지까지 이동하는 도중 중앙제어장치의 장애가 발생했을 경우 신속한 복구 또는 2차적인 제어 방식으로 승객의 불편을 최소화 할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 PRT의 가장 큰 특징인 무정차 운행을 안전하고 원활하게 운영하기 위해 분산식 경로 제어 방식에 대해 기술한다. 경로 제어 방식을 적용하기 위해 실제 PRT System의 약 1/10 scale로 제작한 "PRT Emulation Track(이하 Emulation Track)"의 제어장치를 기반으로 제어 방식을 설명한다. 이 제어 방식을 통해 중앙집중적인 In-Track 방식의 PRT에서 장애 발생 시 차량의 비상정지를 방지하고, 중앙제어장치의 부하를 줄일 수 있는 방식에 대해서도 기술하고자 한다.

† 책임저자 : 장영환, (주)포스콘, 기술연구소, 주임연구원
E-mail : yhjang@poscon.co.kr
TEL : (02)3290-4426 FAX : (02)925-1812
* (주)포스콘, 기술연구소, 책임연구원 ** (주)포스콘, 기술연구소, 팀장 *** (주)포스콘, 기술연구소, 소장 **** (주)포스콘, 상무

2. PRT 제어시스템

2.1 제어시스템 구성

PRT는 차량의 이동, 정류장 등이 무인으로 운영되어지므로 다양한 제어장치들이 필요하다. In-Track 방식의 PRT System은 중앙제어장치가 전체 차량의 흐름을 직접적으로 제어한다. Emulation Track에서는 중앙제어장치를 중심으로 여러 제어장치들이 그림 1과 같이 구성된다. 각 제어장치에 대한 명칭과 기능은 도표 1과 같다.

도표 2. 제어시스템 구분

구 분	명 칭	기 능
운영제어시스템	CC (Central Controller)	PRT 모든 운영 제어
DB (Database)	로그, 운행 기록 저장	
PID (Platform Information Display)	승차대 정보 표시	
ATM (Auto Ticketing Machine)	발권기	
AFC (Auto Fare Collection)	자동운임징수시스템	
구간제어시스템	NC (Node Controller)	Node 구간 제어
SC (Station Controller)	정류장 구간 제어	
차량제어시스템	VC (Vehicle Controller)	
추진제어시스템	MC (Motor Controller)	모터 추진 제어

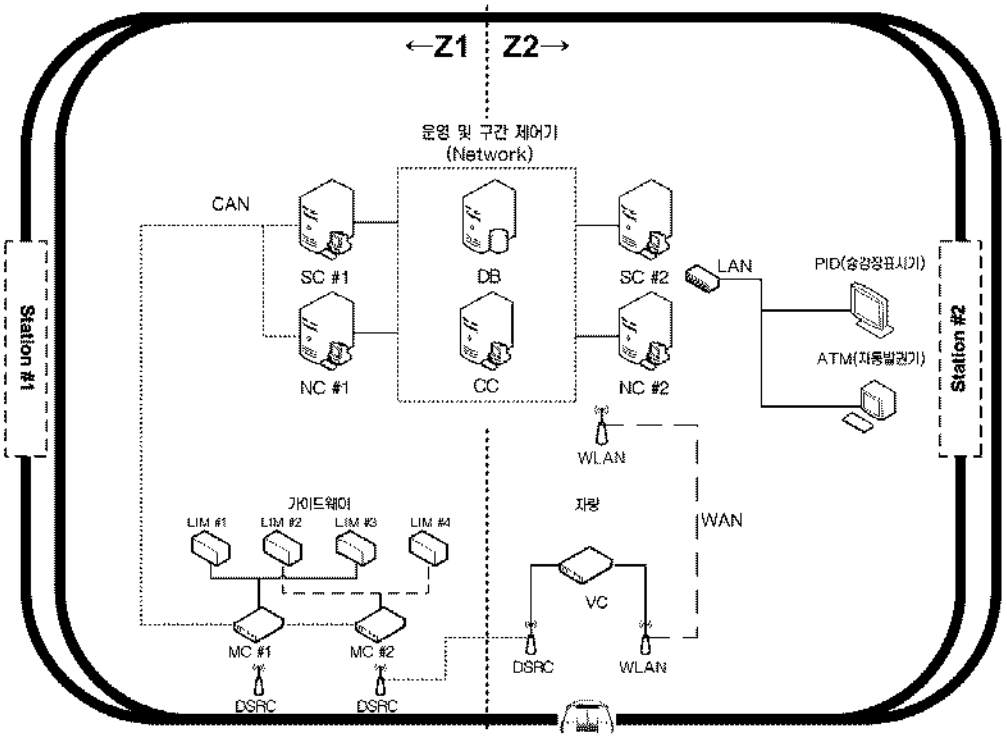


그림 2. 제어시스템 구성

PRT의 제어시스템에서 중앙제어장치는 전체 차량의 개별적인 위치에 맞게 차량의 경로, 속도 등을 직접 제어할 수 있어야 한다. 이를 위해 전체 PRT Track을 일부 구간으로 구분 짓고 구간제어장치를 두어 각 구간의 상태를 보고 받는 중앙집중식 제어구조를 갖게 된다. 이런 PRT 제어시스템은 크게 4

종류의 제어장치를 갖는다. 즉, PRT 제어시스템은 중앙제어장치(CC:Central Controller), 구간제어장치(NC:Node Controller), 추진제어장치(MC:Motor Controller) 및 차량제어장치(VC:Vehicle Controller)를 갖는다. 이러한 제어장치들은 계층적으로 구성되어 있으며 중앙제어장치가 최상위 제어장치로서 하위 제어장치들을 제어한다.

2.1 중앙제어장치 기능

중앙제어장치는 전체 Track에서 차량 제어를 담당하며, 구간제어장치는 특정 구간, 추진제어장치는 1~4개의 선형 유도 모터 제어를 담당하고, 차량제어장치는 차량 한 대의 제어를 담당한다. 중앙제어장치 외에 다른 제어장치는 중앙제어장치에게 각 상태를 보고하고, 중앙제어장치에서 제어정보를 수신하여 해당되는 제어 명령을 수행하게 된다. 중앙제어장치는 차량의 전체 위치를 감시하여 각 위치에 따른 차량의 속도, 경로 등 제어 정보를 하위의 제어장치로 전송하게 된다. 즉, 중앙제어장치는 전체 차량의 위치를 파악해야 하며 차량이 분기 지점에 도달하기 전 특정 위치에서 차량 경로에 따른 방향을 설정해줘야 한다. 중앙제어장치는 전체 구간의 제어를 담당하고, 다수의 구간제어장치가 해당 구간을 담당하게 된다.

2.2 구간제어장치 기능

구간제어장치는 해당 구간내의 차량의 간격, 속도 등 차량 추진 부분만 제어하고 차량의 경로에는 관여하지 않는다. 해당 구간에 대한 차량만 제어하기 때문에 새로 진입할 차량에 대한 정보도 중앙제어장치로부터 수신하게 된다. 특히, 차량의 분기 지점에서 차량이 SOP(SOP: Switching Operation Point)에 도달하기 전 분기할 방향 정보를 구간제어장치에 전송하고, 분기 정보를 수신한 구간제어장치는 차량이 SOP에 들어오는 순간 차량제어장치로 분기 정보를 전송하여 그 정보에 따라 분기할 방향의 Switching Arm을 작동시켜 차량이 중앙제어장치가 정해준 경로로 이동할 수 있게 해준다.

2.3 중앙집중식 제어 방식의 문제점

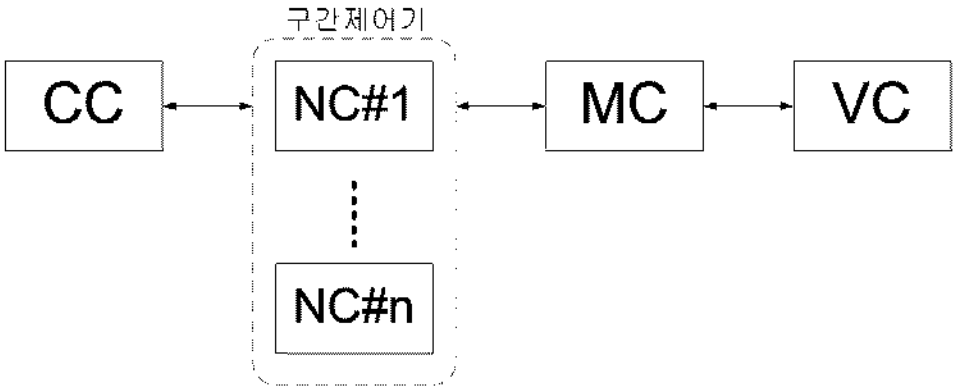


그림 3. 중앙집중식 제어장치 구성

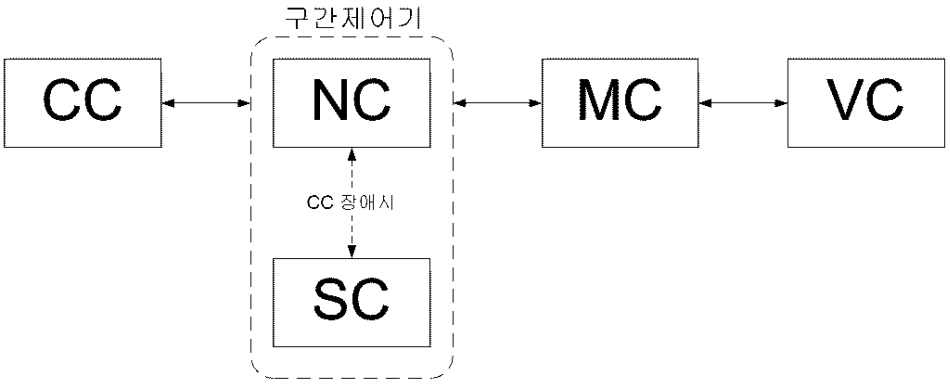
In-Track 방식의 PRT 제어시스템은 하나의 중앙제어장치(CC)가 각 구간의 제어장치를 제어하고 구간제어장치(NC)는 해당 구간에 설치된 추진제어장치(MC)를 제어한다. 그림 3에서 보은 바와 같이 다수의 구간제어장치(NC)는 중앙제어장치(CC)와의 통신으로 제어된다. 중앙제어장치는 구간제어장치가 변경되는 지점, 분기 및 합류하는 지점 등 전체 운영되는 차량의 위치를 항상 파악하여 해당 경로 정보를 하위제어장치로 전송하게 된다. 이때 전송하는 정보의 양과 빈도수는 운행되는 차량이 늘어날수록 증가하며, 중앙제어장치가 관리하는 노선의 복잡성이 커질수록 증가하게 된다. 또, 중앙제어장치의 장애 발생 시 제어 정보를 수신 받지 못한 구간제어장치는 해당 구간에 진입하는 차량의 정보를 알 수 없으며, 분

기 구간에서 차량이 진행해야 할 방향을 알 수 없게 된다. 즉, 중앙제어장치의 장애 발생 시 중앙제어장치가 담당하는 전체 구간의 차량이 비상 정지할 수 밖에 없는 상황이 발생하게 된다. 목적지까지 도착하지 못한 차량은 승객이 하차하지 못하는 위치에서 비상 정지를 할 수도 있기 때문에 승객의 안전상 위험한 상황을 초래할 수 있다. 따라서 중앙집중식 제어방식은 차량의 증가에 따라 시스템 부하가 늘어나며, 비상 시 차량 운행에 있어서 제한이 따른다는 문제점이 있다.

3. 분산식 경로 제어 방식

3.1 분산식 제어시스템 구성

중앙집중식 제어 방식은 중앙제어장치가 전체 구간에 대한 제어 정보를 모두 관리하기 때문에 중앙제어장치의 장애 발생 시 차량의 추진이 불가능하게 된다. 즉, 차량의 이동이 불가능하게 되어 목적지까지 이동하지 못한 차량은 장애 발생 시점 후 구간제어기의 제어 범위 내에서만 추진이 가능하게 된다. 만약 목적지가 구간제어장치 제어 범위 안에 있다면 해당 차량은 이동이 가능하겠지만 그렇지 못한 경우 구간제어장치는 장애 발생 시점에 존재하는 차량 이외의 다른 차량은 인식할 수 없게 된다. 즉, 구간제어장치는 중앙제어장치로부터 수신한 정보가 없이 새로운 차량의 정보를 알 수 없게 된다. 이를 해결하기 위해 그림 4와 같이 구간제어장치 간 통신 기능을 추가하여 장애 발생 시 차량의 추진을 가능하도록 한다.



1.

그림 4. 분산식 제어장치 구성

2.

3.2 기존 경로 제어 방식

중앙집중식 제어 방식에서는 모든 차량의 경로 정보를 중앙제어장치가 제공한다. 경로 전송 제어 방법을 설명하기 위해 그림 5와 같은 가상 구간에 대한 경로를 예로 든다.

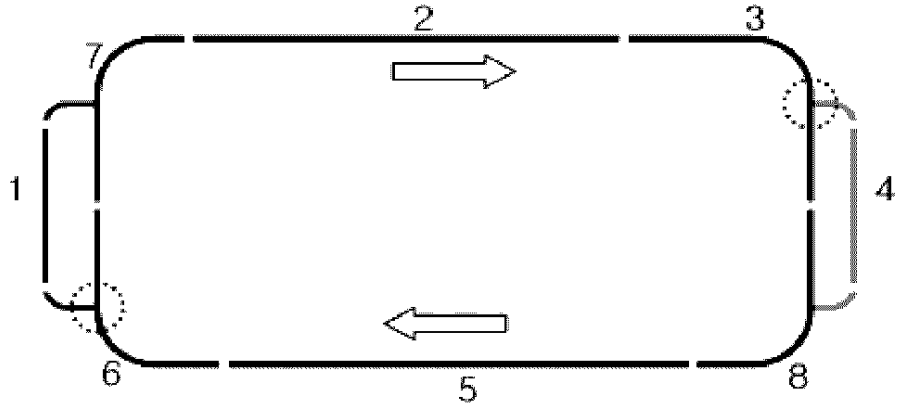


그림 5. PRT 노선 layout

그림 5에서 각 숫자는 구간제어장치가 설치되는 구간의 번호를 뜻한다. 이중 1, 4 구간은 정류장이 설

치된 정류장 구간이다. 화살표 방향으로 차량이 이동하게 되며, 6과 3번 구간은 차량이 분기하는 구간이고 7과 8번 구간은 차량이 합류하는 구간이다. 차량의 경로는 구간 번호를 이용하여 결정된다.

예를 들어, 차량이 1에서 출발하여 4까지 진행하는 경로를 표현하면 "1-7-2-3-4"와 같다. 이 숫자들이 테이블 형태로 저장되어 차량이 해당 구간으로 진행할 때마다 중앙제어장치가 다음 경로를 해당 구간에 알려준다. 즉, 차량이 3번 구간에 진입한 경우 3번 구간제어장치에게 차량의 다음 진행 방향이 4번 구간임을 알려주게 되며 이런 절차는 차량이 다른 구간으로 진입할 때마다 계속 반복되게 된다. 만약, 차량이 2번 구간에서 주행 중 중앙제어장치에서 장애가 발생한 경우 3번 구간제어장치는 차량이 진입하더라도 다음 진행 방향을 알 수 없게 되어 차량의 분기를 제어할 수 없게 된다. 이 때문에 3번 구간제어장치는 차량을 분기지점(점선 부분) 전에 비상 정지 시켜야만 한다. 장애가 회복된 후에도 3번 구간에서 비상 정지 중인 차량은 중앙제어장치에서 새로운 경로 테이블을 보내주기 전까지 차량을 움직일 수 없게 된다.

3.2 분산식 경로 제어 방식

본 논문에서 제안하는 분산식 경로 제어 방식은 전체 경로 테이블을 구간제어장치가 관리하는 방법이다. 중앙제어장치는 전체 차량에 대한 경로를 승객의 요구나 필요에 따라 생성하는 데 전체 경로 테이블을 차량의 이동에 따라 전송하는 방법이 아니라 구간제어장치의 통신에 따라 경로 테이블을 전송하는 방법을 사용한다. 이 방법을 설명하기 위해 차량 A가 1에서 출발하여 한 바퀴를 선회한 후 4번 정류장으로 운행하는 그림 6과 같은 경로 테이블을 예로 든다.

index	0	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11
NC 식별정보	1	7	2	3	8	5	6	7	2	3	4

3.

그림 6. 차량 경로 테이블

4.

차량 A의 전체 경로 테이블은 12개의 구간 index를 가진다. index 숫자의 증가는 차량의 진행 방향과 같은 의미가 된다. index에 해당하는 NC 식별정보는 구간의 번호를 의미한다. 차량 A의 출발지와 목적지가 정해지면 중앙제어장치가 그림 6과 같은 전체 경로 테이블을 생성하여 출발 구간인 1번 구간제어장치(NC)로 전송하게 된다. 전체 경로 테이블을 수신한 1번 구간의 구간제어장치는 첫 번째 index인 0의 값을 확인하게 된다. 이 확인 절차는 차량의 경로 정보가 자신의 구간부터 시작되는지를 판단하는 절차가 된다. 확인 과정 중 첫 번째 index의 값이 자기 자신의 구간 번호와 일치하게 되면 전체 경로 테이블을 왼쪽으로 쉬프트 한다. 수정된 경로 테이블은 그림 7과 같다.

index	0	1	2	3	4	5	6	7	9	10
NC 식별정보	7	2	3	8	5	6	7	2	3	4

그림 7. 수정된 차량 경로 테이블

그림 7에서 보는 것과 같이 처음 수신한 차량 경로 테이블 중 차량이 현재 위치하고 있는 구간이 사라지게 되고 진행할 방향의 구간 번호가 첫 번째 index로 변경되게 된다. 전체 차량 경로 테이블을 수정한 1번 구간제어장치는 다음 진행 구간인 7번 구간제어장치에게 수정된 차량 경로 테이블을 전송하게 된다. 수정된 차량 경로 테이블을 수신한 7번 구간제어장치는 1번 구간제어장치가 했던 방식과 같은 방법으로 경로 테이블을 수정한 후 다음 진행 구간인 2번 구간제어장치에게 2차 수정된 경로 테이블을 전송한다. 이 절차를 반복하게 되면 차량 A의 전체 경로 테이블을 그림 8과 같은 과정을 거치게 된다. 출

발지부터 목적지까지 구간제어장치가 직접 경로 테이블을 수정하고 전송함으로 차량 A가 목적지까지 이동할 수 있게 된다. 즉, 차량 운행 도중 중앙제어장치의 장애가 발생했을 경우, 전체 경로를 수신한 구간제어장치가 차량의 경로 테이블을 관리하고 전송하기 때문에 중앙제어장치의 장애 유무에 상관없이 차량을 목적지까지 이동시킬 수 있다. 또, 장애 복구 시 전체 차량 경로만 수신하면 다시 운행이 가능하기 때문에 차량의 비상 정지 없이 운행할 수 있게 된다.

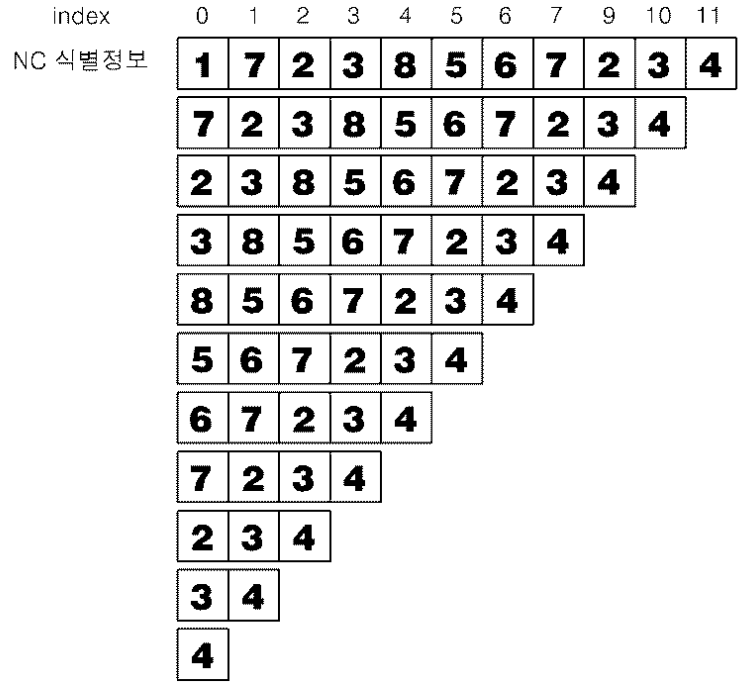


그림 8. 경로 테이블의 변경 과정

4. 결 론

본 논문에서는 중앙제어장치 장애 발생 시 피해를 최소화하기 위해 차량의 경로 정보를 테이블로 생성하여 구간제어장치 간 통신에 의해 차량 경로를 따라 이동할 수 있는 방법을 설명하였다. 종래 중앙제어장치에서 경로 정보를 생성한 것과 같이 차량의 전체 이동 경로 정보를 계산하여 그 정보를 해당 차량을 제어하는 구간제어장치에 전송한다. 차량의 이동은 구간제어장치간의 통신을 통해 초기 경로 정보에서 통과한 구간을 삭제해가며 진행 방향 구간제어장치에게 수정된 경로 정보를 전송한다. 즉, 중앙제어장치는 초기 전체 경로 정보만 전달한 뒤 차량의 위치를 감시하는 역할만 수행하게 되며, 경로에 따른 차량 이동은 구간제어장치에 의해 이루어지게 된다. 단, 차량 이동 중 경로가 변경될 경우 중앙제어장치는 새로운 전체 경로를 수정하여 해당 차량을 제어하는 구간제어장치에게 새로운 경로 정보를 갱신할 수 있도록 한다. 따라서, 중앙제어장치가 장애 상태가 되더라도 구간제어장치에게 전달된 차량의 경로 정보를 통해 차량이 목적지까지 안전하게 이동할 수 있으며, 중앙제어장치는 전체 차량의 위치에 따라 매번 경로 설정을 해줄 필요가 없게 되어 시스템 부하를 줄일 수 있다.

참고문헌

1. Markus Theoder Szillt(2001) "A Low-level PRT Microsimulation. Ph.D"

2. J . E D W A R D A N D E R S O N(2003), “Control of Personal Rapid Transit Systems”, Telektronikk, pp.108-116

3. Kyuwoong Choi and Jin S. Lee, "High-Level Vehicle Control Algorithms For PRT (Personal

Rapid Transit) System", Department of Electrical Engineering, POSTECH

4. Jack H. Irving(1978), Fundamentals of Personal Rapid Transit. Lexington Books

5. Igmar Andréasson(1997), "Quasi-Optimum Redistribution of Empty PRT Vehicles", 6th Conference on Automated People Movers