

☒ 연구논문

자율형 무인운반차를 위한 충돌회피동작의 생성(I) - Collision Avoidance Method for Autonomous Vehicle -

임 재 국*

Lim, Jae-Kook

이 동 형**

Lee, Dong-Hyung

Abstract

This paper describes the Autonomous Vehicles (AV) which are operated for their own tasks. There are chances of conflict resolution such as sharing the same path which can lead to the risk of a collision. This research represents some ways of negotiating the conflict resolution by generating cooperative actions. Negotiation while traveling the path is accomplished by using priority and by announcing the start time of the task. When there is a risk of collision, the AV tries to dissolve the situation of conflict resolution by concurrently adjusting mutual speed and by performing the algorithm of passing. If the speed of the AV cannot be adjusted, it measures the distance between the counterpart of the AV and an obstacle along the path. Then it judges either to proceed by passing the counterpart of the AV or to turn back after observing the current circumstances. The performance of the algorithm described above was proven by a simulator.

1. 서 론

차세대의 생산시스템은 제품이나 제조방식의 빈번한 변경에 대하여 신속하게 대응할 수 있는 초유연생산시스템이 요구되고 있다. 인텔리젔트 운송시스템(Intelligent Materials Handling System; IMHS)은 이러한 초유연생산시스템의 가공·조립·검사 등의 각각을 연결하는 운송시스템으로서 각광을 받고 있다.

본 연구에서는 IMHS의 수단으로서의 자율형 무인운반차(Autonomous Vehicle; AV)의 자율이동에 불가결한 경로계획중에서 이해충돌을 해소하기 위한 알고리즘을 제안한다. 여기서 말하는 이해충돌은 하나의 자원(경로)을 복수의 AV가 사용하려고 할 때 발생하는 충돌의 위험성을 말한다. 따라서 이 알고리즘은 작업장내에서 AV가 이동중에 타AV와의 충돌의 위험성이 있을 경우, 이동경로의 형상에 따라 몇가지의 충돌회피 동작패턴을 생성하는 것이다.

여기에서는 종래의 AGV(Automatic Guided Vehicle) 대신에 AV(Autonomous Vehicle)라는 용어를 쓰는데, AV는 자신의 판단에 의해 행동할 수 있고, 이동경로의 생성, 회피패턴의 결정

* 와세다 대학원 경영시스템공학과

** 대전산업대학교 산업공학과

등을 스스로 제어할 수 있는 자기제어가 가능한 특징을 가지고 있다. 따라서, 자율형 무인운반차(AV)는 종래의 운반작업을 수행해왔던 AGV와 로봇틱스분야에서 발전해온 자율이동로봇(Intelligent Mobile Robot)가 결합된 것으로 볼 수 있다.

본 연구의 목적은 AV간에 협상에 의한 자율적인 의사결정과 이동경로의 형상을 고려한 회피 동작의 생성으로 실시간 제어가 가능한 효율적인 경로계획을 행할 수 있는 이론적인 토대를 제공하는 것에 있다. 또한 AV의 두뇌 역할과 제안한 알고리즘의 유효성을 검증하기 위해 모의환경을 구축해 시뮬레이션을 행하였다.

2. AV의 경로계획문제에 대한 기존연구의 고찰

자율형 무인운반차문제 (Autonomous Vehicle Problem)는 Fig.1에 표시한 것처럼 크게 정적 경로계획(static path planning)과 동적경로계획(dynamic path planning)의 두가지 서브문제로 나누어진다.

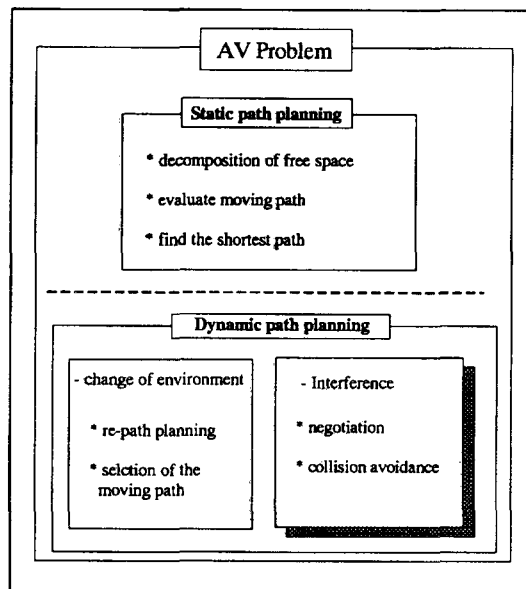


Fig.1 Research area

정적이동계획은 AV가 이동을 개시하기전의 정보를 기초로 이동경로를 생성하는 것을 말한다. 동적경로계획은 이동중에 변화하는 셀(cell)내의 환경, 예를 들면 파렛트나 부품박스등이 점유하는 면적의 변화 등에 대응하기 위해 행해지는 경로계획과 AV간의 간섭을 해소하기 위한 경로계획으로 나눌 수 있다. AV간의 간섭은 복수의 AV가 같은 경로를 사용하려고 할때 일어나는 이해충돌 위험성을 말한다.

경로계획문제는 복수의 이동로봇(AV)가 동일 환경내에 존재할때 이동환경이 동적으로 변화하는 경우를 생각하지 않으면 안된다. 따라서 전체의 이동로봇의 정보를 토대로 사전에 경로계획을 행하는 것은 복잡하고 굉장히 어려운 일이다. 이같은 이유로 그동안 이동로봇의 경로계획문제는 동적인 연구가 중심이 되어 왔다.

Kant는 각 시각에 있어 이동로봇의 행적을 이미 알고 있을 경우 2차원의 이동평면에 시간을 더한 시공간에 두고, 이동로봇이 점유하는 공간을 피하여 이동하는 경로계획을 제안했다 [1]. 또한 이와 비슷한 연구로서 Asama의 연구가 있다[2].

이밖에 이동로봇이 서로 경로를 방해한 경우에 생기는 데드로크나 충돌을 회피하기 위해 통신수단을 이용해 해결하는 연구와 통신을 이용하지 않고 상대위치정보나 교통 룰 등에 의해 해결하는 알고리즘 등이 발표되었다[3-8]. 최근에는 셀분할 방법을 이용해서 자동적으로 이동 경로를 생성해[9], 시스템내의 자율형 AV간에 협상(negotiation)에 의해 경합을 해소하는 알고리즘도 발표되었다[10-11].

이와같이 이동로봇의 경로계획에 관한 연구는 다양한 분야에서 다양한 알고리즘이 발표되어 왔다. 그러나 아직 실용화를 위해서는 해결하지 않으면 안되는 문제가 많이 남아 있으며 이 같은 연구를 실제 현장에 도입, 사용하도록 하는 연구는 아직 이론적인 검토에 그치고 있다.

3. 연구의 개요

본 연구는 AV가 작업장내를 이동중 다른 AV와 이해충돌이 발생했을 경우 행하는 충돌회피 문제에 중점을 둔다. 여기서는 AV간에 우선도(priority)에 의해 회피동작을 하게 되는 AV를 결정하는 알고리즘과 실제 회피동작을 하기 위한 충돌회피생성 알고리즘을 절차에 따라 기술한다. Fig.2는 본 연구에서 제안한 회피동작생성 알고리즘을 나타내고 있다.

이 알고리즘은 최단경로를 생각하지 않고, 우선 AV가 자신의 목표지점까지 충돌하지 않고서 이동하는 것에 중점을 두고 있다. 회피행동의 결과는 자신의 데이터베이스에 기록되고, 그 다음 회피행동에 있어 판단의 기초자료로 사용된다.

회피동작생성 알고리즘은 다음과 같은 순서에 의해 생성된다.

제 1 step : 초기 고정장애물 정보만을 기초로 한 실용 이동경로 생성모듈로서 이동 개시점 S와 목표지점 G를 연결하는 초기 이동경로를 생성한다. 이동경로의 쉘안에 이동을 할 수 없는 요소가 있는가 없는가에 관한 정보를 체크한다. 그 정보가 있을 경우는 그 정보의 제공자와 장애요소에 관한 정보를 교환하고, 이동의 시작 여부를 판단한다. AV는 이동하면서도 다른 부분의 센서에서 얻은 정보와 통신으로 얻을수 있는 정보를 기초로 하여 짧은 시간으로 감시 활동(시뮬레이션)을 반복하고, 자신이 갖고 있는 정보와 비교하여 새로운 정보는 자신의 데이터베이스에 기록한다.

제 2 step : AV는 이동할 때 항상 자신의 상태를 인식하고 아래에 표시하고 있는 세 개의 이동에 관한 목적중에서 어떠한 목적을 갖고 이동하고 있는가에 의해 이동의 중요도를, 작업을 위해 출발을 선언하는 순서에 의해 각자의 우선도를 생성한다. 이동중 충돌의 위험성이 발생하면 우선 이동의 중요도에 대한 우선도를 가지고 협상을 하며, 이 협상이 실패하였을 경우 출발선언에 대한 우선도를 가지고 협상을 하여 회피동작을 생성한다.

3 step : 고장 등의 원인에 의해 중요도와 우선도에 의한 협상이 불가능할 때에는 임기응변식 회피동작을 생성한다. 임기응변식 회피행동을 하는 주체는 이동과 통신에 의한 커뮤니케이션이 가능한 AV이다. 임기응변식 회피행동은 일시적으로 충돌만을 피하는 행동을 말한다.

3.1 우선도(priority)의 생성

여기서는 AV간에 이해충돌시 행하여지는 협상(Negotiation)에 관해 설명한다. AV는 이해충돌의 문제가 발생했을 때 우선도와 출발선언시간에 의한 우선도를 가지고 다른 AV와 교섭을 하여, 교섭에 의해 협조동작을 생성한다. AV가 가지고 있는 우선도에는 두 가지가 있다. 첫 번째는 이동하고 있는 목적에 의해 생성되는 이동의 중요도이다. 두 번째는 작업을 위해 출발

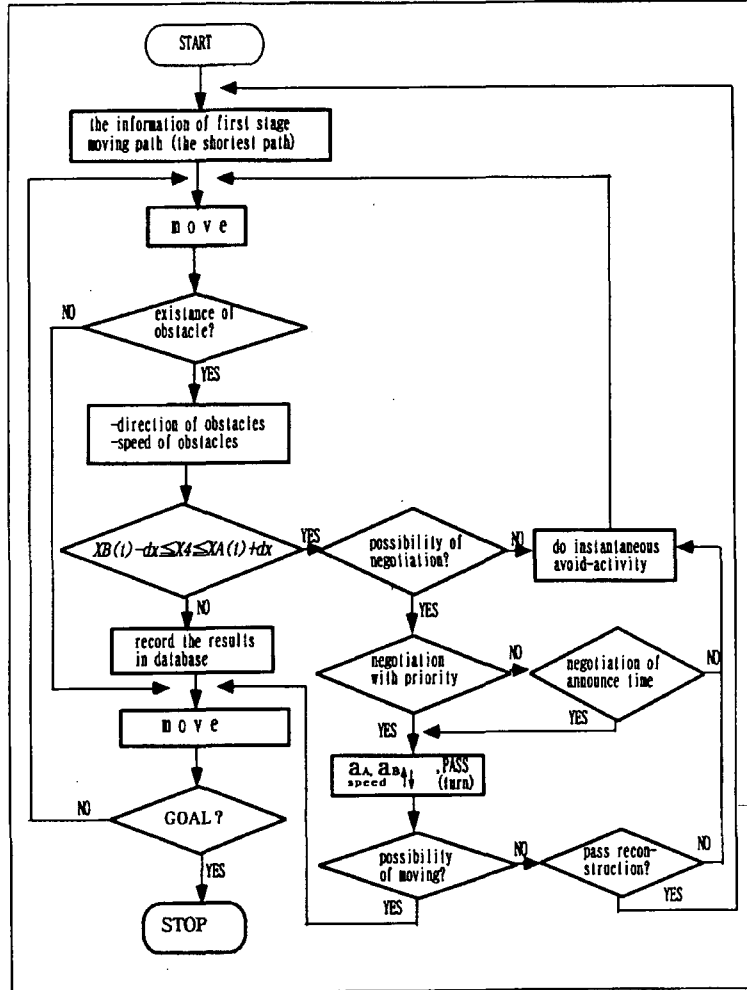


Fig.2 An algorithm of the proposed method

할 때의 출발선언 시간의 우선도이다. 이동의 중요도에 의한 우선도 생성은 Fig.3과 같이 통상 작업장내에서 이동하고 있는 AV의 목적을 다음과 같이 세가지를 가지고 있다는 가정하에 생성한다.

- 1위 : 운반중
- 2위 : 운반요구에 의해 작업장에 가는 중
- 3위 : 작업이 끝나고 복귀하는 중

AV는 이상과 같은 3가지의 목적에 각각 중요도를 부여하고 자신이 이동하고 있는 상태를 인식해 자신의 우선도를 생성한다.

작업 출발선언의 우선도는 AV가 출발하기 전에 반드시 시스템 내의 다른 AV에게 경로의 사용에 관한 선언을 하고 이동을 하는 것을 전제로 하여 그 선언 시간의 순서에 따라 우선도의 높고 낮음을 정하게 된다.

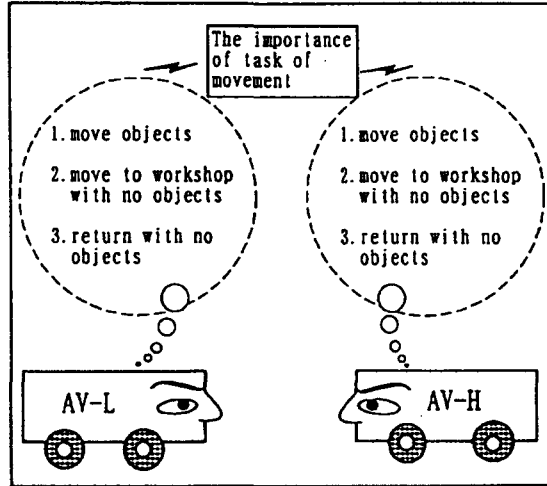


Fig.3 Generation of priority

3.2 이동경로의 형상을 고려한 실제 회피동작의 생성

여기서는 타 AV와 협상(negotiation)에 의해 의사결정을 하고난 후의 실제 행하는 회피동작에 관한 알고리즘을 설명한다. 본 연구에서는 AGV가 존재하고 있는 환경을 세가지 패턴으로 나누어 각각의 환경에 맞는 동작생성 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘에 의하면 먼저 중요도를 비교하고, 그 다음 우선도를 비교함에 따라 작업할당 순서가 반드시 정해지기 때문에 데드락(dead lock)상태는 발생하지 않는다.

<case 1 자유공간>

case 1은 자유공간에서의 회피동작 생성 예를 설명하고 있다.

Fig.4는 경로계획을 세울 때 고정 장애물의 간섭을 고려하지 않아도 되는 경우이다.

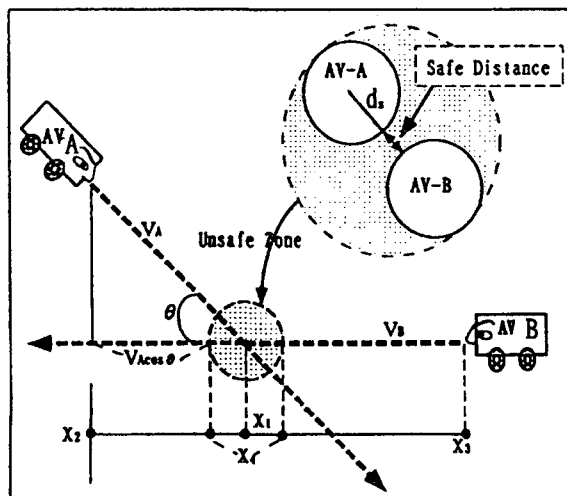


Fig.4 Avoidance of Moving Obstacle Free Space

AV는 센서에 의해 상대방의 속도와 이동 방향을 예측하고 다음과 같은 식(t ;시간의 변화)에 의해 충돌의 가능성을 판단한다.

$$X_A(t) = V_{Ao} \cos \theta t + \frac{1}{2} a_A \cos \theta t^2 \text{----- (1)}$$

$$X_B(t) = V_{Bo} - \frac{1}{2} a_B \cos \theta t^2 \text{----- (2)}$$

이 계산에 의해 다음과 같은 결과가 얻어지면 이해충돌이 발생하는 경우로 본다.

① 충돌

$$X_A(t) = X_B(t) \text{----- (3)}$$

② 안전지역의 침범

$$X_B - dx \leq X_A \leq X_A(t) + dx \text{----- (4)}$$

위와 같은 경우에는 상대방 AV와 제안한 알고리즘에 의해 협상(negotiation)을 시작한다.

<case 2 통로형 : 통로의 사이즈가 규칙적일 때>

Fig.5와 같은 환경하에서는 통로의 간격이 AV 두대가 회피행동을 할 수 있는지 없는지를 판단하기 위해 다음과 같이 고정좌표를 설정한다.

$$P_1(x_1, y_1), P_2(x_2, y_2), P_3(x_3, y_3), P_4(x_4, y_4), P_5(x_5, y_5), P_6(x_6, y_6)$$

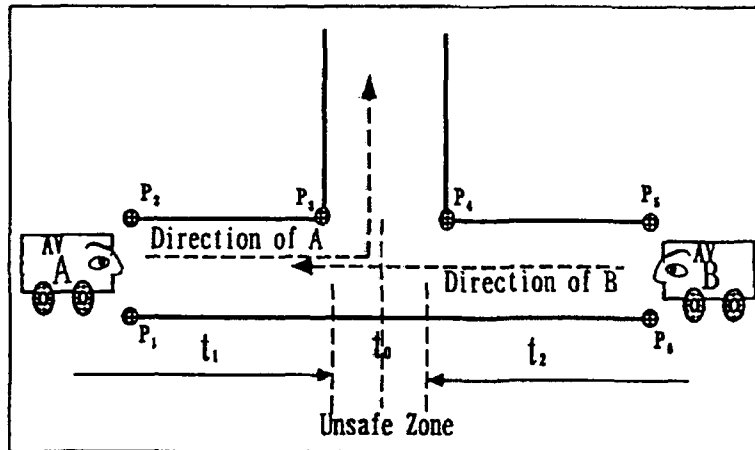


Fig.5 Avoidance of Moving Obstacle Regular Passage Size

다음은 P1-P6의 고정좌표를 가지고 다음과 같은 식에 의해 통로의 사이즈를 예측한다.

$$d_1 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}; (P_1 \sim P_2) \text{----- (5)}$$

$$d_2 = \sqrt{(x_4 - x_3)^2 + (y_4 - y_3)^2}; (P_3 \sim P_4) \text{----- (6)}$$

$$d_3 = \sqrt{(x_6 - x_5)^2 + (y_6 - y_5)^2}; (P_5 \sim P_6) \text{----- (7)}$$

AV는 통로에 진입하기 전에 통로의 사이즈를 예측하고 그 예측결과에 의해 회피행동의 패턴을 정한다. 만약 이해충돌이 발생하면 다음과 같은 두가지의 선택기로부터 회피행동을 선택한다. 이때 AV가 사전에 충돌하게 될 것을 알 수 있는 것은 각각의 AV는 이동하기전 이동목적지를 포함한 경로사용을 선언, 상대방의 목적지를 알 수 있기 때문이다.

- ① 이동 통로의 사이즈가 충분한 경우에는 턴에 의해 회피행동을 한다.
- ② 1대밖에 통과가 불가능한 경우에는 속도의 조절을 하거나 회피행동을 하거나, 경로를 재구축한다. 여기서 속도의 증감, 대기는 통로의 사용상황을 고려하여 결정하며, 회피행동은 정지하여 상대방이 통과하기를 기다리거나, 현재의 경로를 포기하고 다른 루트를 사용하는 것이 예상된다. 한편 경로의 재구축을 위해서는 현재의 지점을 스타트 포인트로 해 목적지까지의 이동가능한 경로를 생성하여, 그 중 최단경로를 사용한다.

<case 3 통로형 : 통로의 사이즈가 불규칙적일 때>

아래의 Fig.6과 같이 통로의 사이즈가 불규칙인 환경에서 이해충돌 상황이 발생할 경우에는 다음과 같이 회피행동을 생성한다.

먼저 식(8)을 가지고 포인트 1과 4의 좌표를 이용하여 직선을 구한다.

$$y - y_1 = \frac{y_4 - y_1}{x_4 - x_1} (x - x_1) \quad (x_4 \neq x_1) \quad \text{----- (8)}$$

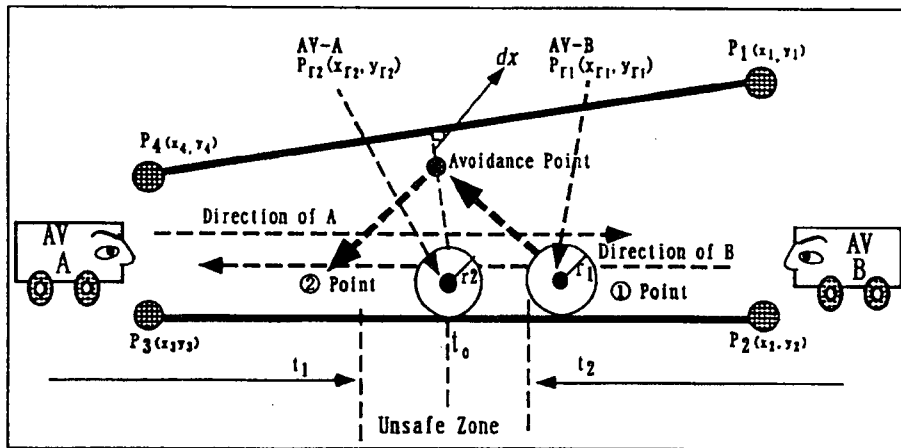


Fig.6 Avoidance of Moving Obstacle Irregular Passage Size

여기에서 $y = ax + b$ 에 대입하면 다음과 같이 식(9)와 식(10)이 얻어진다.

$$a = \frac{y_4 - y_1}{x_4 - x_1} \quad \text{----- (9)}$$

$$b = y_1 - \frac{y_4 - y_1}{x_4 - x_1} x_1 \quad \text{----- (10)}$$

여기에서 AV-A의 좌표 $P_2(x_2, y_2)$ 와 위에서 구한 포인트 1과 4의 직선과 거리 dx 를 식(11)과 같이 구한다.

$$dx = \frac{|ax_2 - y_2 + b|}{\sqrt{a^2 + 1}} \quad \text{----- (11)}$$

이 결과 식(12)와 식(13)과 같은 두가지 결과를 얻을 수 있다.

$$dx - r_2 \leq 2r_1 + a \quad \text{----- (12)}$$

$$dx - r_2 > 2r_1 + a \quad \text{----- (13)}$$

식(12)는 사이즈가 불충분하여 회피행동이 불가능한 경우를 나타낸다. 이 경우에는 속도의 조정으로 회피행동을 하든지, 아니면 경로를 재구축한다. 식(13)은 통로의 사이즈가 충분하여 회피행동이 가능한 경우이다.

위의 그림 6에서 AV-B가 협상의 결과 회피행동을 해야 한다고 가정하면 AV-A는 위험지역 내의 t_0 까지 진행한후 일단 대기하고, AV-B가 회피행동이 끝날 때까지 대기한다. 한편 AV-B는 회피포인트에 속도를 $\sqrt{2}v_0$ 만큼 높여 회피한후 ②지점으로 이동한다. AV-B의 위치가 지점 1에서 2로 이동하면 정상시의 상황으로 돌아간다. 이때 t_0 와 v_0 는 휴리스틱 룰에 의해 결정된다.

4. 정찰 시뮬레이터(reconnaissance simulator)의 개발

4.1 시뮬레이터의 역할

본장에서는 자율형 AV의 두뇌의 역할과 초기정보를 입력하기 위해 개발한 정찰시뮬레이터에 대해 설명한다.

AV는 이 시뮬레이터를 가지고 자신의 이동경로를 생성하고 이동에 관한 자기 최적의 경로 전략을 구축한다. 또한 이동중에도 항상 정찰시뮬레이터를 짧은 간격으로 반복해 작동하고 기존의 정보, 센서로부터 얻은 정보, 타 AV로부터 얻은 정보를 기초로 해 시스템내의 환경정보를 수집·수정한다. 정찰시뮬레이터는 이 정보를 가지고 주로 이동경로의 생성하거나, 이동장애물의 장애 움직임을 예측하여 이해충돌 여부의 판단, 회피동작의 생성, 게이트정보 등 환경지도정보를 관리한다.

정찰시뮬레이터의 또하나의 중요한 역할은 오퍼레이터가 정찰시뮬레이터의 인터페이스를 통하여 초기정보를 입력하는 것이다.

4.2 정찰시뮬레이터의 구성

정찰 시뮬레이터는 Fig.7과 같이 네개의 서브모듈로 구성되어 있다. “센서모듈”은 자신의 현재위치, 이동 장애물의 이동방향, 형상, 속도를 계측한다. AV는 이 정보와 타 AV와의 통신에 의해 얻은 정보를 의사결정의 기초데이터로 사용한다. “이동장애물 예측모듈”은 AV간의 정보교환, 센서모듈에서 얻은 이동장애물의 이동방향, 이동속도를 기초로 가까운 장애에 자신과 이동장애물과의 이해충돌이 있을지의 여부를 판단한다. “지도 정보모듈”은 고정장애물의 정보, 경로생성모듈에서 구축한 문(gate)정보를 관리한다. 만약 환경의 변화가 생기면 항상 새로운 정보와 교체한다. “이동경로 생성모듈”은 목적지까지의 최단 이동경로를 생성하고 도중에서 경로를 재구축할 필요성이 생기면 새로운 경로를 생성해 제공한다.

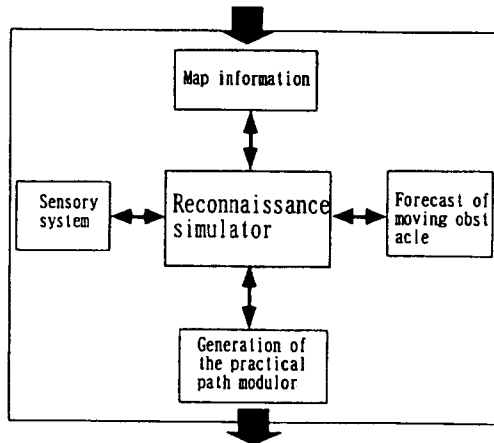


Fig.7 A module structure for a reconnaissance simulator

Fig.8은 감시 시뮬레이터의 화면을 표시하고 있다.

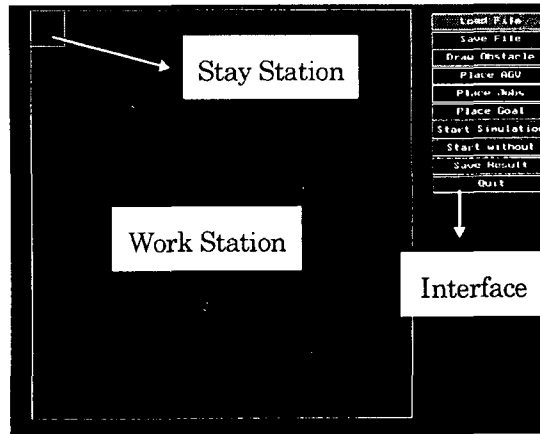


Fig.8 Initial Environment of System

5. 시뮬레이션

본 연구에서 제안한 알고리즘의 유효성을 검증하기 위해 다양한 장애물을 가진 몇가지 환경을 설정해 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였다. 여기에서는 시뮬레이션의 결과의 일례를 소개하고 결과에 대해서 고찰한다.

5.1 시뮬레이션의 조건

시뮬레이션은 다음과 같은 조건으로 행하였다.

- 작업자의 사이즈는 600×600으로 한다.
- 장애물은 다각형의 형태를 갖는다.
- 경로의 생성은 AV 1대가 행하는 것으로 한다.
- AV의 속도는 25로 하며 AV의 사이즈는 30으로 한다.
- AV, 작업장, 고정장애물, 작업지시를 초기 입력 정보로 한다.
- 협조작업은 고려하지 않는다.
- 대기하고 있을 때에는 통신을 하지 않는다.

5.2 시뮬레이션의 결과 및 고찰

시뮬레이션은 <표 1,2>와 같이 2개의 환경을 설정하여 행하였다. 즉, 각각의 AV가 이해충돌 없이 자신만의 작업계획에 기초해 작업을 수행했을 경우의 총합과, 이해충돌이 발생했을 때 이해충돌을 해소해 가면서 작업을 수행했을 경우를 대비해 놓았다.

우선 Type-A는 4개의 작업장에 3대의 AV를 투입할 때를 상정하여 행하였다. 각각의 작업이 끝나서 대기장소로 복귀할 때, 남겨진 작업은 가장 가까운 장소의 AV가 담당한다.

<표 1> In a situation of 3 AVs(Type-A)

The total working time of a task without interference among AVs	The total working time of a task with several AVs working at same time
359.10(sec)	363.80(sec)

<표 2> In a situation of 2 AVs(Type-B)

The total working time of task without interference among AVs	The total working time of a task with several AVs working at same time
180.30(sec)	196.60(sec)

Fig.9는 작업장을 표시하고 있는데 30초후의 상황을 나타내고 있다. 이 시점에서는 속도의 조절에 의한 회피패턴이 보여진다. Fig.10은 종료후의 흔적을 표시하고 있다. 이 시뮬레이션의 환경에서는 회피 포인트를 돌아서 회피하는 패턴, 속도의 조절에 의한 회피패턴을 보여주고 있다.

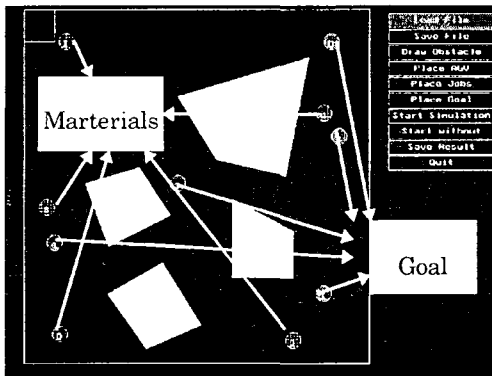


Fig.9 Schematic view of the simulation environment

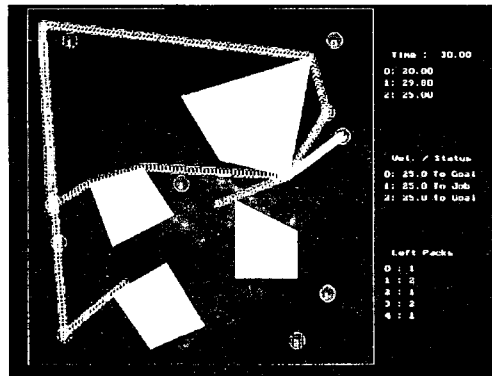


Fig.10 Simulation Result at T=30second

Type-B는 2개의 일을 2대의 AV가 행할 때 Fig.11이 표시하고 있는 것처럼 서로의 최단경로가 1대밖에 통과하지 못하는 통로의 환경을 설정하여 행하였다.

Fig.12는 18초후의 상황을 나타내고 있다. 이 시점에서는 AV서로간의 협상에 의해 회피행동이 시작한다. 여기서서는 1대 밖에 통과하지 못하기 때문에 우측의 AV가 새로운 경로를 생성한다. Fig.13과 Fig.14는 AV가 협상에 의해 다이내믹에 새로운 경로를 생성하여 이동하고있는 모양을 표시하고 있다.

이 시뮬레이션의 결과, 각각의 AV가 자신의 경로계획을 가지고 동시에 작업을 수행했음에도 회피행동을 위해 지체된 시간 이외에는 큰 문제없이 작업이 가능하다는 것을 알 수 있다. 물론 좀더 복잡하고, 많은 수의 AV가 동시에 존재하는 환경하에서는 여러 가지 해결해야할 문제점이 발견되겠지만, 작업대상물에 타임윈도우(time window)를 설치하거나, 협조작업에 의해 해결이 가능할 것이라고 생각된다.

이 실험에서 알 수 있는 가장 큰 특징으로서는 이와 같은 시뮬레이션에 의해 사전에 적합한 AV의 수를 결정할 수 있다는 점이다. 예를 들어 2대의 AV를 운용하면 충분할 것이라는 기존의 판단을 시뮬레이션에 의해 변경할 수 있게 한다.

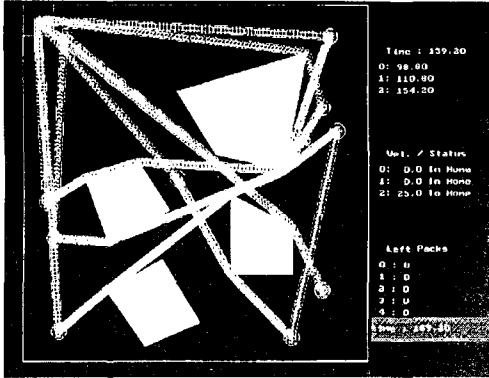


Fig.11 Smulation Result Finished

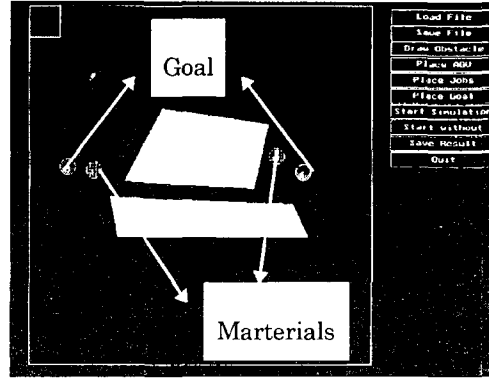


Fig.12 Schematic view of the simulation environment

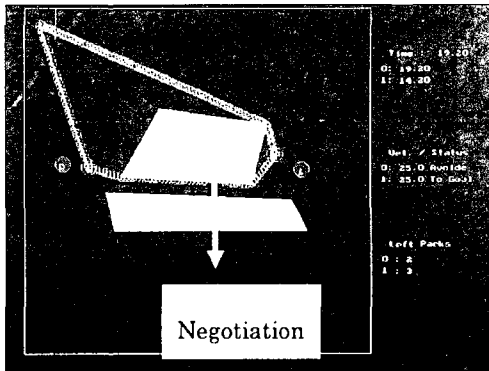


Fig.13 Smulation Result at T=18second

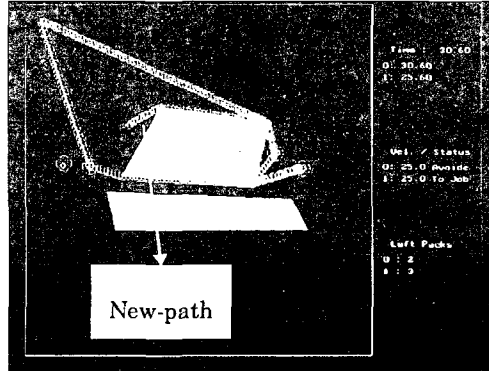


Fig.14 Simulation Result at T=30second

6. 결론

이상과 같이 경로의 사용에 관한 경합의 해소, 충돌회피동작을 생성한 알고리즘에 대해 제안했다. 본 논문에서 제안한 알고리즘에 의해 주로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 정찰 시뮬레이터에 의해 장애물의 장애의 움직임을 예측하는 것에 의해 협조동작의 생성을 할 수 있고, 보다 현실적인 경로계획을 행할 수 있다.
- 2) 속도 벡터를 고려하지 않은 경우와 비교해 회피행동패턴의 선택의 간격을 넓힐 수 있게 되었다. 또한 시간의 개념을 도입하는 것에 의해 보다 현실적인 제약조건을 고려할 수 있다.
- 3) 제안한 회피행동 생성알고리즘에 의해 어떠한 환경에서도 이해충돌의 해소를 할 수 있다. 또한 돌발적인 상황하에서도ダイナ믹하게 경로의 재구축을 할 수 있다.

후속연구에서는 시뮬레이션 규모의 보다 합리적인 결정이나 AV의 숫자의 사전결정을 뒷받침하기 위한 실험 등을 보완할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] K. Kant and S. Zucker, Planning Collision-free Trajectories in Time-varying Environments, Proc. of Int. Conf.-on Robots and Automation, pp.1644-1649, 1988.
- [2] H. Asama, Collision Avoidance using Communication between Autonomous Mobile Robots, JRSJ, No.14, pp. 961-967, 1996.
- [3] T. Tsubouchi, Planning and Navigation by a Mobile Robot in the Presence of Multiple Moving Obstacle and their Velocities, JRSJ, Vol.12, pp.1029-1037, 1994.
- [4] A. Inoue, On-line Motion Planning of an Autonomous Mobile Robot to Avoid Multiple Moving Obstacles Based on the Prediction of Their Future Trajectories, JRSJ, No.10, pp. 444-449, 1992.
- [5] S. Prebuti and S. Yuta, Consideration on the Cooperation of Multiple Autonomous Mobile Robots, Internatinal Workshop on Intelligent Robots and Systems(IROA90), pp.59-63, 1990.
- [6] T. Shibata, Coordinative Behavior by Genetic Algorithm and Fuzzy in Evolutionary Multi-Agent System, IEEE, pp.760-765, 1994.
- [7] J. Wang, Deadlock Detection and Resolution in Distributed Robotic Systems, Proc. of JAPAN/USA Symposium on Flexible Automation, pp.673-677, 1992.
- [8] D. D. Grossman, Traffic Control of Multiple Robot Vehicles, IEEE J. of Robotics and Automation, 4(5), pp.491-497, 1988.
- [9] Jae-Kook Lim and T. Takahashi, An Approach to Dynamic Path Generation Based on Cell-decomposition, JSME The 4th Transportation and Logistics Conference, 1995.
- [10] Jae-Kook Lim and T. Takahashi, An Approach to the Algorithm of an Instantaneous Avoidance-activity Generation Based on Priority & Dangerous Degree, JSME Conference 96, 1996.
- [11] Jae-Kook Lim and T. Takahashi, An Approach to Reconstruction of Moving Path Based on Reconnaissance Simulator, JSME The 5th Transportation and Logistics Conference. 1996.