

컨테이너용 AGV의 작업할당과 동적 경로계획

진강규† · 소명옥* · 이현식**

(원고접수일 : 2004년 8월 16일, 심사완료일 : 2005년 3월 31일)

Job Deployment and Dynamic Routing for Container-AGVs

Gang-Gyoo Jin† · Myung-Ok So* · Hyun-Sik Lee**

Abstract : In recent years, AGVs(Automated Guided Vehicles) have received growing attention as a subsystem of the integrated container operating system which enables unmanned control, improvement of job reliability, accuracy and productivity. Therefore, a number of works have been done to enhance the performance AGVs. In this paper, job deployment and a dynamic routing control system composed of supervisor, traffic controller, motion controller and routing table are discussed. A simple job deployment scheme and an efficient dynamic routing algorithm incorporating with the deadlock prediction and avoidance algorithm are investigated.

Key words : Container terminal(컨테이너 터미널), AGV(무인운반차), Deadlock(교착상태), Job deployment(작업할당), Routing(주행), Routing control system(주행경로 제어시스템)

1. 서 론

국제간 컨테이너 물동량의 증가와 터미널 수요의 다양성에 대비하기 위하여 해운 선진국들을 중심으로 처리시설을 확충하고 신규 터미널을 건설할 계획을 추진하고 있으며, 일부에서는 8,000 TEU(Twenty-foot Equivalent Unit)급 접보 컨테이너 전용선의 화물을 처리할 수 있는 포스트 파나막스급 QC(Quay Crane)과 차세대 하역장비의 도입, 선박과 CY(Container Yard)간의 무인 컨테이너 수송, 운영의 자동화를 실현시켜

제 3세대형 터미널로 발전할 것을 계획하고 있다. 접보 컨테이너선이 체항하게 될 경우의 그 처리물량은 현재 부두에서 감당하는 물량의 두 배나 되므로 기존의 QC와 트레일러 수송 방식으로는 감당하기가 어렵고 AGV(Automated Guided Vehicle) 사용을 고려할 수밖에 없다.

자동화된 터미널에서 AGV는 여러 장비들과 상호협동하면서 작업하기 때문에 그 역할은 대단히 중요하다. AGV의 효율적인 사용은 터미널 전체 시스템의 효율과 직접적인 연관성을 갖게 되고, 처리물량을 늘이기 위해 복잡한 선로를 계획하고

† 책임저자(한국해양대학교 IT공학부), E-mail: ggjin@mail.hhu.ac.kr, T : 051)410-4341

* 한국해양대학교 선박전자계공학부

** (주)한화 정밀유도기술연구소, 유도제어팀 연구원

AGV의 투입 대수를 늘이면 작업내용이 복잡해져 운영 자체도 쉽지 않다. 따라서 AGV 사용과 관련하여서 작업 할당(Job deployment), 주행(Routing), Deadlock 문제 등이 발생한다.

AGV의 작업할당과 관련하여서 Chen⁽¹⁾은 AGV 할당을 위해 혼합정수계획 모델을 얻고 수송, 재고조사, 차량비용의 목적함수를 최소화 하는 문제를 다루었고, Hashmi⁽²⁾은 작업 스케줄링에 유전 알고리즘을 적용하는 문제를 다루었으며, Leong⁽³⁾은 AGV 할당을 PMDS(Prime-Mover Deployment Scheme)을 기반으로 한 MCF(Minimum Cost Flow) 문제로 정형화하였다. 한편 여러 대의 AGV를 운영함에 있어서 상호간의 간섭을 최대한으로 줄이면서 충돌을 피할 수 있는 주행경로를 찾는 시스템이 필요하게 된다^{(4),(5)}. Lee 등⁽⁴⁾은 실시간 트래픽제어 기법을 제안하였고, 여기서 비충돌 최단이동시간을 보장하는 경로를 찾는 문제를 다루었다. Taghaboni-Dutta와 Tanchoco⁽⁵⁾는 증량적 경로계획(Incremental route planning)법을 다루었다. 또한 AGV 운전 중에 Deadlock이 일어나면 시스템의 전체 또는 일부가 더 이상 운전할 수 없는 상황에 빠지게 되므로 이를 예측하고 회피하는 전략이 필요하다^{(6),(7)}.

따라서 본 연구에서는 단순하면서도 실시간 할당이 가능하고, 돌발 상황이 발생했을 경우에도 유연하게 대처할 수 있는 작업할당 문제를 다루고 또 관리기, 트래픽 제어기, 운동 제어기, 경로 테이블로 구성되는 주행경로 제어시스템을 제안한다. 주행경로 제어시스템에는 시스템의 상태변화에 따라 동적으로 경로를 계획하는 증량적 경로계획법을 도입하며, 단순하면서도 효과적인 Deadlock의 예측과 회피법을 적용한다.

2. 컨테이너 터미널

2.1 AGV와 주행선로

제 3세대형 컨테이너 터미널은 처리물동량을 높이기 위하여 AGV 도입이 필수적이며, Fig. 1은 터미널 배치도의 일례를 보여준다.

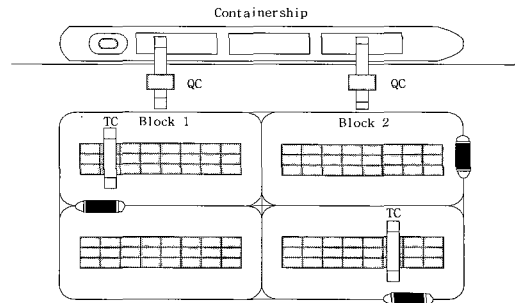


Fig. 1 Layout of the 3rd generation container terminal

AGV는 부두의 전용선과 CY 간에 컨테이너를 이송하기 위해 사용되는 무인 수송장치로서, TEU로 규격화된 컨테이너들을 실어 나를 수 있도록 설계된다. AGV는 자체적으로 내장된 주행 및 제어 시스템을 통해 동작되고 무선을 통해 터미널 운영시스템과 정보교환을 할 수 있도록 설계된다. 운영시스템은 각 AGV의 속도와 위치, 특정 선로지역에서의 트래픽 상황들을 실시간으로 감시할 수 있다. 일반적으로 AGV는 출발과 정지 시 외에 정속으로 주행하도록 설정될 수 있으며, 속도는 사용자가 미리 지정할 수 있다. Photo. 1은 현대중공업에서 설계 제작한 AGV⁽⁸⁾를 보여주고 있다.

주행선로는 유도선(Guide line)과 센서(Transponder) 등으로 구성되고, 특히 두 제어점 사이의 경로를 경로분선(Path segment)이라 한다. Fig. 2는 주행선로의 일례를 보여주고 있다. 주행선로는 정적경로 계획을 선택하느냐 아니면 동적경로 계획을 선택하느냐에 따라 그 복잡

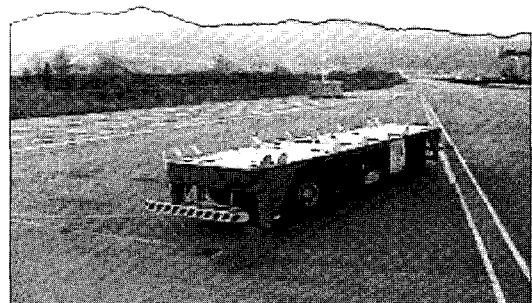


Photo. 1 AGV on trial(HUNDAI)

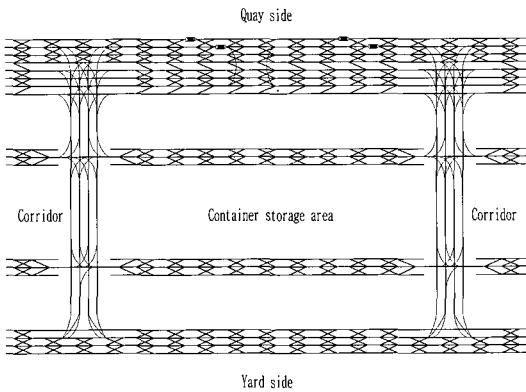


Fig. 2 AGV path line

성이 달라진다. 처리 물량이 적은 곳에서 흔히 채용되는 정적경로 계획은 이동해야할 경로를 미리 정할 수 있기 때문에 선로가 비교적 단순하지만, 반대로 동적경로 계획은 진행도중 다른 AGV와의 관계에 따라 방향을 변경할 수 있게 되므로 복잡한 선로를 요구하게 된다.

2.2 양적하 작업 절차

선박의 입항 수일 전에 플래너는 해당 선사에서 제공하는 자료와 부두 설비로부터 미리 양적하 작업계획을 수립하게 된다. 양하작업(Unloading/Drop-off Job) 시에는 각 Bay에 할당된 QC가 컨테이너를 집어 AGV에 적재하면 AGV는 양하 작업 계획서에 따라 지정된 CY로 가게 되고 도착하면 YC(Yard Crane)가 이를 집어올려 다단적하게 된다. 한편 적하작업>Loading/Pickup Job) 시에는 YC가 컨테이너를 집어 AGV에 탑재하면, AGV는 접안되어 있는 선박 가까이의 QC가 있는 곳으로 가게 되고 QC가 이를 집어 선박의 선창 또는 데크에 쌓게 된다.

3. AGV 작업할당과 동적 경로계획

3.1 AGV 작업할당

QC에서 처리한 컨테이너를 AGV에 적절히 할당해주는 작업할당 문제는 작업의 능률을 높이기 위해 필수적으로 고려되는 사항으로서, 가급적 단

순하면서도 실시간 할당이 가능하고, 돌발 상황이 발생했을 경우에도 유연하게 대처할 수 있어야 한다.

3.1.1 작업할당을 위한 규칙

여기서 다루는 알고리즘은 PMDS⁽³⁾를 기반으로 하며 AGV가 작업을 수행하기 위해 QC 대기 시간이 최소가 되도록 할당한다. 각 QC에서 처리 예정인 n개의 작업(양하 또는 적하)을 가정할 때 이 방법은 먼저 첫 k개의 작업을 각 AGV에 할당하고, 나머지는 QC의 매 작업시점을 기준으로 대기 시간이 가장 짧은 AGV에 할당하게 된다. 양하 작업일 경우에는 어떤 작업의 예정 양하시각에 가장 가깝게 QC에 도착하는 AGV에 작업이 할당되고, 반대로 적하작업일 경우에는 예정 적하시각에 가장 가까이에 부두에 도착하는 AGV에 작업이 할당된다.

이 방법은 한 번에 하나의 작업을 할당하게 되고 모든 작업은 QC 쪽에서 가장 빠른 예정 양하 또는 적하 시각을 기반으로 선입선출(First-In First-Out) 방식으로 정해진다. Fig. 3은 작업할당 예를 보여준다.

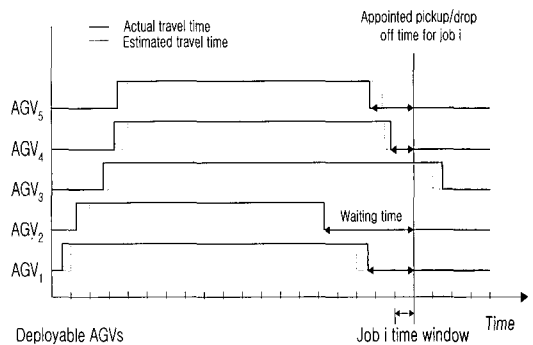


Fig. 3 Example of an AGV choice for the ith job

3.1.2 작업 처리 예약시각

양적하 작업은 다음과 같은 패턴으로 진행된다. 각 QC마다 첫 k개의 작업이 할당되어 매 원도시간마다 하나씩 처리되고, 그 이후의 작업은 이전 k개의 처리상황에 따라 결정된다. k+1번째 작업은 1번째 작업이 실제로 완료될 때 개시되고, k+2번째 작업은 2번째 작업이 완료될 때 개시되

는 순서로 처리된다. 따라서 각 QC의 i 번째 작업의 처리 예약시각은 다음 식으로 계산된다.

$$\phi_i = \phi_0 + (i-1)T, i \in [1, k] \quad (1a)$$

$$= kT + (i-k) \text{ 번째의 실제 양하/적하 시각}, \\ i \in [k+1, k+2, \dots] \quad (1b)$$

여기서 ϕ_0 는 QC에서 양하/적하 작업을 처음 개시한 시각을, i 는 작업순서를, T 는 원도시간을 의미한다.

3.1.3 최단 대기시간 기반의 작업할당

AGV의 대기시간의 추정치를 계산하기 위해서는 우선 현재 AGV가 어떤 상태인가를 알고 있어야 한다. AGV는 대개 다음 4가지 상태, 즉 Retrieving, Delivering, Going to park, Idle/Parked 중 하나에 있게 된다. 이미 다음 작업을 Retrieving 중이거나 다음 작업을 할당받은 경우를 제외한 나머지 3가지 상태에 있는 AGV에만 할당된다.

i 번째 작업 J_i 가 양하 작업인 경우에 대기시간은 다음과 같이 계산된다. AGV가 Delivering 중일 때 J_i 에 대한 대기시간의 추정치 σ_i 는 다음과 같이 계산된다.

$$\sigma_i = \phi_i - (d_1 + d_2) / \bar{v} - \bar{u} \quad (2)$$

여기서 ϕ_i 는 J_i 에 대한 양하/적하 예약시각, $d_1 = \text{dist}(\text{AGV 현재위치}, J_i \text{의 목적지})$, $d_2 = \text{dist}(J_i \text{의 목적지}, J_i \text{의 출발지})$, \bar{u} 는 J_i 에 대한 QC의 평균 작업시간, $\text{dist}(p, q)$ 는 두 위치 p, q 사이의 거리, \bar{v} 는 AGV의 평균속도를 의미한다. AGV의 평균속도는 실제현장에서 장시간 관측되는 운전 데이터를 기초로 결정된다.

AGV가 지정된 주차공간으로 진행하고 있을 때, 즉 Going to park 상태일 때의 σ_i 는 다음 식으로부터 계산된다.

$$\sigma_i = \phi_i - (d_1 + d_2) / \bar{v} \quad (3)$$

여기서 $d_1 = \text{dist}(\text{AGV 현재위치}, \text{AGV의 목적지})$, $d_2 = \text{dist}(\text{AGV의 목적지}, J_i \text{의 출발지})$ 이다. AGV가 idle 상태일 때의 σ_i 는 다음 식으로부터

계산된다.

$$\sigma_i = \phi_i - d_1 / \bar{v} \quad (4)$$

여기서 $d_1 = \text{dist}(\text{AGV 현재위치}, J_i \text{의 출발지})$ 이다.

적하작업인 경우의 대기시간 계산은 양하작업의 경우와 유사하며, 다만 주행거리는 $\text{dist}(J_i \text{의 출발지}, J_i \text{의 목적지})$ 만큼 길어지고, 대기시간은 YC의 평균 운전시간만큼 짧아지게 된다.

앞의 식으로부터 대기시간이 계산되면 작업 J_i 에 할당될 AGV의 선택은 다음 식을 통해 이행된다.

$$\arg \min_{k \in \Omega} [\sigma_k] \quad (5)$$

여기서 Ω 는 i 번째 작업에 할당 가능한 AGV 집합을 의미한다. Fig. 4는 작업할당 과정을 도식적으로 보여준다.

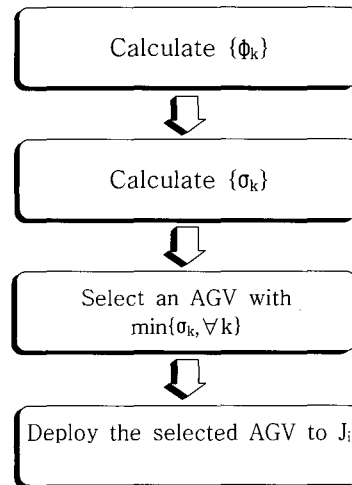


Fig. 4 AGV allocation based on minimum waiting time

3.2 동적 경로계획

AGV가 할당되고 컨테이너가 탑재되면 다음은 목적지까지 이동할 수 있도록 이동경로를 계획해주는 알고리즘이 필요하다. 이때 AGV 상호간의 간섭을 최대한으로 줄이면서 충돌을 피할 수 있도록 해줄 필요가 있다.

3.2.1 경로네트워크 모델

AGV 시스템의 네트워크는 그래프 $G = (V, E)$ 로 정의될 수 있다. 여기서 V 와 E 는 각각 노드와 방향성 링크의 집합을 뜻하고, $p \in V$ 는 노드를, $(p, q) \in E$ 는 노드 p 에서 노드 q 로의 링크(AGV의 이동경로)를 나타내 준다. 노드 사이에 방향성 링크가 연결되어 있으면 인접하다고 말하며, 노드 p 와 인접해 있는 모든 노드 집합을 $adj(p)$ 로 나타낸다. 경로네트워크의 일반적 가정들은 다음과 같다:

- 경로네트워크에서 경로분선들의 길이는 일정하다.
- 한 경로분선에는 오직 한 대의 AGV만이 위치한다.
- 경로의 방향은 단방향이다.

3.2.2 경로계획 알고리즘의 구조

경로계획 시 선택된 경로는 AGV 상호간의 간섭을 최대한으로 줄이면서 충돌을 피할 수 있어야 하고 또한 효율적인 운영을 보장할 수 있어야 한다. 동적 경로계획은 트래픽 상황과 경로의 구조에 따라 이동경로를 적절히 변경하면서 목적지를 향하게 되는데, 경로계획 결정은 시스템의 현재 상황에 기초하여 결정된다. 제안하는 주행 경로 제어시스템은 Fig. 5와 같은 구조로 되어 있다.

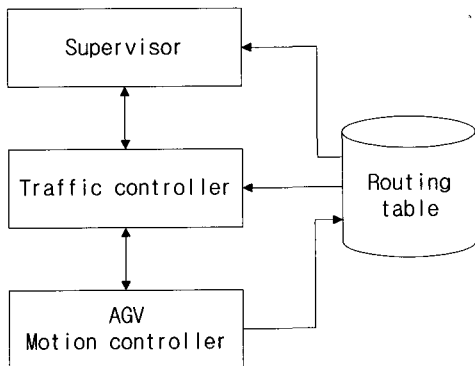


Fig. 5 AGV routing control system

상위 시스템인 관리기(Supervisor), 중간단계의 트래픽 제어기(Traffic controller), 하위단계

인 운동 제어기(Motion controller) 그리고 경로 테이블(Routing table)로 구성된다. 관리기는 AGV의 임무부여, Deadlock 방지, 감시 등의 역할을 하고, 트래픽 제어기는 이후에서 다물 증량적 경로계획 알고리즘을 기반으로 동작한다. 운동 제어기는 AGV의 정지, 등속 및 가감속 동작을 직접 제어한다.

3.2.3 트래픽 제어 알고리즘

AGV가 어떤 노드에 도달하면 다음으로 이동할 노드를 찾게 되는데, 이때 전체 트래픽 상황을 고려하는 중앙집중식, 현재의 노드와 인접한 모든 노드 사이의 지역 트래픽 상황만을 고려하는 지역식, 이 두 가지를 결합한 병합식이 있다.

중앙집중식은 경로결정에 네트워크의 완전한 정보를 이용하고 있기 때문에 최적경로를 계획할 수 있는 장점은 있지만 돌발상황으로 인해 계획된 경로를 변경하게 되면 더 이상 최적이지 못하고, 특히 네트워크 규모가 크면 응답시간이 길어지는 단점을 가진다. 한편 지역식은 알고리즘이 단순해서 응답시간이 짧고, 의사결정은 다음 노드에만 집중되기 때문에 매우 강인하다는 장점이 있지만, 전체 주행경로를 최적화하는 의미에서 경로결정이 아니라는 단점을 가지게 된다.

한편 증량적 경로계획 알고리즘은 이 두 방법의 단점을 부분적으로 보완한 것으로서 다음 노드 결정에 지역 트래픽 상황뿐만 아니라 전체 트래픽 상황을 동시에 고려하게 된다. 비록 최적경로를 보장하지는 못하지만 지역식과 같이 강인하고 응답시간이 길지 않다는 장점을 가지고 있다.

두 인접 노드 p, q 의 링크 (p, q) 에 대한 주행 시간의 추정치는 다음과 같이 계산된다.

$$t_{pq} = \lambda_{pq} + \delta_q \tag{6}$$

여기서 p 와 q 는 각각 현재의 노드와 다음 노드를, λ_{pq} 는 AGV가 노드 p, q 사이를 지나는데 소요되는 시간을, δ_q 는 노드 q 에 대한 시간지연의 추정치를 뜻한다. 만약 시작노드 p 에 인접한 모든 노드 q 에 대해 t_{pq} 를 얻는다면 극부적인 목적은 다음 식과 같이 최단 주행시간을 갖는 노드를 찾는 문제가 된다.

$$\arg \min_{q \in \text{adj}(p)} [t_{pq}] \quad (7)$$

식 (6)에서 첫째 항 λ_{pq} 는 다시 다음과 같이 정의된다.

$$\lambda_{pq} = \max\left[\frac{\text{dist}(p,q)}{v}, t_j^*\right] \quad (8)$$

여기서 $\text{dist}(p,q)$ 는 노드 p,q 사이의 거리, v 는 AGV의 속도를, t_j^* 는 해당 AGV 직전에 이동할 AGV의 링크 (p,q) 에 계획되어 있는 최종 출발시간을 뜻한다. 또 두 번째 항인 δ_q 는 링크 (p,q) 사이의 트래픽과 노드 q 로 향하는 모든 다른 트래픽에 영향을 받게 되는데, 그 근사값은 다음 식으로 계산된다.

$$\delta_q = f_{pq} \times \mu + \sum_{\substack{V(p,q) \in I(q) \\ (r,q) \neq (p,q)}} \min[f_{pq}, f_{rq}] \times \mu \quad (9)$$

여기서 f_{pq} 는 링크 (p,q) 사이의 총 트래픽 흐름, I 는 노드 q 에 들어오는 링크의 집합, μ 는 노드 통과시간을 의미한다.

다음 노드의 후보 노드로부터 목적지까지 걸리는 주행시간의 추정치는 다음 식으로 계산된다.

$$\tau_{qD} = \frac{d_{qD}}{v} + \sum_{k=q}^D w_k \quad (10)$$

단, d_{qD} 는 노드 q 에서 목적지 D 까지의 최단경로 거리이고, w_k 는 노드 k 의 가중치를 뜻한다. 가중치 값으로 이 노드에서 AGV 한 대가 평균적으로 대기하는 시간을 가지고 사용할 수 있다.

따라서 만약 노드 q 가 AGV가 이동할 다음 노드로 선택될 경우에 현재위치부터 목적지까지의 총 주행시간의 추정치는 다음과 같이 계산된다.

$$T_{pD}^q = \lambda_{pq} + \tau_{qD} \quad (11)$$

노드 p 의 모든 인접노드에 대해 T_{pD}^q 가 계산되면 AGV는 가급적 총 주행시간이 가장 짧은 경로로 이동되어야 하므로 식(11)이 최소가 되는 노드를 선택하면 된다.

$$\arg \min_{q \in \text{adj}(p)} [T_{pD}^q] \quad (12)$$

4. Deadlock 예측 및 회피 알고리즘

AGV의 경로제어 방법에 따라 선로교차, Shop, 싸이클과 같은 형태의 Deadlock이 일어날 수 있다⁽⁷⁾. 이 중에서도 싸이클 Deadlock이 해결되어야 하는 실질적인 문제로서, 적절한 회피 알고리즘이 요구된다.

4.1 Deadlock 탐지법

AGV 시스템은 Deadlock이 발생할 때 이에 대처할 수는 메커니즘을 가지고 있어야 한다. 일반적으로 AGV 제어 시스템의 샘플링 시간이 작으므로 이 시간 내에 Deadlock을 예측하기 위해서는 알고리즘이 단순하면서도 연산부담이 적어야 한다. Moorthy 등⁽⁶⁾은 1 구간 간격 Deadlock 예측을 제시하고 있는데, 본 연구에서도 이를 적용한다. 이 예측법은 Fig. 6의 흐름도로 표시할 수 있다.

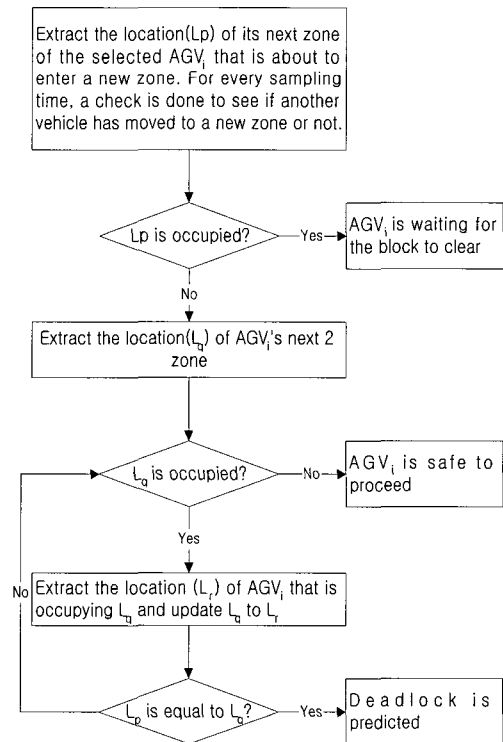


Fig. 6 Algorithm for one-zone step deadlock prediction

Fig. 7은 이 알고리즘의 동작을 예시적으로 보여주고 있다. AGV₁이 이제 막 노드 2로 진입해 갈려는 시점에서 Fig. 6의 알고리즘을 적용하면, AGV₁은 노드 2가 비어있는지의 여부를 확인하게 되는데 현재 비어있음을 알게 된다. 그러면 다음 노드(노드3)를 확인하게 되고, 여기에는 AGV₂가 점유하고 있으므로 AGV₂의 다음 노드(노드4)를 조사하게 된다. 여기에도 AGV₃가 점유하고 있으므로 AGV₃의 다음 노드(노드5)를 조사하게 되고 여기에는 AGV₄가 있음을 알게 된다. 마지막으로 AGV₄의 다음 노드(노드2)가 AGV₁이 진입하려는 노드와 동일함을 알게 된다. 만약 이러한 상황에서 노드2에 진입하게 되면 순환 Deadlock이 일어나게 된다. 따라서 다음 단계에서 Deadlock이 발생할 것임을 예측하게 된다.

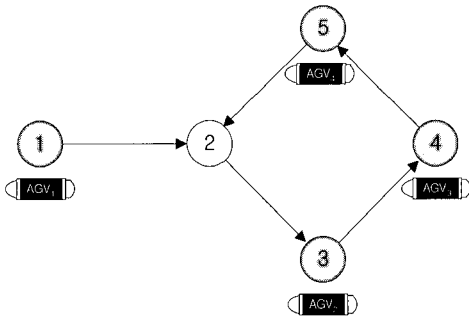


Fig. 7 Example of a cycle deadlock

4.2 Deadlock 회피방법

본 연구에서는 Deadlock이 예측되면 이를 회피하는 방법으로 두 가지 전략을 고려한다.

4.2.1 재경로 탐색

AGV의 이동가능 경로는 공간적으로 일정한 범위 내에서 제한을 받게 된다. 두 대 이상의 AGV가 동시에 Deadlock 영역을 진입하지 않도록 하는 것은 사전 예방책이 될 수 있으며, 이 전략은 특정 AGV로 인해 Deadlock이 예측되면 Deadlock 예상 영역으로의 진입을 제한하고 경로를 재설정해서 Deadlock을 피하도록 한다.

4.2.2 대기후 진행

여러 대의 AGV가 운영되는 상황에서는 가능한

Deadlock이 발생하지 않는 경로를 탐색한다 하더라도 예기치 않은 상황으로 인해 Deadlock이 발생할 수 있다. 특정 AGV가 어떤 지역으로 진입하게 함으로써 Deadlock이 일어날 것으로 예상되는 경우, 그 자리에서 정지해서 최소한 한 대의 AGV가 Deadlock 예측지역으로부터 빠져나올 때까지 기다리도록 한다.

5. 결 론

본 연구에서는 AGV 사용과 관련해서 발생하는 작업할당, 주행, Deadlock 문제를 다루었다. AGV 작업할당에는 단순하면서도 실시간 할당이 가능하고, 돌발 상황에 유연하게 대처할 수 있는 경험적인 방법을 사용하였고, 여러 대의 AGV를 운영함에 있어서 동적으로 경로를 계획하는 증량적 경로계획법을 도입하였다. 또한 운전 중에 Deadlock의 예측하고 효과적으로 회피할 수 있는 방법에 대해 살펴보았다. 현장 실험을 통해 알고리즘의 효율성을 살피는 문제는 차후에 해결되어야 할 연구과제로 생각한다.

참고문헌

- [1] M. Chen, "A Mathematical Programming Model for AGVs Planning and Control in Manufacturing Systems", Computers Ind. Engng, Vol. 30, No. 4, pp. 647-658, 1996.
- [2] N. S. Hashmi, "The Application of Genetic Algorithms to Job Shop Scheduling", Master Thesis, School of Electrical, Electronic and Systems Engineering, University of Wales Cardiff, 1994.
- [3] C. Y. Leong, "Simulation Study of a Dynamic AGV-container Job Deployment Scheme", MS Thesis, Singapore-MIT Alliance, 2000.

- [4] J. H. Lee, B. H. Lee and M. H. Choi, "A Real-Time Traffic Control Scheme of Multiple AGV Systems for Collision Free Minimum Time Motion: A Routing Table Approach", IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics Part A, Vol. 28, No. 3, pp. 347-357, 1998.
- [5] F. Taghaboni-Dutta and J. M. A. Tanchoco, "Comparison of Dynamic Routing Techniques for Automated Guided Vehicle System", Int. J. Production Research, Vol. 33, No. 10, pp. 2653-2669, 1995.
- [6] R. L. Moorthy, H. Wee, W. Ng and C. Teo, "Cyclic Deadlock Prediction and Avoidance for Zone-controlled AGV System", Int. J. of Production Economics, Vol. 83, pp. 309-324, 2003.
- [7] E. G. Coffman, M. J. Elphick and A. Shoshani, "System Deadlocks", ACM Computing Surveys, Vol. 3, No. 2, pp. 67-78, 1971.
- [8] (주)현대중공업, URL: <http://www.hhi.co.kr/>

저 자 소 개



진강규 (陳康奎)

1953년 10월생, 1977년 한국해양대학교 기관학과 졸업(공학사), 1985년 FIT, 전기·전자·컴퓨터공학과 졸업(공학석사), 1996년 University of Wales Cardiff, 전기·전자·시스템공학과 졸업(공학박사). 현재 한국해양대학교 IT공학부 정교수.



소명옥 (蘇明玉)

1958년 6월생, 1997년 한국해양대학교 대학원 기관공학과 졸업(공학박사), 현재 한국마린엔지니어링학회 재무이사, 한국해양대학교 선박전자기계공학과 부교수.



이현식 (李鉉植)

1974년 1월생, 1996년 한국해양대학교 제어계측공학과 졸업(공학사), 1998년 동대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사), 2001년 동대학원 제어계측공학과 졸업(공학박사), 현재 (주)한화 정밀유도기술연구소 유도제어팀 연구원.