(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0065151
(43) 공개일자 2020년06월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G05B 19/418 (2006.01) *G05D 1/02* (2020.01)
(52) CPC특허분류
G05B 19/41895 (2013.01)
G05B 19/41865 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0150821
(22) 출원일자 2018년11월29일
심사청구일자 2018년11월29일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
정우진
서울특별시 종로구 경희궁길 57 106동 701호 (사직동,광화문풍림스페이스본아파트)
배정연
서울특별시 송파구 동남로 160, 18동1006호(문정동, 현대아파트)
(74) 대리인
특허법인남촌

전체 청구항 수 : 총 12 항

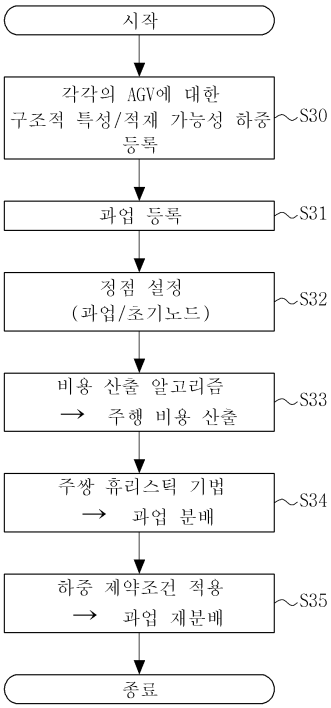
(54) 발명의 명칭 **자동 반송 시스템과 과업 분배 방법**

(57) 요 약

본 발명은 자동 반송 시스템 및 과업 분배 방법에 관한 것이다. 본 발명에 따른 과업 분배 방법은 이기종의 복수의 자동 유도 차량 각각에 대한 구조적 특성과 적재 가능 하중이 등록되는 단계와, 각각 픽업 노드, 배송 노드, 및 요구 하중을 포함한 복수의 과업이 등록되는 단계와, 각각의 상기 자동 유도 차량에 대해 상기 과업과

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도3



해당 자동 유도 차량의 초기 노드가 정점으로 설정되는 단계와, 각각의 상기 자동 유도 차량에 대해 상기 정점들 간의 주행 비용이 기 등록된 비용 산출 알고리즘을 통해 산출되는 단계와, 상기 주행 비용, 상기 자동 유도 차량 및 상기 정점이 주쌍 휴리스틱(Primal-dual heuristic) 기법에 적용되어 각각의 상기 자동 유도 차량에 상기 과업이 분배되는 단계와, 각각의 상기 자동 유도 차량의 상기 적재 가능 하중과 각각의 상기 과업의 상기 요구 하중에 따른 하중 제약 조건이 반영되어 상기 자동 유도 차량에 복수의 상기 과업에 재분배되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

(52) CPC특허분류
G05B 19/4188 (2013.01)
G05B 19/41885 (2013.01)
G05D 1/0214 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2018019505
부처명 한국연구재단
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 (이공)중견연구자-도약(후속)
연구과제명 혼잡한 생활도로환경에서 안전하게 동작하는 무인자동차의 지능성장형 자율주행시스템
기 여 율 1/1
주관기관 고려대학교산학협력단
연구기간 2018.03.01 ~ 2019.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

자동 반송 시스템의 과업 분배 방법에 있어서,

이기종의 복수의 자동 유도 차량 각각에 대한 구조적 특성과 적재 가능 하중이 등록되는 단계와,

각각 픽업 노드, 배송 노드, 및 요구 하중을 포함한 복수의 과업이 등록되는 단계와,

각각의 상기 자동 유도 차량에 대해 상기 과업과 해당 자동 유도 차량의 초기 노드가 정점으로 설정되는 단계와,

각각의 상기 자동 유도 차량에 대해 상기 정점들 간의 주행 비용이 기 등록된 비용 산출 알고리즘을 통해 산출되는 단계와,

상기 주행 비용, 상기 자동 유도 차량 및 상기 정점이 주쌍 휴리스틱(Primal-dual heuristic) 기법에 적용되어 각각의 상기 자동 유도 차량에 상기 과업이 분배되는 단계와,

각각의 상기 자동 유도 차량의 상기 적재 가능 하중과 각각의 상기 과업의 상기 요구 하중에 따른 하중 제약 조건이 반영되어 상기 자동 유도 차량에 복수의 상기 과업에 재분배되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 자동 반송 시스템의 과업 분배 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 자동 유도 차량의 상기 구조적 특징은 전진 이동 속도와 회전 속도를 포함하는 것을 특징으로 하는 자동 반송 시스템의 과업 분배 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 비용 산출 알고리즘으로 A^* 알고리즘이 적용되는 것을 특징으로 하는 자동 반송 시스템의 과업 분배 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

각각의 상기 자동 유도 차량에 대한 정점 u 와 정점 w 간의 주행 비용은 정점 u 에서의 최종 노드로부터 정점 w 에서의 개시 노드 간의 최단 경로의 주행 시간과, 정점 w 를 수행하는 최단 경로의 주행시간의 합에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 자동 반송 시스템의 과업 분배 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 주쌍 휴리스틱(Primal-dual heuristic) 기법에서는 각각의 상기 과업이 복수의 상기 자동 유도 차량 중 적어도 하나로부터 도달 가능한 적어도 하나의 진입 엣지(Entering edge)를 갖는 제약조건과, 각각의 상기 과업이 한번 만 수행되는 제약조건이 적용되는 것을 특징으로 하는 자동 반송 시스템의 과업 분배 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 제약조건은 LP 완화(Relaxation)되어 상기 주쌍 휴리스틱(Primal-dual heuristic) 기법에 적용되는 것을

특징으로 하는 자동 반송 시스템의 과업 분배 방법.

청구항 7

자동 반송 시스템에 있어서,

구조적 특성과 적재 가능 하중이 상이한 이기종의 복수의 자동 유도 차량과,

각각 픽업 노드, 배송 노드 및 요구 하중을 포함하는 복수의 과업을 복수의 상기 자동 유도 차량에 분배하는 메인 센터를 포함하며;

상기 메인 센터는

각각의 상기 자동 유도 차량에 대해 상기 과업과 해당 자동 유도 차량의 초기 노드를 정점으로 설정하고,

각각의 상기 자동 유도 차량에 대해 상기 정점들 간의 주행 비용이 기 등록된 비용 산출 알고리즘을 통해 산출하고,

상기 주행 비용, 상기 자동 유도 차량 및 상기 정점을 주쌍 휴리스틱(Primal-dual heuristic) 기법에 적용하여 각각의 상기 자동 유도 차량에 상기 과업을 1차적으로 분배하고,

각각의 상기 자동 유도 차량의 상기 적재 가능 하중과 각각의 상기 과업의 상기 요구 하중에 따른 하중 제약조건이 반영되어 상기 자동 유도 차량에 복수의 상기 과업을 분배하는 것을 특징으로 하는 자동 반송 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 자동 유도 차량의 상기 구조적 특징은 전진 이동 속도와 회전 속도를 포함하는 것을 특징으로 하는 자동 반송 시스템.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 비용 산출 알고리즘으로 A^* 알고리즘이 적용되는 것을 특징으로 하는 자동 반송 시스템.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 메인 센터는 각각의 상기 자동 유도 차량에 대한 정점 u와 정점 w 간의 주행 비용을 정점 u에서의 최종 노드로부터 정점 w에서의 개시 노드 간의 최단 경로의 주행 시간과, 정점 w를 수행하는 최단 경로의 주행 시간의 합에 의해 산출하는 것을 특징으로 하는 자동 반송 시스템.

청구항 11

제7항에 있어서,

상기 주쌍 휴리스틱(Primal-dual heuristic) 기법에서는 각각의 상기 과업이 복수의 상기 자동 유도 차량 중 적어도 하나로부터 도달 가능한 적어도 하나의 진입 엣지(Entering edge)를 갖는 제약조건과, 각각의 상기 과업이 한번 만 수행되는 제약조건이 적용되는 것을 특징으로 하는 자동 반송 시스템.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 제약조건은 LP 완화(Relaxation)되어 상기 주쌍 휴리스틱(Primal-dual heuristic) 기법에 적용되는 것을 특징으로 하는 자동 반송 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 자동 반송 시스템과 과업 분배 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 주행속도와 같은 구조적 특성과 적재 가능 하중이 상이한 이기종의 복수의 자동 유도 차량을 자동화 자재 취급 시스템(Automated Material Handling System: AMHS)과 같은 자동 반송 시스템에 적용하는데 있어 각각의 자동 유도 차량에 과업을 보다 효과적으로 분배하면서도 과업 분배를 위한 계산 시간을 줄일 수 있는 자동 반송 시스템과 과업 분배 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 유연 생산 시스템(Flexible Manufacturing System: FMS)을 포함하는 많은 제조 시스템들에 있어서, 자동화 자재 취급 시스템(Automated Material Handling System: AMHS)과 같은 자동 운방 시스템의 선택은 높은 생산 효율에 결정적인 요인이 된다.

[0003] 근래에, 자동 유도 차량(Automated Guided Vehicle: AGV)가 AMHS, 특히 설비 배치의 빈번한 변경이 요구되거나 무거운 자재의 취급을 요구하는 시스템들에 인기 있는 선택이 되었다. 고사양의 AGV들을 가지는 시스템의 셋업이 제조 기간을 단축시킬 수 있지만 초기 원가 또한 증가시킬 수 있다. 따라서, 적절한 배치(Arrangement)의 다양한 사양들을 가지는 AGV들을 사용하는 것이 고효율을 유지하면서 설치 원가를 저감시킬 수 있는 방안이 된다.

[0004] 작업 환경(Environment)이 설정되고 제조 공정이 결정되고 나면, 효율적인 시스템 관리를 위해 AGV들의 동시 배치가 필수적이다. 최적의 AGV 관리는 1) 배정(Dispatching) : AGV들에 과업(Job)을 할당하고 최적 시퀀스(Sequence)를 찾으며, 2) 경로계획(Routing): 주어진 과업들의 시퀀스에 대한 최적의 경로를 찾고, 그리고 3) 일정관리(Scheduling): 도착 및 출발 시간들을 결정하는 것이 필요하다.

[0005] 복수의 AGV에 대한 경로 계획을 다루는 기존의 기술들은 충돌없는 스케줄의 생성에 집중하면서 동종의 AGV 들에 대해 다루었을 뿐, 이기종의 AGV를 다룬 기술들은 거의 없었다. 다만, 이기종의 복수의 AGV에 대한 경로 계획 등을 다룬 몇몇 문헌들이 존재한다. 일 예로, J. Bae, W. Chung의 논문 "A heuristic for a heterogeneous automated guided vehicle routing problem (International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol.18, No.6, pp.795-801, 2017)에서는 구조적 이기종의 AGV 경로계획 문제를 다루었고, R. Abbou, J. M. Barman, C. Martinez, 그리고 S. Verma의 논문 "Dynamic route planning and scheduling in flexible manufacturing systems with heterogeneous resources, a max-plus approach (IEEE International Conference on Control & Automation (ICCA), pp. 723-728, July 2017.)에서는 서로 다른 구조적 성능과 적재량(Payload)을 가지는 AGV들에 대해 맥스-플러스 대수학(Max-plus algebra)을 사용한 동적 일정 관리 및 경로계획을 제안한 바 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 이에 본 발명은 주행속도와 같은 구조적 특성과 적재 가능 하중이 상이한 이기종의 복수의 자동 유도 차량을 자동화 자재 취급 시스템(Automated Material Handling System: AMHS)과 같은 자동 반송 시스템에 적용하는데 있어 각각의 자동 유도 차량에 과업을 보다 효과적으로 분배하면서도 과업 분배를 위한 계산 시간을 줄일 수 있는 자동 반송 시스템과 과업 분배 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 목적은 본 발명에 따라, 자동 반송 시스템의 과업 분배 방법에 있어서, 이기종의 복수의 자동 유도 차량 각각에 대한 구조적 특성과 적재 가능 하중이 등록되는 단계와, 각각 픽업 노드, 배송 노드, 및 요구 하중을 포함한 복수의 과업이 등록되는 단계와, 각각의 상기 자동 유도 차량에 대해 상기 과업과 해당 자동 유도 차량의 초기 노드가 정점으로 설정되는 단계와, 각각의 상기 자동 유도 차량에 대해 상기 정점들 간의 주행 비용이 기등록된 비용 산출 알고리즘을 통해 산출되는 단계와, 상기 주행 비용, 상기 자동 유도 차량 및 상기 정점이 주쌍 휴리스틱(Primal-dual heuristic) 기법에 적용되어 각각의 상기 자동 유도 차량에 상기 과업이 분배되는 단계와, 각각의 상기 자동 유도 차량의 상기 적재 가능 하중과 각각의 상기 과업의 상기 요구 하중에 따른 하중 제약 조건이 반영되어 상기 자동 유도 차량에 복수의 상기 과업에 재분배되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 자동 반송 시스템의 과업 분배 방법에 의해서 달성된다.

[0008] 여기서, 상기 자동 유도 차량의 상기 구조적 특징은 전진 이동 속도와 회전 속도를 포함할 수 있다.

[0009] 또한, 상기 비용 산출 알고리즘으로 A* 알고리즘이 적용될 수 있다.

[0010] 그리고, 각각의 상기 자동 유도 차량에 대한 정점 u와 정점 w 간의 주행 비용은 정점 u에서의 최종 노드로부터 정점 w에서의 개시 노드 간의 최단 경로의 주행 시간과, 정점 w를 수행하는 최단 경로의 주행시간의 합에 의해 산출될 수 있다.

[0011] 그리고, 상기 주쌍 휴리스틱(Primal-dual heuristic) 기법에서는 각각의 상기 과업이 복수의 상기 자동 유도 차량 중 적어도 하나로부터 도달 가능한 적어도 하나의 진입 엣지(Entering edge)를 갖는 제약조건과, 각각의 상기 과업이 한번 만 수행되는 제약조건이 적용될 수 있다.

[0012] 또한, 상기 제약조건은 LP 완화(Relaxation)되어 상기 주쌍 휴리스틱(Primal-dual heuristic) 기법에 적용될 수 있다.

[0013] 한편, 상기 목적은 본 발명의 다른 실시 형태에 따라, 자동 반송 시스템에 있어서, 구조적 특성과 적재 가능 하중이 상이한 이기종의 복수의 자동 유도 차량과, 각각 픽업 노드, 배송 노드 및 요구 하중을 포함하는 복수의 과업을 복수의 상기 자동 유도 차량에 분배하는 메인 센터를 포함하며; 상기 메인 센터는 각각의 상기 자동 유도 차량에 대해 상기 과업과 해당 자동 유도 차량의 초기 노드를 정점으로 설정하고, 각각의 상기 자동 유도 차량에 대해 상기 정점들 간의 주행 비용이 기 등록된 비용 산출 알고리즘을 통해 산출하고, 상기 주행 비용, 상기 자동 유도 차량 및 상기 정점을 주쌍 휴리스틱(Primal-dual heuristic) 기법에 적용하여 각각의 상기 자동 유도 차량에 상기 과업을 1차적으로 분배하고, 각각의 상기 자동 유도 차량의 상기 적재 가능 하중과 각각의 상기 과업의 상기 요구 하중에 따른 하중 제약조건이 반영되어 상기 자동 유도 차량에 복수의 상기 과업을 분배하는 것을 특징으로 하는 자동 반송 시스템에 의해서 달성될 수 있다.

[0014] 여기서, 상기 자동 유도 차량의 상기 구조적 특징은 전진 이동 속도와 회전 속도를 포함할 수 있다.

[0015] 그리고, 상기 비용 산출 알고리즘으로 A* 알고리즘이 적용될 수 있다.

[0016] 또한, 상기 메인 센터는 각각의 상기 자동 유도 차량에 대한 정점 u와 정점 w 간의 주행 비용을 정점 u에서의 최종 노드로부터 정점 w에서의 개시 노드 간의 최단 경로의 주행 시간과, 정점 w를 수행하는 최단 경로의 주행시간의 합에 의해 산출할 수 있다.

[0017] 그리고, 상기 주쌍 휴리스틱(Primal-dual heuristic) 기법에서는 각각의 상기 과업이 복수의 상기 자동 유도 차량 중 적어도 하나로부터 도달 가능한 적어도 하나의 진입 엣지(Entering edge)를 갖는 제약조건과, 각각의 상기 과업이 한번 만 수행되는 제약조건이 적용될 수 있다.

[0018] 그리고, 상기 제약조건은 LP 완화(Relaxation)되어 상기 주쌍 휴리스틱(Primal-dual heuristic) 기법에 적용될 수 있다.

발명의 효과

[0019] 상기 구성에 따라 본 발명에 따르면, 주행속도와 같은 구조적 특성과 적재 가능 하중이 상이한 이기종의 복수의 자동 유도 차량을 자동화 자재 취급 시스템(Automated Material Handling System: AMHS)과 같은 자동 반송 시스템에 적용하는데 있어 각각의 자동 유도 차량에 과업을 보다 효과적으로 분배하면서도 과업 분배를 위한 계산 시간을 줄일 수 있는 자동 반송 시스템과 과업 분배 방법이 제공된다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 본 발명에 따른 자동 반송 시스템의 구성을 나타낸 도면이고,

도 2는 본 발명에 따른 자동 반송 시스템의 작업 공간 지도를 나타낸 도면이고,

도 3은 본 발명에 따른 자동 반송 시스템의 과업 분배 방법을 설명하기 위한 도면이고,

도 4는 본 발명에 따른 자동 반송 시스템의 과업 분배 방법에서 주쌍 휴리스틱(Primal-dual heuristic) 기법을 구현하기 위한 알고리즘의 예를 나타낸 도면이고,

도 5는 본 발명에 따른 자동 반송 시스템의 과업 분배 방법에서 과업 재분배 과정을 구현하기 위한 알고리즘의 예를 나타낸 도면이고,

도 6 및 도 7은 본 발명에 따른 자동 반송 시스템의 과업 분배 방법의 효과를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 이하에서는 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명에 따른 실시예에 대해 상세히 설명한다.

[0022] 도 1은 본 발명에 따른 자동 반송 시스템의 구성을 나타낸 도면이고, 도 2는 본 발명에 따른 자동 반송 시스템의 작업 공간 지도를 나타낸 도면이다. 도 1 및 도 2를 참조하여 설명하면, 본 발명에 따른 자동 반송 시스템은 복수의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)(Automated Guided Vehicle: AGV, 이하 동일) 및 메인 센터(100)를 포함한다.

[0023] 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)은 도 2에 도시된 작업 공간 지도 내를 주행하는데, 정해진 경로를 따라 이동하며, 자재 등을 픽업 위치에서 배송 위치로 운반한다. 본 발명에서는 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)의 서로 다른 구조적 특징과, 한번의 과업에서 운반 가능한 적재량인 적재 가능 하중을 갖는 이기종의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)인 것을 예로 한다.

[0024] 메인 센터(100)는 이기종의 복수의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)에 과업을 분배하여, 전체 과업이 이기종의 복수의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)에 의해 동시에 수행되도록 각각의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)에 과업 정보를 전송한다. 메인 센터(100)와 각각의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)은 무선 통신을 통해 연결되어 정보를 교환하도록 마련될 수 있다.

[0025] 이하에서는 도 3을 참조하여 본 발명에 따른 자동 반송 시스템의 메인 센터(100)에서 수행되는 과업 분배 방법에 대해 상세히 설명한다.

[0026] 먼저, 작업 공간에 배치된 각각의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)에 대한 구조적 특성과, 적재 가능 하중이 등록된다(S30). 본 발명에서는 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)의 구조적 특성으로 전진 이동 속도와 회전 속도가 등록되는 것을 예로 한다. 그런 다음, 작업 공간에서 수행될 복수의 과업이 등록된다(S31). 여기서, 각각의 과업은 픽업 위치, 배송 위치, 그리고 요구 하중을 포함한다.

[0027] 본 발명에 따른 과업 분배 방법은 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)의 구조적 혼종성, 즉 서로 다른 전진 이동 속도와 회전 속도, 그리고 기능적 혼종성, 즉 적재 가능 하중을 고려하며, 이러한 이기종 특성을 효율적으로 다룰 배정과 경로 계획을 수립한다.

[0028] 본 발명에서는 각각의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)이 개별적인 초기 노드, 예컨대 차고에 위치하는 것을 예로 한다. 이에 따라, 각각의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)에 대해 과업과 해당 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)의 초기 노드가 정점(Vertex)으로 설정된다(S32).

[0029] 여기서, 본 발명에서는 각각의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)에 분배될 과업 상의 경로는 이하에서 설명할 조건을 만족하도록 결정된다. 먼저, 각각의 과업이 하나의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)에 의해 완료된다. 그리고, 각각의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)의 경로는 차고에서 시작하고, 분배된 과업들을 차례로 수행한 후 마지막 과업의 배송 노드에서 종료한다. 마지막으로, 모든 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)의 주행 비용의 합이 최소가 되도록 결정된다.

[0030] 이기종의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)에 대한 과업 분배을 효율적으로 수행하기 위해, 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)의 색인은 전진 이동 속도가 빠른 순서로 부여한다. 즉, m개의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)들에 대해 $v_1 \geq v_2 \cdots \geq v_m$ 의 순서로 색인을 매기며, v_k 는 k 번째 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)의 전진 이동 속도를 나타낸다.

[0031] 본 발명에서는 이기종의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)의 과업 분배를 다중 혼종 해밀턴 경로 문제(Multiple heterogeneous Hamiltonian path problem)로 다루기 위해, 상술한 바와 같이, 과업과 해당 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)의 초기 노드를 정점으로 설정한다.

[0032] 그리고, 각각의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)에 대해 모든 정점들 간의 주행 비용고 주행 경로가 기 등록된 비용 산출 알고리즘을 통해 산출된다(S33). 본 발명에서는 비용 산출 알고리즘으로 A* 알고리즘이 적용되는 것을

예로 한다.

[0033] 여기서, 각각의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)에 대한 정점 u와 정점 w 간의 주행 비용은 정점 u, 즉 과업 u에서의 최종 노드로부터 정점 w, 즉 과업 w에서의 개시 노드 간의 최단 경로의 주행 시간과, 과업 w를 수행하는 최단 경로의 주행시간의 합에 의해 산출된다.

[0034] 노드 간의 주행 시간은 상술한 바와 같이, A* 알고리즘이 적용되는데, 모드 a에서 노드 b까지의 주행 시간은 [수학식 1]과 같이 산출된다.

[0035] [수학식 1]

[0036] $$Cost_{ab}^{k} = distance(a,b)/v_{m}^{k} + \alpha * Cost_{R}^{k}$$

[0037] [수학식 1]에서 v_m^k은 k번째 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)의 전진 이동 속도이고, $Cost_R^k$은 k번째 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)을 오른쪽 또는 왼쪽 방향으로 회전시키는 비용이다. 본 발명에서는 A* 알고리즘을 이용하여 최단 경로를 찾는 과정에서는 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)의 회전을 최소화하는 방법으로 최단 경로를 찾는 것을 예로 한다.

[0038] 상기와 같은 과정을 통해, 각각의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)에 대해, 등록된 모든 과업과 해당 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)의 초기 노드를 포함하는 정점의 세트와, 정점들 간의 모든 주행 비용을 포함하는 비용 행렬이 획득된다.

[0039] 그런 다음, 상기 정보들, 즉 정점의 세트와, 정점들 간의 주행 비용이 주쌍 휴리스틱(Primal-dual heuristic) 기법에 적용되어 각각의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)에 복수의 과업이 1차적으로 분배(S34)됨으로써, 각각의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)이 초기 노드에서 시작하여 마지막으로 분배된 정점, 즉 과업의 최종 노드에서 종료하는 각각의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)의 해밀턴 경로가 탐색된다.

[0040] 주쌍 휴리스틱 기법의 설명에 앞서, 과업 분배 문제의 수식화에 대해 설명한다.

[0041] m개의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)과 n개의 과업이 주어졌을 때, 파라미터와 결정변수는 다음과 같이 표현될 수 있다.

[0042] [파라미터]

$A = \{a_1, \cdots, a_m\}$	a set of AGVs
$J = \{j, \cdots, j_n\}$	a set of jobs
$I = \{i_1, \cdots, i_m\}$	a set of depots
$V_k = \{i_k\} \cup J$	a set of vertices for a_k
$E_k = \{(i,j), \forall i,j \in V_k\}$	a set of edges that connect all vertices in V_k
$C_k = \{cost_{ij}^k, \forall (i,j) \in E_k\}$	a set of costs of traveling edge $(i,j) \in E_k$
$\delta_k^+(S)$	a set of all edges $(i,j) \in E_k$ such that $i \in V_k \backslash S$ and $j \in S$
$R_k = \{r_1^k, \cdots, r_n^k\}$	a set of payload restrictions for a_k while r_i^k is given as follow: $r_i^k = \begin{cases} 1 & \text{if } a_k \text{ is available for } j_i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$

[0043]

[0044] [결정변수]

$$x_{ij}^{k} = \begin{cases} 1 & \text{if edge } (i,j) \text{ is traveled by } a_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$z_{U}^{k} = \begin{cases} 1 & \text{if set } U \text{ contains all vertices not visited by } a_1, \dots, a_{k-1} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0045]

[0046] 상기와 같은 파라미터와 결정변수를 사용하여, 혼합 정수 문제(Mixed integer problem)을 [수학식 2]와 같이 나타낼 수 있다.

[0047] [수학식 2]

$$C_{IP} = \min \sum_{k=1}^{m} \sum_{(i,j)\in E_k} cost_{ij}^{k} x_{ij}^{k}$$

[0048]

[0049] 여기서, 제약조건들은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

[0050] [수학식 3]

$$\sum_{(i,j)\in\delta_1^+(S)} x_{ij}^{1} \geq 1 - \sum_{J\supseteq U\supseteq S} z_{U}^{1} \qquad \forall S \subseteq J$$

[0051]

[0052] [수학식 4]

$$\sum_{(i,j)\in\delta_k^+(S)} x_{ij}^{k} \geq 1 - \sum_{J\supseteq U\supseteq S} \left(z_{U}^{k} - z_{U}^{k-1}\right)$$

$$\forall S \subseteq J, k = 2, \dots m-1$$

[0053]

[0054] [수학식 5]

$$\sum_{(i,j)\in\delta_m^+(S)} x_{ij}^{m} \geq \sum_{J\supseteq U\supseteq S} z_{U}^{m-1} \qquad \forall S \subseteq J$$

[0055]

[0056] [수학식 6]

$$\sum_{Q\supseteq U} z_{Q}^{k-1} \geq z_{U}^{k} \qquad \forall U \subseteq J, k = 2, \dots m$$

[0057]

[0058] [수학식 7]

$$\sum_{J\supseteq U} z_{Q}^{k-1} \geq r_{i}^{k} \qquad \forall i \in U, k = 1, \dots m-1$$

[0059]

[0060] [수학식 8]

$$x_{ij}^{k} \in \{0,1\} \qquad \forall (i,j) \in E_k, k = 1, \dots m$$

[0061]

[0062] [수학식 9]

$$z_{U}^{k} \in \{0,1\} \qquad \forall U \subseteq J, k = 1, \dots m-1$$

[0063]

[0064] 제약조건인 [수학식 3] 내지 [수학식 5]는 각각의 과업들이 복수의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm) 중 적어도 하나로부터 도달 가능한 적어도 하나의 진입 엣지(Entering edge)를 가져야 한다는 조건을 나타낸다. [수학식 6]은 연결된 엣지 수에 대한 제약조건을 나타낸 것이다. 그리고, 각 과업이 하중 제약조건을 충족시키는 적절한 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)에 의해 수행되어야 한다는 조건이 [수학식 5]에 반영된다. 그리고, 파라미터 r_i^k를 1 또는 0이 되도록 설정함으로써, 각 과업이 한번 만 수행되어야 한다는 제약조건이 반영되었다. [수학식 8] 및 [수

학식 9]는 결정 변수의 정수 제약조건을 나타낸 것이다.

[0065] 본 발명에서는 주쌍 휴리스틱 기법을 통해 최적해를 찾기 위해, 제약조건인 [수학식 3] 내지 [수학식 5]를 취하고, [수학식 8] 및 [수학식 9]를 양수로 완화시킴으로써, LP 완화(Relaxation)를 고려하면, [수학식 10]과 같이 표현할 수 있다. 그리고, 하중 제약조건은 주쌍 휴리스틱 기법을 통한 1차적인 분배에서는 고려하지 않고, 후술할 재분배 과정에서 반영한다.

[0066] [수학식 10]

[0067] $$C_{LP} = \min \sum_{k=1}^{m} \sum_{(i,j)\in E_k} cost_{ij}^{k} x_{ij}^{k}$$

[0068] 여기서, 제약조건 중 [수학식 3] 내지 [수학식 5]는 LP 완화에서도 동일하게 표현될 수 있고, [수학식 8] 및 [수학식 9]는 [수학식 11] 및 [수학식 12]와 같이 나타낼 수 있다.

[0069] [수학식 11]

[0070] $$x_{ij}^{k} \geq 0 \qquad \forall (i,j) \in E_k, k = 1, \dots m$$

[0071] [수학식 12]

[0072] $$z_{U}^{k} \geq 0 \qquad \forall U \subseteq J, k = 1, \dots m-1$$

[0073] 상기와 같은 LP 완화는 각 정점을 각각의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)의 초기 노드 중의 하나에 연결하는 HDSF(Heterogeneous Directed Spanning Forest)로 귀결된다. 주쌍 기법(Primal-dual technique)에 적용하기 위해 수식화한 상기의 LP 완화는 쌍대 문제(Dual problem)이다. 주쌍 기법을 적용하는 상세한 설명은 Michel X. Goemans와 David P. Williamson의 논문 "A general approximation technique for constrained forest problems (SIAM Journal on Computing, Vol.24, No. 2, pp. 296-317, 1995.)"에 기재되어 있는 바, 그 설명은 생략한다.

[0074] 상기 논문에서는 쌍대 문제의 수식화를 위해 [수학식 3] 내지 [수학식 5]에 나타낸 제약조건의 각 k에 대해 쌍대변수(Dual variable) $Y_k^+(S)$ 를 도입하였으며, [수학식 10] 및 [수학식 3] 내지 [수학식 5]의 제약조건은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

[0075] [수학식 13]

[0076] $$C_{Dual} = \max \sum_{S\subseteq J} Y_1^+(S)$$

[0077] [수학식 14]

[0078] $$\sum_{S\subseteq J} Y_1^+(S) \leq cost_{ij}^{k} \qquad \forall (i,j) \in E_k, k = 1, \dots m$$

[0079] [수학식 15]

[0080] $$\sum_{S\subseteq U} Y_k^+(S) \leq \sum_{S\subseteq U} Y_{k+1}^+(S) \quad \forall U \subseteq J, k = 1, \dots m-1$$

[0081] [수학식 16]

[0082] $$Y_k^+(S) \geq 0 \qquad \forall S \subseteq J, k = 1, \dots m$$

[0083] 여기서, 각각의 쌍대변수 $Y_k^+(S)$ 는 각 정점으로부터 초기 노드들 중의 하나로부터 도달하기까지 지불할 비용의 액수를 나타낸다.

[0084] 도 4는 본 발명에 따른 과업 분배 방법에서 주쌍 휴리스트 기법을 구현한 알고리즘의 예를 나타낸 도면이다. 도 3을 참조하여 설명하면, 주쌍 휴리스틱 기법의 각 반복연산마다 [수학식 14]의 쌍대 제약조건들 중의 하나를 등

호를 만족하게 만들고, 해당하는 엣지를 그 트리에 추가함으로써,, 쌍대변수 $Y_k^+(S)$의 선택된 파라미터들이 증가된다. 쌍대변수를 증가시키면서, 주쌍 휴리스틱 기법은 도 4b에 도시된 알고리즘의 18-20행에 표시된 마킹 과정을 통해, [수학식 15]의 쌍대 제약조건들 각각이 참(True)이 되도록 유지한다.

[0085] 도 3에 도시된 알고리즘의 예는, 주쌍 휴리스틱 기법을 통해 HDSF를 생성하는 과정을 나타낸다. 먼저, 초기에 각 집합은 한 정점을 포함한다. 과업을 포함하는 집합들은 초기 노드를 포함하는 집합들이 비활성일 때 활성이다. 모든 쌍대변수들은 0으로 설정된다.

[0086] 반복연산마다 쌍대변수들의 최소의 증가를 가지는 엣지를 찾을 수 있는데, 이는 [수학식 14]의 제약조건 중 하나를 좁히는 한편, [수학식 15]의 모든 제약조건을 충족시킨다.

[0087] 상술한 바와 같이, 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)들을 전진 이동 속도의 감소 순으로 색인을 매겼으므로, 동일한 엣지를 주행하는 비용은 증가순서, 즉 $cost_{uv}^1 \le cost_{uv}^2 \le \cdots \le cost_{uv}^m$ 가 될 것이다. 이에 따라, 과업들 간의 엣지들은 자동 유도 차량(V1, V2, Vm) a_1이 먼저, 이어서 마지막 a_m이 추가된다. 이는 과업을 수행하기 위한 전체 주행시간을 감소시킬 수 있도록, 동일한 거리에 대해 보다 더 짧은 주행 시간을 가지는 더 빠른 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)에 우선권을 주는 것을 의미한다.

[0088] 새로운 엣지가 추가됨으로써, 발생될 수 있는 세가지의 경우가 있다. 첫째, 새로운 엣지의 추가가 해당 초기 노드에서 도달할 수 없는 강한 결합 요소(Strongly connected component)를 형성한다면, 새로운 요소가 새로운 활성 집합이 되도록 한다. 둘째, 새로운 엣지가 해당 초기 노드에서 도달 가능한 어떤 정점을 형성하면, 초기 노드에서 도달 가능한 모든 정점들을 새로운 비활성 집합으로 하고, 모든 기존의 하위집합들을 비활성화시킨다. 어떤 상위집합(superset)이 존재하면, 상위집합 내의 모든 정점들을 마크하고 상위집합이 마크된 정점들만을 포함하면 비활성화시킨다. 첫째 경우와 둘째 경우가 모두 발생하지 않으면 해당 집합을 비활성화시킨다. 집합들을 조직화(organize)한 다음, 알고리즘은 초기 노드에 연결되지 않은 진입 엣지를 가지지 않는 어떤 비활성 집합이 존재하는지 여부를 점검한다. 존재한다면 새로운 집합으로의 진입 엣지가 존재하지 않을 때까지 연결된 요소들을 조합한다.

[0089] 메인 루프는 모든 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)에 대해 활성 집합이 존재하지 않을 때까지 계속된다. 메인 루프 다음에는, 정리 단계(Pruning step)에서 모든 불필요한 엣지들을 제거하여 각각의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)에 대한 목표한(directed) 신장 트리(spanning tree)를 역순으로 형성한다. 본 발명에 따른 주쌍 휴리스틱 기법을 HDSF가 형성되고 나면, 결과된 트리들은 해당 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)의 1차적인 과업으로 분배된다.

[0090] 다시, 도 3을 참조하여 설명하면, 하중 제약조건을 고려한 재분배 과정이 진행된다(S35). 하중 제약조건에 위배된 과업의 재할당 과정은 도 5에 도시된 예에서 확인할 수 있다.

[0091] 하중 제약조건에 의해 과업 수행이 불가능한 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)에 할당된 과업을 선별한다. 선별 작업을 위해 사용 가능한 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)을 찾아 가장 가까운 정점을 갖는 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)을 선택한다.

[0092] 이와 같은 재분배 과정이 완료되면, 해밀턴 경로 문제의 해결을 위해, 예컨대, 린-커니건 휴리스틱(Lin-Kernigan Heuristic; LKH)을 사용하여 각 구획에 대한 경로를 찾는다.

[0093] 상술한, Michel X. Goemans와 David P. Williamson의 논문에서의 분석을 사용하여, 도 4a 및 도 4b의 알고리즘을 ??(瑛^2 瑙og 瑛)에서 구동할 수 있도록 연역(deduce)할 수 있다. 또한 도 5에 도시된 알고리즘은 ??(瑛^2)에서 구동하는 간단한 반복연산(iteration)을 수행한다. 이에 따라, 전체 구동 시간(Running time)은 경로계획에 사용된 알고리즘에 따라 달라지더라도, 과업 할당은 충분하게 빠른 다항식 시간(Polynomial time) 내에 이뤄질 수 있게 된다.

[0094] 이하에서는, 본 발명에 따른 자동 반송 시스템의 과업 분배 방법의 효과를 설명한다.

[0095] 시뮬레이션에 적용된 작업 환경은 도 2에 도시된 바와 같으며, 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)의 수와 과업의 수를 증가시키며 시뮬레이션이 수행되었다. 초기 노드, 픽업 노드 및 배송 노드는 노드#1부터 노드#69의 균일 분포(Uniform distribution)로부터 생성되었다.

[0096] 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)의 적재 가능 하중과 과업의 요구 하중은 1부터 5까지 생성하였고, 마찬가지로 균일 분포로부터 생성하였다. 각각의 시뮬레이션에서는 과업의 요구 하중을 수행할 수 있는 하나 이상의 자동 유도

차량(V1, V2, Vm)이 존재하도록 설정한다.

[0097] 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)의 전진 이동 속도는 최소 0.7 m/sec과 최대 1 m/sec으로 설정되었다. 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)의 회전 속도는 최소 0.1 rad/sec과 최대 0.16 rad/sec로 설정되었다. 이 값들은 실제 제조 시스템들에 주로 사용되는 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)의 사양을 선택한 것이다.

[0098] 기존의 A* 알고리즘은 주행 비용을 최소화시키는 경로를 찾는데 반해, 본 발명에 따른 A* 알고리즘은 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)의 회전을 최소화시키는 경로를 찾는다는 점은 상술한 바와 같다. 도 6에 도시된 바와 같이, 기존의 A* 알고리즘은 4번의 회전을 통해 경로를 찾는데 반해 본 발명에서 제안된 A* 알고리즘은 1번의 회전을 통해 목표 위치로 이동하는 경로를 찾는 것을 확인할 수 있다.

[0099] 본 발명에 따른 과업 분배 방법의 성능을 검증하기 위해, LP 라운딩 기법(LP rounding method)과의 비교 실험을 수행하였다. 5대의 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)에 대해 수행된 시뮬레이션 결과는 도 7에 도시된 바와 같이,

[0100] 솔루션 품질(solution quality)은 $cost^I_{algo}$ 과 $cost^I_{opt}$ 로 산출되는데, $cost^I_{algo}$는 알고리즘에 의해 산출된 비용을 나타내고 $cost^I_{opt}$ 는 LP 완화로부터 얻어진 하한 비용을 나타낸다. LP 라운딩 기법의 평균 솔루션 품질은 약 1인데, 이는 최적치에 아주 근접한다. 본 발명에 따른 과업 분배 방법의 평균 솔루션 품질은 과업의 수와 무관하게 약 1.1인 한편, 최악의 솔루션 품질은 1.4 이하로 유지되었다.

[0101] 연산 시간에 있어서도, 본 발명에 따른 과업 분배 방법은 과업의 수와 무관하게 매우 짧은 반면, LP 라운딩 기법의 연산은 과업의 수가 증가하면 긴 시간이 걸리는 것을 확인할 수 있다. 특히, LP 라운딩 기법의 경우, 과업의 수와 함께 자동 유도 차량(V1, V2, Vm)의 수를 증가시키게 되면, 그 연산 시간은 급격한 증가를 보이는 것으로 확인되었다.

[0102] 이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

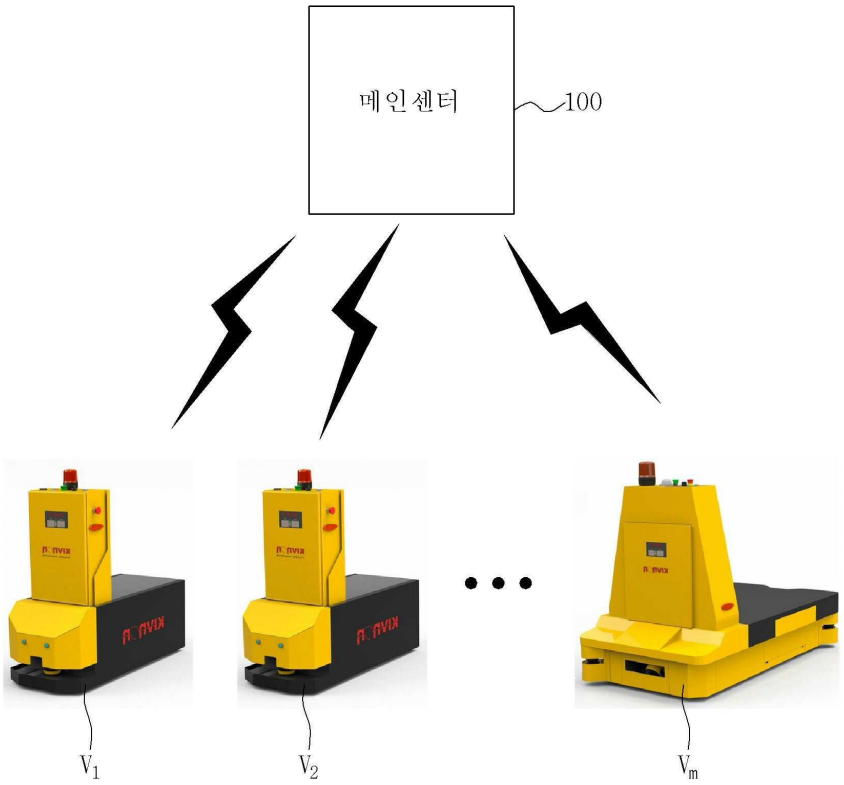
부호의 설명

[0103] 100 : 메인 센터

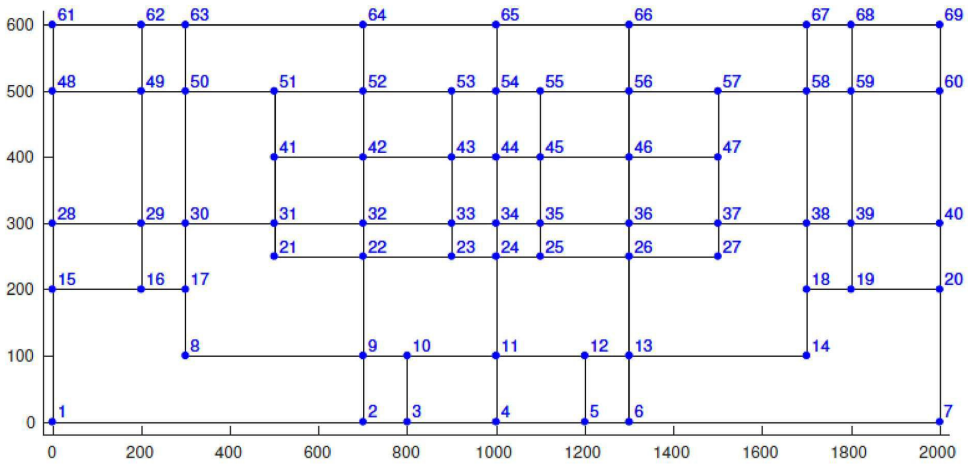
V1,V2,Vm : 자동 유도 차량

도면

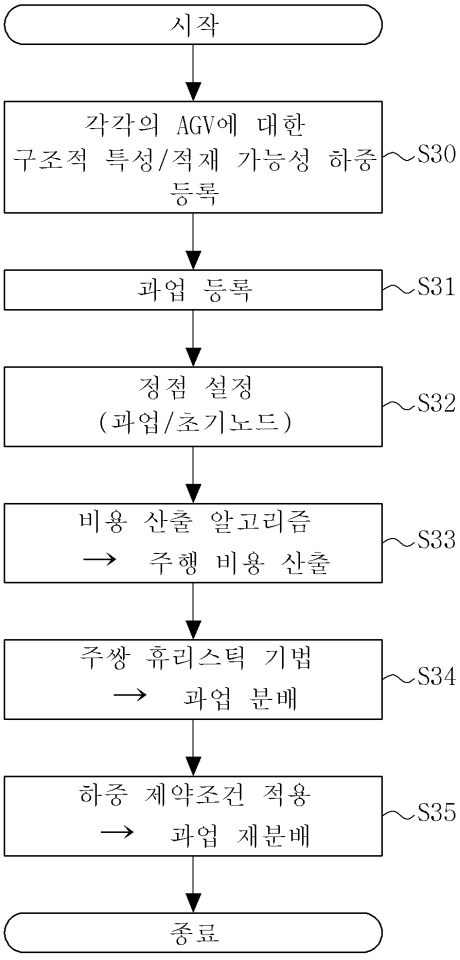
도면1


메인센터
100
V1
V2
Vm

도면2


61 62 63 64 65 66 67 68 69
48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60
41 42 43 44 45 46 47
28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40
21 22 23 24 25 26 27
15 16 17 18 19 20
8 9 10 11 12 13 14
1 2 3 4 5 6 7
600
500
400
300
200
100
0
0 200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000

도면3


시작
각각의 AGV에 대한 구조적 특성/적재 가능성 하중 등록
S30
과업 등록
S31
정점 설정 (과업/초기노드)
S32
비용 산출 알고리즘 → 주행 비용 산출
S33
주쌍 휴리스틱 기법 → 과업 분배
S34
하중 제약조건 적용 → 과업 재분배
S35
종료

도면4a

Initialization

$F_k \leftarrow \emptyset, \forall k = 1,\cdots,m;\ \mathcal{C}_k \leftarrow \{\{v\}: v \in V_k\}, \forall k = 1,\cdots,m$

All vertices are unmarked

All dual variables are set to zero.

$active_k(\{v\}) \leftarrow 1, \forall v \in V_k, \forall k = 1,\cdots,m$

$active_k(\{i_k\} \leftarrow 0, \forall k = 1,\cdots,m$

Main loop

while there exists any active component in $\mathcal{C}_1,\ldots,\mathcal{C}_m$ **do**

1. Find an edge $e_k = (u,v) \in E_k$ with $u \in C_u, v \in C_v$ where $C_u, C_v \in \mathcal{C}_k, C_u \neq C_v$ that minimizes $\varepsilon_k = \frac{cost^k_{uv} - dual_k(v)}{active_k(C_v)}$.

Let the corresponding $C_v \in \mathcal{C}_k$ be S_k while S = $\{S_1, S_2, \ldots, S_m\}$ satisfies $S_1 \supseteq S_2 \supseteq \cdots \supseteq S_m$ and are all active.

2. $F_k \leftarrow \{e_k\} \cup F_k$

3. Increase dual variables of S_k with amount of e_k

4. **if** e_k forms a new strongly connected component, and the component is not reachable from i_k **then**

Let the strongly connected component be an active component.

else if e_k makes any vertex $v \in S_k$ reachable from i_k **then**

Let the depot and the all vertices that are reachable from the depot be an inactive component.

if $k < m$ **then**

Deactivate all the subsets of this component in $\mathcal{C}_{k+1}, \ldots, \mathcal{C}_m$

end if

if $k > 1$ **then**

Mark all the vertices in the supersets of this component in $\mathcal{C}_1, \ldots, \mathcal{C}_{k-1}$. Deactivate it if the corresponding component consists of all marked vertices.

end if

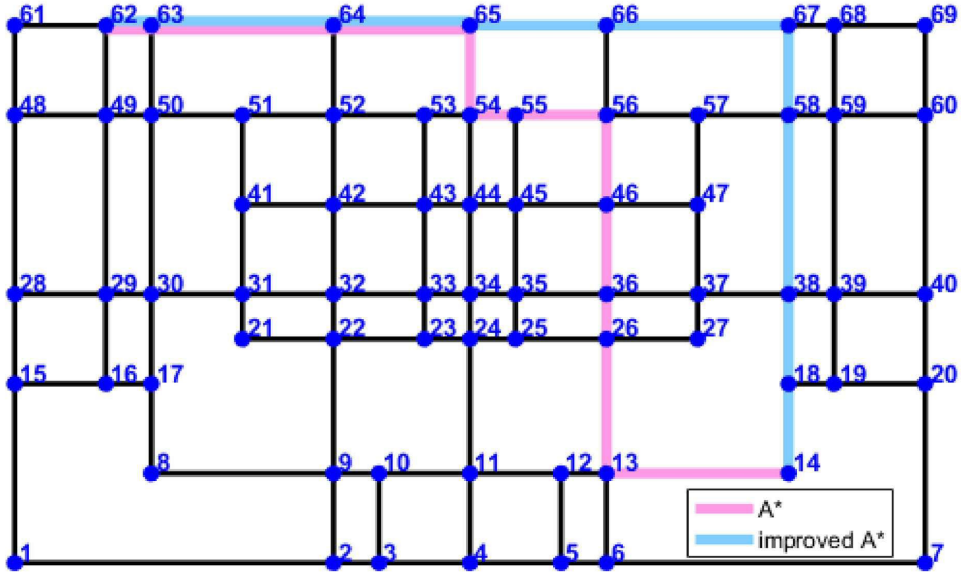
도면4b

```
21        else
22            Deactivate S_k.
23        end if
24    5. if there exists any inactive set without entering edge which is
          not connected to the depot and there exists no S =
          {S_1, S_2, ..., S_m} can be chosen that satisfy the given conditions
          for any k ∈ {1, ..., m} then
25            Pick an inactive components for each k that consists of
              marked vertices which has entering or outgoing edges.
              Combine those connected components until the new
              component does not have any entering edges.
26        end if
27    end while
      Pruning
28    Let F = {F_1, ..., F_m} and e_i be the edge that is added to F at i^th
      iteration.
29    for i = 1 of iterations, down to 1 do
30        if F \ e_i is feasible, then
31            F ← e_i
32        end if
33    end for
```

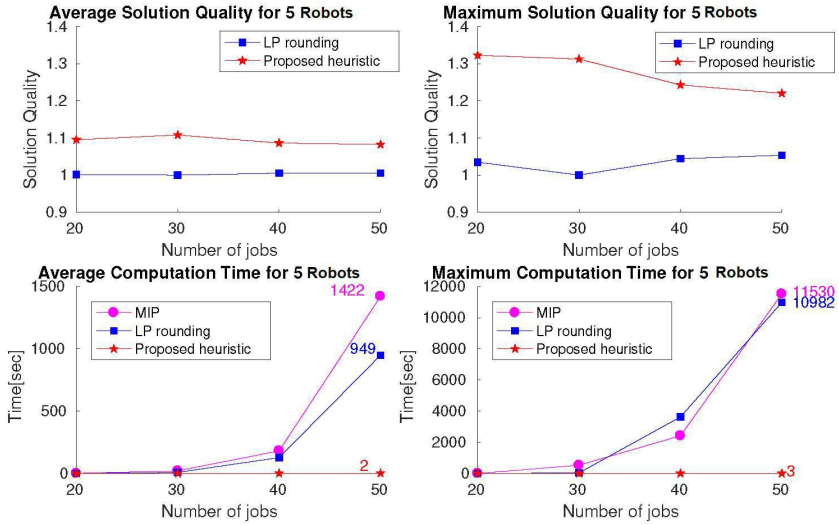
도면5

```
1     Let T_k be the partition set that contains all the jobs assigned to
      a_k and T_k(i) be the i^th job in T_k
2     for k = 1 to m, i = 1 to length(T_k) do
3       if r^k_{T_k(i)} = =0 then Y ← Y ∪ T_k(i) ; T_k ← T_k \ T_k(i) end if
4     end for
5     for every job y ∈ Y do
6       Find all k such that r^k_y = 1 for k = 1, ..., m.
7       For such k, find the edge that makes y be connected to T_k
        with minimum cost and let the edge cost be c^k_y.
8       Let k' be the vehicle that has minimum c^k_y.
9       T_k' ← T_k' ∪ y
10    end for
```

도면6


61 62 63 64 65 66 67 68 69
48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60
41 42 43 44 45 46 47
28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40
21 22 23 24 25 26 27
15 16 17 18 19 20
8 9 10 11 12 13 14
1 2 3 4 5 6 7
A*
improved A*

도면7


Average Solution Quality for 5 Robots
Maximum Solution Quality for 5 Robots
LP rounding
Proposed heuristic
Solution Quality
Number of jobs
Average Computation Time for 5 Robots
Maximum Computation Time for 5 Robots
MIP
LP rounding
Proposed heuristic
Time[sec]
1422
949
2
11530
10982
3