

변형 장애물을 고려한 최적 로봇 팔레타이징 경로 생성 알고리즘의 개발

유승남[†]·임성진^{*}·강맹규^{**}·한창수^{***}·김성락^{****}

The Development of Trajectory Generation Algorithm of Palletizing Robot Considered to Time-variable Obstacles

Seung-nam Yu, Sung-jin Lim, Maing-kyu Kang, Chang-soo Han and Sung-rak Kim

Key Words: Palletizing Robot(팔레타이징 로봇), Robot Trajectory Optimization(로봇 경로 최적화), Robot Palletizer(로봇 팔레타이저), Overlap Method(장애물 중첩법)

Abstract

Palletizing task is well-known time consuming and laborious process in factory, hence automation is seriously required. To do this, artificial robot is generally used. These systems however, mostly user teaches the robot point to point and to avoid time-variable obstacle, robot is required to attach the vision camera. These system structures bring about inefficiency and additional cost. In this paper we propose task-oriented trajectory generation algorithm for palletizing. This algorithm based on A* algorithm and slice plane theory, and modify the object dealing method. As a result, we show the elapsed simulation time and compare with old method. This simulation algorithm can be used directly to the off-line palletizing simulator and raise the performance of robot palletizing simulator not using excessive motion area of robot to avoid adjacent components or vision system. Most of all, this algorithm can be used to low-level PC or portable teach pendent

1. 서 론

산업현장에서 팔레타이징 작업 공정은 일반적으로 팔레타이징 작업 전용 로봇이나 6축 다관절 로봇을 사용하여 구축된다. 다른 자동화 공정과 마찬가지로 로봇을 사용하는 이유는 뛰어난 유연성 때문이라고 할 수 있다.[1] 이러한 유연성에 의한 잠재력은 산업용 로봇이 쉽게 프로그램이

되는 경우에만 충분히 실현될 수 있다. 간단 작업을 위해서 불필요한 프로그래밍 코드가 늘어나거나 사용자 편의성 또는 자유도가 결여된 로봇 프로그램은 해당 공정의 비용과 직결된다. 본 연구의 최종 목표는 사용자 지향적 로봇 팔레타이징 Off-line S/W를 개발하는 것으로서, 필자는 지난 연구논문을 통해 기존의 데이터베이스 기반 적재 패턴생성 기법이 아닌, 사용자의 물성치 입력을 통해 원하는 적재 패턴을 자유롭게 최적 생성하여 로봇 제어기에 인계하는 로봇 팔레타이징 적재패턴 알고리즘 및 로봇시뮬레이터를 제안한 바 있다.[2] 본 논문은 위 연구의 연장선상에 있으며, 입력된 적재물을 생성된 적재패턴에 효율적으로 적재하기 위한 로봇 경로 생성 알고리즘에 대하여 다루고 있다. [Fig.1]

† 한양대학교 대학원 기계공학과

E-mail : hymecer@gmail.com

TEL : (031)400-4062 FAX : (031)406-6398

* 한양대학교 대학원 기계공학과

** 한양대학교 산업공학과

*** 회원, 한양대학교 기계정보경영공학부

**** 현대중공업(주) 기계전기연구소

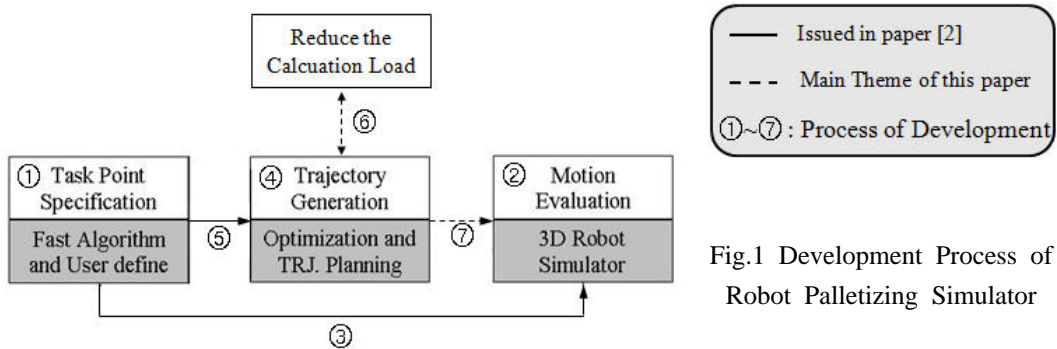
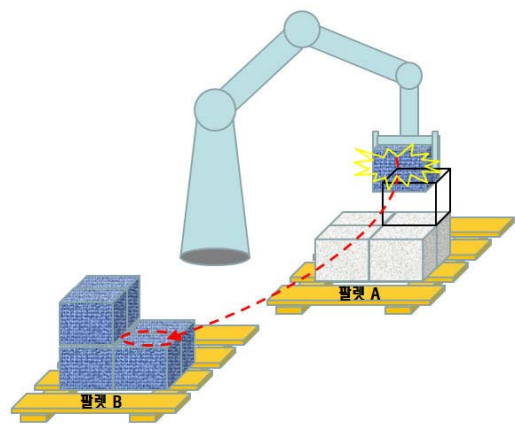


Fig.1 Development Process of Robot Palletizing Simulator

로봇 팔레타이징 작업을 위한 기본 공간은 '셀(Cell)'로서 정의되며 이러한 셀은 몇 가지 기본 장비로 구성된다.[4] 기본 구성물은 일반적으로 작업물을 셀에 공급하는 컨베이어 벨트, 작업물을 적재하기 위한 팔레트, 적재된 작업물이 무너지는 것을 방지하기 위한 간지, 적재 작업을 수행하기 위한 로봇 등의 4가지로 구성된다. 여기서 주목할 점은 이러한 기본 작업 구성물들은 팔레타이징 작업을 위한 기본 구성물인 동시에, 로봇의 측면에서는 장애물이 될 수 있다는 것이다. 일례로, 여러 개의 팔레트에 동시에 적재작업을 수행하는 경우 [Fig.2]와 같이 전치되어 있는 팔레트 및 적재물은 이른바, '형상 변형 장애물'이 된다. 일반적인 산업현장에서의 팔레타이징 로봇은 이러한 기본 컴포넌트를 피해 적재 작업을 수행하기 위해 과도하게 높은 작업 공간을 'U'자형으로 구동된다. 본 연구에서는 이러한 인접 셀 구성요소들을 장애물로 간주하고, 로봇이 매 단위작업 (1단위 작업 : Pick up and Place down)마다 변형되는 주변 컴포넌트를 고려한 실시간 경로생성 알고리즘을 제안하고자 한다.



(b) Process #2 (Box Loading on a Pallet B)

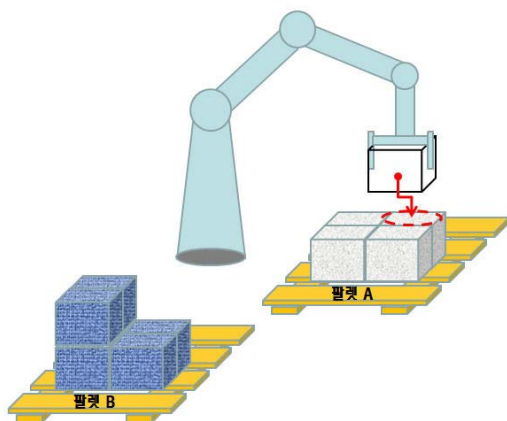
Fig.2 Example of stacked box acts as a obstacle to Robot

2. 자세 공간법 (Configuration Space) 및 A*알고리즘

2.1 자세 공간법

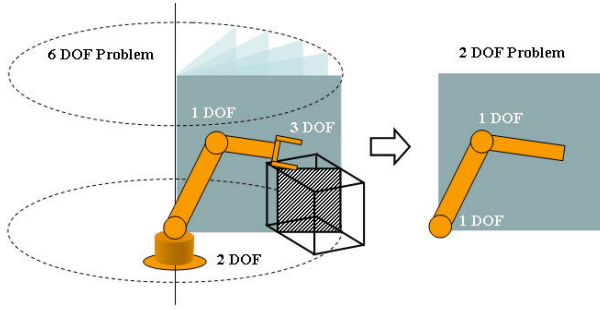
본문에서는 일반적으로 다관절 로봇의 장애물 회피 및 최적경로 생성을 위해서 많이 사용되는 체세 공간법 및 A*알고리즘을 소개하고, 본 논문의 시스템을 그대로 적용한 시뮬레이션 결과 및 이를 보완한 'Overlap Method'를 제안하고자 한다.

자세 공간법에서 자세란 로봇작동기의 위치와 방향을 표시하기 위한 변수로 사용된다. 자세 공간이란 자세 값을 얻을 수 있는 모든 공간을 의미한다. 이러한 좌표계에서 공간상의 각점은 로봇의 말단장치로 도달할 수 있는 공간상의 위치에 대한 로봇의 자세 값이다.[3-4] 자세 공간상에서의 로봇의 자세 값을 정의하기 위해서 일반적으로 사용되는 방법은 평면분할기법이다. 이는 로봇의 기저 축을 회전축으로 하여 로봇의 가동 가능 범위를 평면으로 분할하는 방법으로서 다자

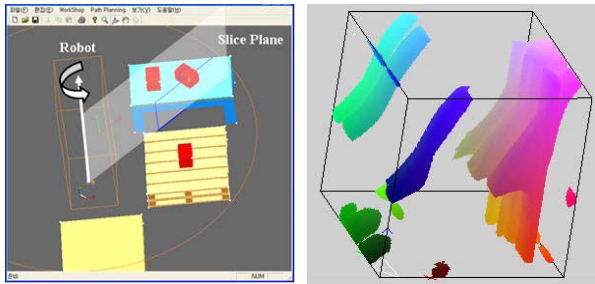


(a) Process #1 (Box Loading on a Pallet A)

유도 로봇의 3차원 동작범위를 2차원으로 줄일 수 있다. 이를 통해, 다자유도 매니플레이터의 공간상에서의 운동을 분석할 때 장애물을 동시에 고려하여 계속적으로 로봇의 자세 또는 경로를 생성할 수 있다.[Fig.3]



(a) Slice Plane Theory



(b) Obstacle Generation on a Configuration Space
Fig.3 Simulation of Obstacle Generation on a Configuration Space using Slice Plane Theory

아래의 [Table.1]은 자세 공간 생성의 예를 나타내고 있으며 첫 번째 그림은 본 논문에서 설정한 로봇의 작업 셀이다. 우선 로봇의 기저 축을 회전축으로 하여 분할 평면을 360도 회전시키면서 로봇의 말단기를 이용하여 장애물의 외곽선을 획득한다. 추출된 외곽선 및 그 내부는 장애물로 간주된다. 최종적으로 우리는 로봇이 도달할 수 있는 자유 동작 영역과 장애물영역을 얻을 수 있다.

2.2 경로생성을 위한 A*알고리즘의 적용

A*알고리즘은 자유 동작영역에서 로봇의 최적 경로를 생성하기 위한 강력한 계획법이다.[5-7]

본 연구에서는 서두에서 언급한 시작점-컨베이어벨트에서 공급되는 작업물의 위치-과 끝점-로봇이 작업물을 적재하는 위치-사이의 최적경로를 생성하기 위해서 위의 자세공간과 더불어 A*알고리즘을 적용하여 보았다. 본 알고리즘은 공간상에 사각형 격자를 형성하여 시작점으로 부터 끝점까지의 이동거리를 인접 격자를 통해 이동할 수 있는 최단거리로 생성하는 기법이다. 이때 인접 격자에 위의 자세공간에서 생성한 장애물이 존재하면, 그 방향으로 움직일 수 없다.

3. 장애물을 고려한 수정 분할 평면 생성 및 A*알고리즘 적용

위에서 언급한 A*알고리즘의 문제점은 로봇의 체적을 고려하지 않는다는 것이다. 이러한 가정은 실제적이지 않으며 시뮬레이션으로서의 가치가 현저하게 떨어진다. 따라서 본 연구에서는 분할 평면을 통한 공간스캔을 통해서 생성되는 장애물의 정보를 좀 더 실제적으로 얻어 보고자 한다. 본 절은 수정된 분할 평면을 사용하여 A*알고리즘의 성능을 분석하였다.

3.1 로봇 두께의 고려 (I)

우선, 기존의 평면 분할 기법에서 두께가 없는 평면이 아닌, 실제 로봇의 체적 및 두께를 고려한 분할 평면을 재구성하였다. [Fig.4]는 이러한 수정된 분할 평면을 도시하고 있다. 이러한 경우 분할 평면은 로봇팔의 양면을 고려한 안전거리 (Thickness+Safty Length)의 두 배만큼의 두께로 새로이 정의된다.

Table.1 Generation of Optimal Trajectory Considering Obstacle

Robot Trajectory	Configuration Space	Enlarged Image	Elapsed Time (sec)
			3.132818

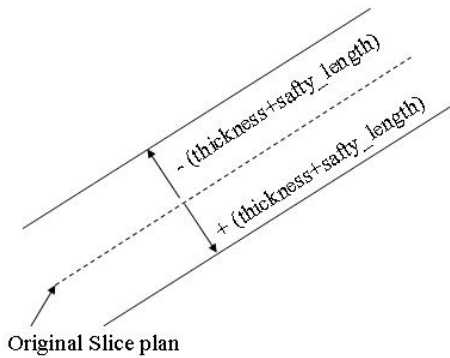
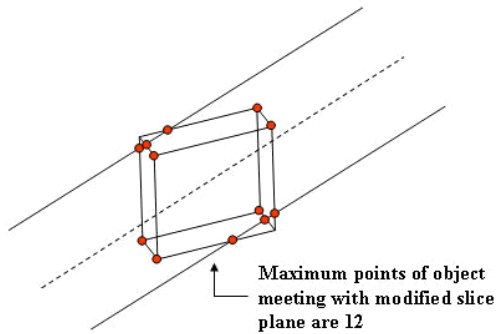


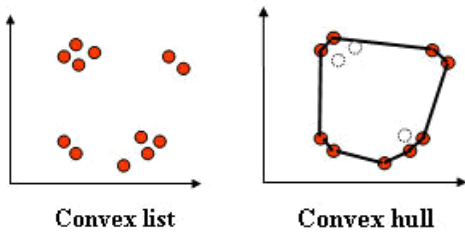
Fig.4 Modified Slice Plane

3.2 Convex Hull

새롭게 정의된 분할 평면을 이용하여 로봇의 동작영역을 스캔하면, [Fig.5]와 같이 장애물은 새롭게 정의된 분할 평면의 공간 안에 중첩되는 양상을 띠는 것을 유추할 수 있다.



(a) Intersection Points



(b) Points Overlap (c) Outer Line Generation
Fig.5 Graham's Method

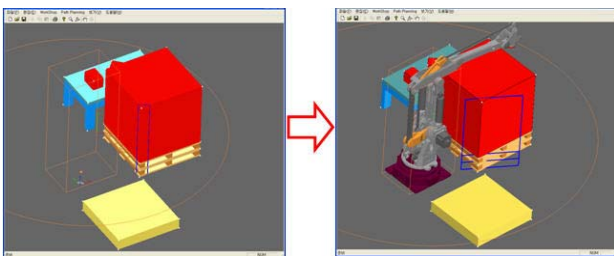


Fig.6 Effect of Modified Slice Plane

이는 결과적으로 기존의 -로봇의 두께 및 안전 거리를 고려하지 않은- 분할 평면에 비해 장애물 에 대한 로봇의 안전거리가 확보된 장애물 정보를 얻을 수 있다. [Fig.6]

3.3 로봇의 두께의 고려 (II)

전절에서 언급한 수평적 로봇 두께의 고려에 추가하여, 실제 3차원 공간상에서의 로봇팔의 체적 및 로봇의 말단부에 장착되는 팔래타이징 작업 관련 작동기의 체적을 고려한 추가적인 처리가 필요하다. [Fig.7]은 본 연구에서 적용한 로봇의 수직방향에 대해 설정한 물리적 경계조건을 도시하고 있다.

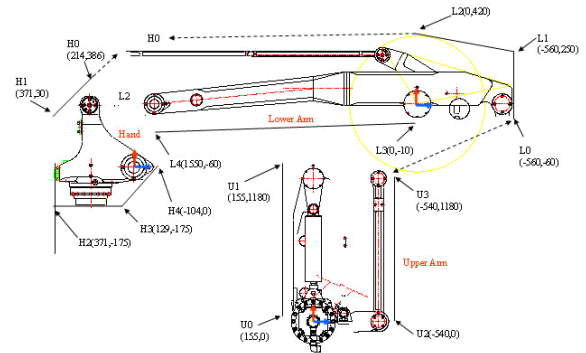


Fig.7 Setting of Physical Constraint of Palletizing Robot

3.4 수정 A* 알고리즘을 이용한 경로 생성

시물레이션 결과를 분석해 보면, 로봇 몸체의 체적을 고려하였을 때와 그렇지 않을 때 -막대기로 간주- 의 시물레이션의 속도가 현저하게 차이 난다는 것을 알 수 있다. 본 연구의 대상인 로봇 팔래타이징 작업의 특성상 1회 단위작업마다 적재물이 적재되므로, 다음 작업을 위해 로봇이 공간을 스캔하였을 때, 장애물의 형상이 변경된 것으로 인식된다. 이러한 경우, A*알고리즘의 시물레이션 결과는 작업 시간의 측면에서 불안정한 결과를 보였다. [Table.2]를 참고하기 바란다.

다음절에서는 실제 로봇의 체적을 고려하고, 매번 스캔한 형상공간상에서의 장애물의 형상이 변하는 팔래타이징 작업의 특징을 고려한- 새로운 알고리즘을 제안하려 한다.

4. 장애물 중첩법 (Overlap Method)

시물레이션 프로그램의 성능을 좌우하는 것은

연산속도이다. 본 연구의 목적은 변하는 장애물과 주변 환경에 대응하는 사용자 친화적 로봇팔 레타이징 시뮬레이터를 제안하는 것이다. 전절에서 기존의 A*알고리즘과 로봇의 실제 체적을 고려한 수정 A*알고리즘을 시뮬레이션 하였으며, 변하는 작업 환경에 따라 불규칙하고 느린 계산 속도의 양상을 보임을 확인할 수 있었다.(Table.2 참조) 본 연구에서는 분할 평면에 의한 장애물 생성에 있어서 새로운 방법을 제안하고자 한다. 본 방법은 분할 평면에 의하여 생성되는 장애물의 단면 정보를 한꺼번에 한 평면에 중첩시켜 처리하는 방법으로서 로봇이 적재물을 집는 작업(Pick-up)부터 내려놓는 동작(Place-down)까지의 모든 동작에서 발생하는 장애물들을 처리할 수 있는 장점이 있다.[Fig.8] 이러한 중첩 장애물에서의 이동거리를 최적화하기 위해서 아래의 식을 제안한다.

$$T_{opt} = \min(l_1 + l_2)$$

T 는 하나의 작업물을 처리하는데 필요한 총 이동거리이며, l_1 은 작업물을 집어 올리는 시적점부터 중첩 장애물의 외곽선까지의 거리, l_2 는 중첩 장애물의 외곽선으로부터 작업물을 내려놓는 위치까지의 거리를 의미한다.

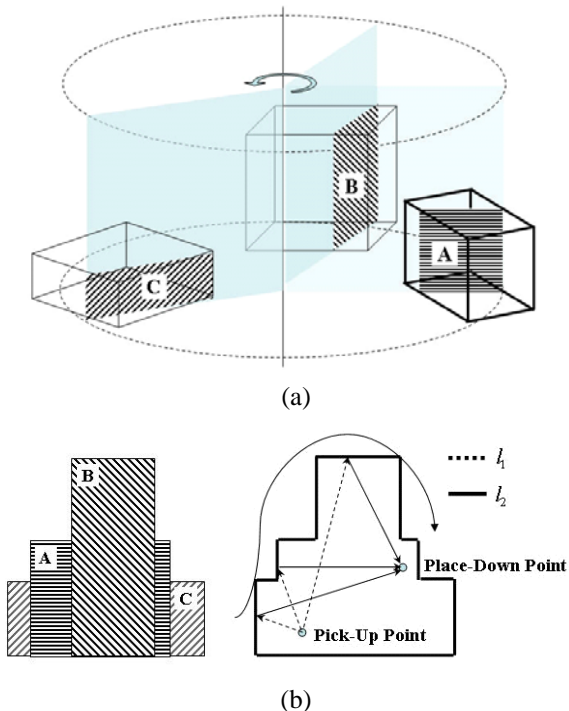


Fig.8 Overlap Method

5. 결론 및 고찰

본 논문에서는 지난 연구에서 제안한 적재물 패턴 생성 알고리즘 및 3차원 로봇시뮬레이터를 기반으로 하여 그것의 최적경로를 생성하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 이는 기존의 분할 평면 기법 및 A*알고리즘을 개선한 방법으로서 팔레타이징 작업에 초점을 맞춘 알고리즘이다. [Table.2]에서 기존의 방법과 본 연구에서 제안된 방법에 의해 시뮬레이션 한 결과를 비교, 도시하였다.

Table.2 Simulation Results of A*Algorithm, Modified A*Algorithm and Overlap Method

Step	Time (Sec.)		
	Line(A*)	Volume(A*)	Overlap Method
1	0.014051	2.380194	0.412106
2	0.01543	2.066007	0.427587
3	0.01558	1.857863	0.415959
4	0.017952	2.318304	0.43101
5	0.014286	2.265576	0.411975
6	0.016003	2.213547	0.422834
7	0.013669	1.360996	0.443131
8	0.014206	2.20403	0.440602
9	0.016555	1.328561	0.454023
10	0.015094	1.298407	0.438623
11	0.017387	1.660548	0.466195
12	0.01523	1.298854	0.4273
13	0.01889	0.886562	0.46002
14	0.01344	1.159015	0.428835
15	0.016348	1.091212	0.43728
16	0.01413	1.301314	0.424192
17	0.017107	0.386479	0.464915
18	0.016205	0.429178	0.47078
19	0.017836	0.361664	0.484123
20	0.014301	0.389356	0.439179
21	0.020215	0.278059	0.491373
22	0.014119	0.408476	0.441098
23	0.018028	0.288906	0.466881
24	0.014902	0.295928	0.439116

[Fig.9]에 도시한 결과에서 확인할 수 있듯이, 기존의 A*알고리즘은 로봇의 체적을 고려하지 않았을 때에는 우수한 시뮬레이션 시간을 보이 나, 로봇의 체적을 고려함과 동시에 시뮬레이션 성능이 극도로 불안정하고 느려짐을 알 수 있다. 이에 비해, 본 연구에서 제안한 장애물 중첩법은

수정 A*알고리즘에 비해 현저하게 짧은 시뮬레이션 시간과 안정성을 보이고 있음을 확인할 수 있었다.

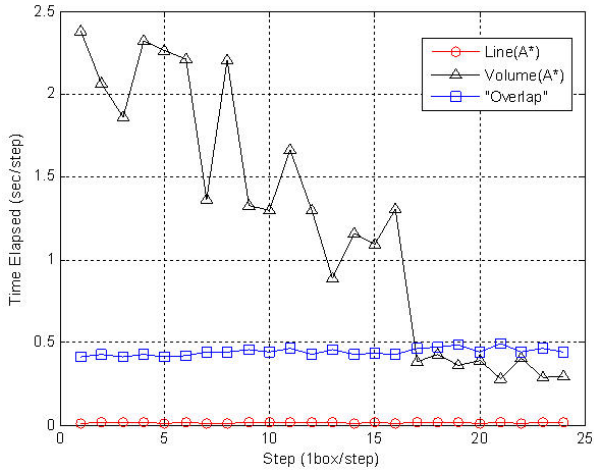


Fig.9 Comparison of Simulation Results of Three Approaches

Fig.10은 이러한 알고리즘을 적용한 팔레타이징 시뮬레이터의 작업 시뮬레이션을 나타내고 있다. 향후 계획은 본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능 개선 이외에, 이러한 Off-line S/W를 실제 로봇 제어기와 연결하여 실제 작업에서의 시뮬레이션 성능 평가를 실시하고 사용자 편의성을 강화한 인터페이스를 디자인하는 것이다.

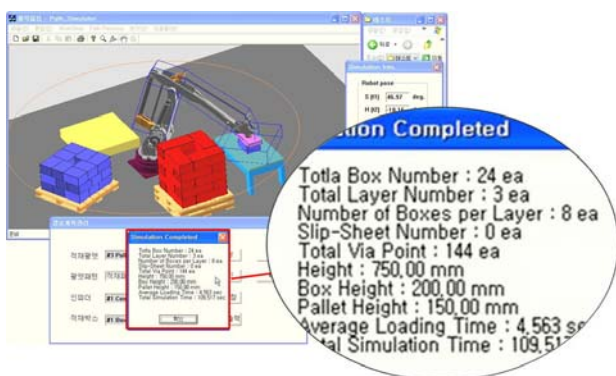


Fig. 10 Prototype of Robot Palletizing Simulator Using Overlap Method

참고문헌

(1) Phillip John McKerrow, "Introduction to Robotics, Addison-Wesley Ltd, pp.484, 1991
 (2) Sung-jin Lim, Seung-nam Yu, Maing-kyu Kang,

Chang-soo Han, Young-hoon Song and Sung-rak Kim, "The Development of Robot Palletizing Simulator Based on Pattern Generation Algorithm and Trajectory Optimization Technique", In proceeding of Korean Society of Mechanical Engineers pp. 532-536, 2006

(3) "Roy, Debanik", "Study on the Configuration Space Based Algorithmic Path Planning of Industrial Robots in an Unstructured Congested Three-Dimensional Space: An Approach Using Visibility Map", Journal of intelligent & robotic systems, 2005, v.43 no.2/4, pp.111-145
 (4) J. H. Kim, J. S. Choi, H. Y. Kang, D. W. Kim and S. M. Yang, "Collison-Free Path Planning of Articulated Robot using Configuration Space", In proceeding of Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 2, No. 6, pp. 57-65, 1994
 (5) Charles W. Warren, "Fast Path Planning Using Modified A* Method", In proceeding of IEEE, pp. 662-667, 1993
 (6) T. Lozano-Perez, "A Simple Motion Planning Algorithm for General Robot Manipulators", IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. RA-3, No.3, 1987
 (7) C.W Warren, J.C. Danos, and B.W. Mooring, "An Approach to Manipulator Path Planning", The International Journal of Robotics Research, Vol.8, No.5, pp. 87-95