

컨베이어 추적알고리즘을 이용한 로봇의 최소 추적시간 알고리즘

신익상, 문승빈
세종대학교 컴퓨터공학과
e-mail: sbmoon@sejong.ac.kr

Minimum-time tracking algorithm for robots on conveyor system

Ik Sang Shin and Seungbin Moon
Dept. of Computer Engineering, Sejong University

요 약

이 논문은 작업 대상물(object)을 최소 시간으로 interception 하기 위한 방법에 대하여 기술한다. 목표는 로봇이 world coordinate system을 기준으로 x축으로 이동하는 컨베이어 라인 상에서 이동되는 작업 대상물을 intercept 하는 것이다. 컨베이어 시스템이 최소의 시간으로 작업 대상물을 intercept 하기 위해서는 다음의 주요 계획이 필요하다. 첫째는 최적의 object과 end effector의 meeting point 선택, 두 번째는 첫 번째 계획이 실패를 이루기 위한 로봇의 trajectory 선택이다. 두 가지의 계획 중 여기서는 두 번째 계획이 최적이라고 가정하고 첫 번째 계획법 즉, 컨베이어 시스템 로봇을 이용한 작업 대상물의 gripping 동작을 행함에 있어서 최소 시간으로 작업대상물을 gripping 하기 위한 컨베이어 시스템과 minimum time gripping 알고리즘이 제시된다.

1. 서 론

공장 자동화 시설의 한 요소인 robotic system의 중요한 특징 중 하나는 생산라인 상에서 연속적으로 진행되는 작업 대상물을 손실 없이 빠르게 처리하는 것이다. 효율적인 작업 대상물 처리를 위해서는 작업 대상물을 interception 하는 능력이 필수적이다. 작업 대상물을 획득하는 공통적인 방법은 예측, 계획, 실행 기법이다[1]. 로봇의 workspace 상에서 object의 motion이 예측되기 위해서는 object 감지가 필수적이며 그 중 visual sensing device가 많이 이용되고 있다. 생산 시스템에서 로봇 비전의 이용은 제조공정의 다품종 소량 생산 체제로 변화함에 따라 작업물의 변화에 대처하여 object의 information을 획득하는 데 있다. 이러한 비전 정보를 바탕으로 이동하는 작업 대상물을 보다 정확하고 빠르게 인식 추적하여 작업의 효율을 최대로 증진시킬 수 있다

[2],[8].

Papanikolopoulos는 conveyor tracking을 위한 비전정보추출을 위해서 SSD optical flow기법을 이용하여 object의 motion을 계산 하였다[3]. Tsakiris는 3차원 object의 visual tracking을 위한 수학적 이론을 제시[4]하였고, Rembold는 object의 위치와 방위를 template matching 방식으로 계산하고 gripping 영역은 칼만 필터를 이용하여 연속적으로 추정하는 방법을 제시 하였다[9].

본 논문의 conveyor tracking 시스템에서는 object의 변위가 world coordinates기준으로 x축으로 되고 이동되는 object를 인식하기 위해 object 인식위치에 static 카메라를 부착하여 object를 인식하도록 하였다. object 인식 방법으로는 difference image technique, optical flow을 이용한 기법[10]이 연구되었다. 최소 이동 경로를 찾기 위한 minimum time

trajectory기법으로서 Rajan[5]은 두 지점간의 최소 path를 찾기 위해 path를 파라미터화 하고 path planner로부터 얻은 path들을 주어진 path와 비교하여 가장 가까운 path를 찾았고, Shin[6]은 두 지점 사이를 로봇에 의해 이동하는데 필요한 시간의 lower bound를 도출하고 이 경계를 최소화하는 path의 형태를 결정하는 방법을 제시하였다. 로봇의 end-effector와 목표점간을 최소시간으로 이동하기 위해서는 위에서 언급된 로봇 trajectory 기법과 object interception time의 최소화 기법이 필요하다. Croft[7]는 이동중인 object를 interception하기 위하여 개선된 APPE(active prediction, planning and execution) 시스템을 제안하였다. 로봇이 목표점에 이동하기 위해서는 반복적인 inverse kinematics 계산이 필요하므로 컨베이어 시스템과 같이 대상물이 시간에 따라 이동되는 경우 작업물의 위치에 대하여 inverse kinematics계산은 제한을 받게 된다.

본 논문에서는 이러한 계산적 비용을 줄이면서 최소시간으로 로봇의 목표점을 계산하는 알고리즘을 제시한다. 논문의 순서는 제2절에서 제시된 시스템 개요를 보이고 제3절에서 비전기능의 역할, 그리고 제4절에서 object interception time의 최소화를 위한 방법을 제시하고 마지막 절에서는 결론을 제시한다.

2. 시스템 개요

그림1은 연구를 위한 컨베이어 시스템의 구성형태이며 static CCD camera, FARA AT2(SAMSUNG) 로봇, robot controller 그리고 비전처리를 담당하는 host computer로 구성되었다. 본 시스템에서 컨베이어의 방향은 로봇 좌표(world coordinates)에 대하여 x축 방향으로 이동하며 카메라가 z축에 설치되어 object을 캡처한다.



그림1. 컨베이어 실험 장치

그림2에서의 영역 중 최초 gripping 영역과 마지막 허용 gripping 영역사이에서 최소시간으로 gripping 할 수 있는 위치를 후보영역들 중에서 찾는 것이 본 논문의 목적이다.

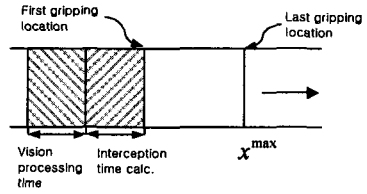


그림2. conveyor belt의 처리 영역

그림3은 gripping을 위한 후보 영역들을 보이고 있으며 object의 각 예측영역에서의 로봇의 motion시간 T_i 를 나타내고 있으며 T^* 는 최적의 gripping 시간을 나타낸다. 여기서 $s(t)$ 는 시스템 시간 $t=t_i$ 에서의 위치, $s'(t)$ 는 그 위치에서의 속도이다.

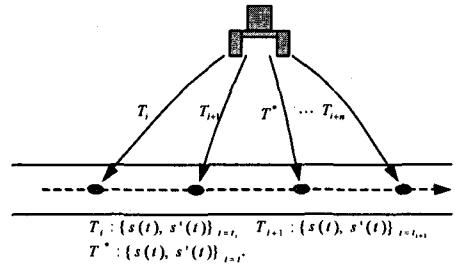


그림3. 최소시간 gripping 후보 영역

3. 비전의 역할

본 시스템에서 비전의 기능은 컨베이어 상에 이동되는 object를 감지하고 features(position, area)를 추출하여 interception planning의 입력 데이터로 사용하게 된다. 이를 위한 비전 정보를 추출하는 단계는 다음과 같다.

- 단계1: template image(object)를 등록한다.
- 단계2: CCD 카메라(static)로부터 연속적인 두 영상(Frames)을 입력받는다.
- 단계3: target의 현재 위치를 알아내기 위해서 단계2에서 입력받은 영상 Frame중 첫 번째 image frame에서 정규화 된 correlation을 수행하여 object의 현재 위치를 인식한다.
- 단계4: 두 번째 image frame에서 동일방법으로 object 추출한다.
- 단계5: 두 frame에서 object사이의 변위 계산.
- 단계6: 계산된 변위 벡터는 벡터 큐에 저장한다. 벡터 큐는 object이 연속적으로 유입됨을 고려하여 각 object의 데이터를 일시 저장하기 위함이다.

4. Interception 영역 계획

4.1 로봇 궤적 계획(trjectory planning)

그림4는 전체 프로그램 흐름도를 나타내고 있으며 object를 interception하기 위해서는 로봇 궤적 계획, interception point 선택 알고리즘이 필수적이다. 본 논문에서는 object interception point 선택 알고리즘만을 고려한다. 그림4에서 보이는 바와 같이 여러 개의 object를 고려하여 비전으로부터 계산된 각 object의 변위와 시간정보를 벡터큐에 넣는다. 벡터 큐에 저장된 변위와 시간정보를 로봇기준좌표로 변환하여 계산된 로봇 궤적과 함께 interception 영역을 계산한다.

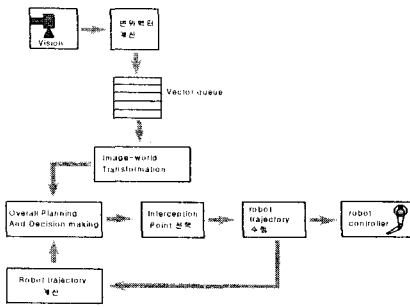


그림4. 프로그램 흐름도

로봇이 최적의 시간으로 한 지점에서 다른 지점으로 이동하기 위해서는 최적의 trajectory가 필요하다. 그림5는 로봇의 trajectory pattern을 만들기 위한 가중된 가·감속 기준 파형을 보여주고 있다.

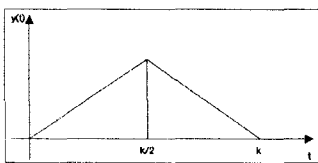


그림5. 가·감속시 속도 패턴 생성용 기준파형

그림5의 가 감속커브 패턴은 식 (1), (2)와 같이 표현되며 그림5에 의해 만들어진 가 감속 패턴의 특징은 부드러운 패턴의 변화로 인하여 jerk에 의한 기계적 충격을 최소화 할 수 있는 장점을 갖고 있다.

$$y(t) = \begin{cases} \frac{t}{k/2} & t \leq k/2 \\ \frac{-(t-k)}{k/2} & k/2 \leq t < k \end{cases} \quad (1)$$

$$y(t)_n = \sum_{i=0}^{k-1} y_{i-1} + y(t), \quad y(t) = y(t)_n \quad (2)$$

그림6은 가속시의 각축의 position 및 가·감속 패턴 변화를 나타낸다. 각 축의 position은 시간(편의상 시간개념의 순서열 인덱스)에 따라 초기위치로부터 목표 위치까지의 각축 position을 servo motor 입력 pulse 개수로 나타내었다. 위 커브의 장점은 그림6에서와 같이 급격하지 않은 가·감속이 이루어져 jerk의 영향으로 로봇에 가해지는 스트레스를 줄여 줄 수 있다. 등속구간은 최대 속도 V_{max} 을 유지하며 감속구간은 가속 구간과 같은 패턴을 유지한다.

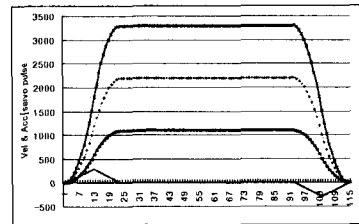
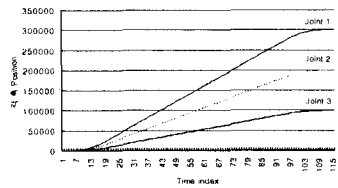


그림6. 로봇의 각축 position 및 속도와 가속도 변화

4.2 관절각의 선택

관절각을 구하기 위하여 6축 로봇에 대한 D-H 변환을 통하여 inverse kinematics를 통하여 각축의 coordinates를 구하였다. 역 기구학으로부터 구해지는데는 다수 해가 존재 할 수 있기 때문에 구하여진 여러 개의 해 중 하나를 선택해야 한다. 선택 기준은 로봇의 기구적·공간적 허용 가능영역의 조인트 관절각 중에서 다음과 같이 각 조인트 관절각에 가중치를 두어 가중된 곱의 합을 구하여 그 값 중에서 최소가 되는 값을 최적 값으로 고려하였다.

$$q_i = \alpha_1 q_{i1} + \alpha_2 q_{i2} + \alpha_3 q_{i3}$$

$$q_{min} = \min \{ q_i \} \quad (3)$$

여기서 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 는 각 관절의 가중치, q_{ij} 는 j 번째 관절의 i번째 해 값이다. 로봇의 관절 각 결정에 사용되는 조인트는 로봇의 베이스로부터 3개의 조인트로 구성되었다. 식(3)으로부터 관절의 이동을 최소화하는 값을 얻을 수 있다.

4.3 Object의 최소시간 Interception 계획

로봇이 object를 interception하기 위한 계획은 다음과 같이 6단계로 나누어 생각할 수 있다.

단계1: 로봇의 end-effector의 초기 위치를 설정한다.(최초의 위치는 주어진 것으로 가정)
(반복 루프 카운터 $j = 0$, $setFlag = 0$)

단계2: 비전 정보로부터 추출된 현재 위치와 컨베이어 속도 V_b 정보를 이용하여 conveyor상의 최초 및 마지막 interception point를 설정한다.(컨베이어 속도는 일정하다고 가정)

단계3: 앞의 두 포인트에 대하여 각각 최초, 마지막 위치의 예측 interception시간 (t_i, t_f)을 계산한다. (t_i, t_f 는 system time기준이며 t_i 는 로봇체적 처리시간+최초지점까지 로봇의 예상 도달 시간임)

단계4: 단계3에서 계산된 두 interception time을 평균하여 두 부분으로 나눈다.(setFlag가 1이면 두 분리영역에 대하여 (4)식을 계산)

$$t_m = (t_i + t_f) / 2 \tag{4}$$

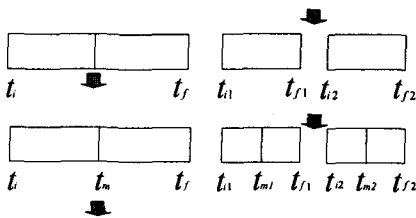


그림7. 탐색시간 구간

단계5: t_m 을 중점으로 두 부분으로 나누어진 영역을 아래와 같이 조건 비교 후 값을 갱신함.

1) $setFlag = 1$ 일 경우 t_{r21} 과 t_{r22} 를 비교하여 작은값을 갖는 영역의 값으로 t_i, t_f 를 갱신후 $setFlag = 0$ 으로 설정.

$$(t_{r21} = t_{i1} + t_{m1} + t_{f1}, t_{r22} = t_{i2} + t_{m2} + t_{f2})$$

2) $t_i > t_f$ 이면 $t_i = t_m$

3) $t_i < t_f$ 이면 $t_f = t_m$

4) $\Delta t \leq t_r$ 이면 두 영역으로 분리한다. ($setFlag$ 를 1로 설정)

$$t_{i1} = t_i, t_{f1} = t_m, t_{i2} = t_m, t_{f2} = t_f$$

(단, $\Delta t = t_i - t_f, t_r$ 은 허용오차범위)

단계6: 1) $j \leq k$ 이면 $j = j+1$, 단계4~5를 반복

2) $j > k$ 이면 t_i, t_f 중 작은 값을 최소 interception 시간으로 선택한다. (단, $k =$ 계산을 위해 주어진 시간/1회당 처리시간)

5. 결론

본 논문에서는 컨베이어 추적알고리즘을 이용한 로봇의 최소 추적시간에 관한 계획을 제시하였다. 컨베이어시스템에서 이러한 알고리즘의 성공 여부는 로봇 궤적이 얼마나 효율적으로 수행되느냐에 달려 있다. 이러한 system은 생산 공정에서 필요할 것이다. 제시된 계획에 따라 로봇 trajectory의 적절한 효율성과 함께 로봇의 end-effector와 object 이 최소접근시간에 최적의 점에서 만나게 된다. 현재 이러한 계획과 더불어 보완된 계획을 6축 로봇 시스템에 적용하여 연구 중에 있다.

참고문헌

- [1] R. Sharma, J.-Y. Herve, and P. Cucka, "Dynamic robot manipulation using visual tracking," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, vol.2, pp.1844-1849, May 1992.
- [2] 조월상, "이동물체 포착을 위한 비전 서보 제어 시스템 개발" 부경대학교 대학원 전기공학과 학위 논문, pp.6-30, Feb, 2000.
- [3] N.P. Papanikolopoulos, P.K. Khosla, and T. Kanade, "Visual tracking of a moving target by a camera mounted on a robot: a combination of control and vision", *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol.9, pp. 14-35, Feb. 1993.
- [4] D.P. Tsakiris, "Visual Tracking Strategies" *Master's thesis in Dept. of Electrical Eng., Univ. of Maryland College*, 1988.
- [5] Rajan, V. "Minimum time trajectory planning" in *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, vol.2, pp.759-764, Mar 1985.
- [6] S. Kang and N. McKay, "Selection of near-minimum time geometric paths for robotic manipulators", *IEEE Trans. on Automatic Control*, vol.31, pp.501-511, Jun 1986.
- [7] E.A. Croft, R.G. Fenton, B. Benhabib, "Time-optimal Interception of objects moving along topologically varying paths" *IEEE Int. Conf. on*, vol.5, pp.22-25 Oct. 1995
- [8] 방성호, 문승빈, "연속된 영상정보를 이용한 물체 추적 시스템 구현", 제18회 한국정보처리학회 추계 학술 발표대회 논문집, 제9권 제2호, pp.653-656, Nov. 2002.
- [9] D.Rembold, U. Zimmermann, and T. Langle, "Detection and handling of moving objects" in *Proc. IEEE 24th Annual Conf.*, vol.3 pp.1332-1337, Sept. 1998.
- [10] B.K.P. Horn, B.G. Schunck, "Determining optical flow" *Artificial Intelligence* 17, pp.185-203, 1981.