

# 컨베이어 상의 이동 물체 획득을 위한 로봇의 최소시간 알고리즘

## Minimum time Algorithm for intercepting a Moving Object on Conveyor System

신익상, 문승빈  
(Ik Sang Shin, Seungbin B. Moon)

**Abstract**— This paper focuses on planning strategies for object interception, especially with minimum time. Herein, the goal is for robot to intercept object with minimum time on a conveyor line that flows to x-axis with respect to world coordinate system. In order to do it, conveyor system needs the algorithms for minimizing time. This objective is achieved by solving about two problems: selection of a minimum-time interception point and planning of an optimal robot trajectory. Herein, the first problem is formulated a minimization of the robot-object interception time.

**Keywords:** minimum time, interception, path, object, conveyor

### 1. 서론

공장 자동화 시설의 한 요소인 로봇시스템의 중요한 특징 중 하나는 생산라인 상에서 연속적으로 진행되는 물체를 손실 없이 빠르게 처리하는 것이다. 효율적으로 물체를 처리하기 위해서는 물체를 최소시간으로 획득하는 능력이 필수적이다 [1] [2]. 그러나 컨베이어상에서의 대상물은 시간에 따라 이동되므로 작업물의 위치에 대하여 알고리즘 수행시간은 제한을 받게 된다. 본 논문에서는 물체획득시간을 최소화하기 위한 최소시간 물체획득 알고리즘을 제시한다.

### 2. 최소시간 물체 획득 알고리즘

일반적으로 로봇이 이동물체를 획득하기 위해서는 로봇의 도착시간이 컨베이어상의 이동물체의 도착시간보다 빨라야 가능하며 따라서 물체를 획득할 수 있는 획득가능영역 (admissible region)은 그림 1의 (a)에서 보는 바와 같이 로봇이동시간곡선이 물체이동시간 곡선보다 아래에 있는 영역이 된다. 그림 1에서 직선으로 표시된  $t_o(x)$ 는 물체의 도착시간을 나타내고 점선으로 표시된  $t_r(x)$ 는 로봇의 도착시간을 표시한다. 로봇이 물체를 획득할 수 있는 최초의 후보 영역을  $[x_{1f}, x_{1r}]$  사이로 표시하며 최초 후보영역 중에서 획득 가능한 해가 존재한다고 가정한다.  $t_o(x)$ ,  $t_r(x)$ 는 각각 물체와 로봇의 도착시간을 나타내는데 물체의 도착시간은 컨베이어 상에서 이동하는 물체의 도착시간인데 미리 알려지는 것으로 가정하며 일반적으로 일정 속도 즉  $t_o(x) = k \cdot x$  ( $k$ 는 상수)라고 가정한다. 그러나 로봇의 도

착시간은 일반적으로 미리 알려지지 않는다. 그림 1의 가로축은 작업 가능 영역  $X$ 이며  $x_{1r}, x_{1f}$ 는 1 단계에 물체를 획득할 수 있는 처음과 마지막 지점의 후보 위치 그리고  $x_{1m}$ 는 두 위치의 중간 값을 나타낸다.

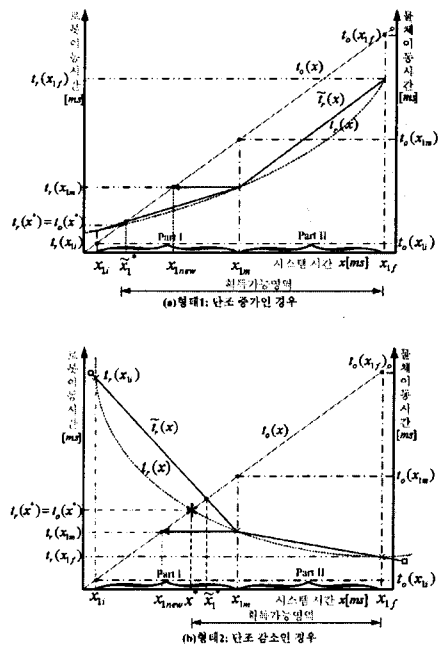


그림 1. 형태별 솔루션.  
Fig. 1. Solutions for each configuration

그림 1에서 세로축은 각각 로봇(좌축)  $t_r(x)$  과 컨베이어의 도착시간(우축)  $t_o(x)$ 을 나타낸다. 두 커브의 교점이 구

### 저자소개

신익상: 세종대학교 컴퓨터공학과 박사과정  
문승빈: 세종대학교 컴퓨터공학과 부교수·공박

하고자 하는 솔루션인데 이 솔루션은 로봇의 초기 위치에 따라 목표점에 도달하는 시간은 많은 영향을 받는다. 예를 들어 로봇이 컨베이어의 중앙에 위치하고 있는 경우에는 솔루션의 형태는 포물선의 형태가 된다. 이런 경우 해가 두 개가 존재 할 수도 있지만 나머지 한 개는 최적의 해가 아니므로 고려대상에서 제외 되었다. 로봇의 초기 위치가 마지막 부분에 있는 경우 솔루션의 형태는 그림 1-(b)와 같은 모양이 된다. 세 개의 초기 지점에 의해 직선화된 커브(그림 1에서  $\tilde{t}_r(x)$ )가 식(1)로 부터 형성된다. 그림 1과 같은 곡선의 형태로부터 최소시간으로 물체를 획득하기

$$\tilde{t}_r(x) = \begin{cases} \frac{t_r(x_m) - t_r(x_i)}{x_m - x_i}(x - x_i) + t_r(x_i) & \text{if } (x_i \leq x < x_m) \\ \frac{t_r(x_f) - t_r(x_m)}{x_f - x_m}(x - x_m) + t_r(x_m) & \text{if } (x_m \leq x \leq x_f) \end{cases} \quad (1)$$

위한 알고리즘을 다음과 같이 나타내었다.

1.  $n = 1$ .
2. 컨베이어상에서 세 개의 초기 후보 지점의 시간을 선택한다. 이때 세 개의 지점의 위치  $x_{ni}, x_{nf}, x_{nm}$ 은 각각 획득 가능한 최초 지점과 마지막 지점 그리고 중간 지점의 위치이다. 그리고 현재까지 가장 좋은 최소 근사 획득 위치  $\tilde{x}^* = 0$ 으로 설정한다. (단, 물체의 이동시간 곡선  $t_o(x)$ 는 정확히 알려져 있다고 가정.)
3.  $x_{ni}, x_{nf}, x_{nm}$ 에 대한 로봇의 도착시간  $t_r(x_{ni}), t_r(x_{nf}), t_r(x_{nm})$ 과  $t_o(x_{ni}), t_o(x_{nf}), t_o(x_{nm})$ 를 계산한다.
4.  $x_{ni} \leq x < x_{nm}$  구간과  $x_{nm} \leq x < x_{nf}$  구간의 로봇의 근사 커브  $\tilde{t}_r(x)$ 을 형성한다.

$$\tilde{t}_r(x) = \begin{cases} \frac{t_r(x_m) - t_r(x_i)}{x_m - x_i}(x - x_i) + t_r(x_i) & \text{if } (x_i \leq x < x_m) \\ \frac{t_r(x_f) - t_r(x_m)}{x_f - x_m}(x - x_m) + t_r(x_m) & \text{if } (x_m \leq x \leq x_f) \end{cases}$$

5. 세 포인트의 후보 획득시간 중에서 중간 값인  $x_{nm}$  지점에서  $\tilde{t}_r(x_{nm}) = t_o(x_{nnew})$ 일 때의  $x_{nnew}$ 을 구한다. 또한  $x_{nnew}$ 일 때의 컨베이어상의 좌표와 로봇의 각 이동량 및 로봇 이동시간을 계산한다.
6. 후보 획득위치  $\tilde{x}^*$ 을 추정하고 이에 대한 좌표와 로봇의 각 이동량 및 로봇의 이동시간을 계산한다.
7. 과거의 가장 좋은 획득위치가  $\tilde{x}^*_{prev}$ 일 때  $\tilde{x}^* \neq 0$ 이면  $|(t_r(\tilde{x}^*_{cur}) - t_r(\tilde{x}^*_{prev}))| < t_m$  인지 판단한다. 조건이 참이면  $x^* = \tilde{x}^*$ 가 되도록 설정하고 단계11로 이동한다. 그렇지 않으면 다음 단계

로 간다.

$$8. \tilde{x}^*_{prev} = \min_{j=1}^{n-1} \{\tilde{x}_j^*\} \text{로 초기화하고 } \tilde{x}^*_{prev}$$

에 대응하는 시간  $\hat{t}$ 을 기록하고  $n = n + 1$ .

9. 새로운  $x_{ni}, x_{nm}, x_{nf}$ 을 영역에 따라 업데이트한다. (여기서  $k=1$ 인 경우는 임의 초기값)

A. Part I인 경우:

- (a)  $(x_{knew} \leq \tilde{x}_k^* \leq x_{km})$ 이면

$$x_{(k+1)i} = x_{knew}, x_{(k+1)m} = \tilde{x}_k^*, x_{(k+1)f} = x_{km}$$

- (b)  $(x_{ki} \leq \tilde{x}_k^* < x_{knew})$ 이면

$$x_{(k+1)i} = x_{ki}, x_{(k+1)m} = \tilde{x}_k^*, x_{(k+1)f} = x_{knew}$$

B. Part II인 경우:

- (a)  $(x_{km} \leq \tilde{x}_k^* \leq x_{knew})$ 이면

$$x_{(k+1)i} = x_{km}, x_{(k+1)m} = \tilde{x}_k^*, x_{(k+1)f} = x_{knew}$$

- (b)  $(x_{knew} < \tilde{x}_k^* \leq x_{(k+1)f})$ 이면

$$x_{(k+1)i} = x_{ki}, x_{(k+1)m} = \tilde{x}_k^*, x_{(k+1)f} = x_{knew}$$

여기서,  $k=1$ 인 경우는 임의 초기값

10. 단계 3번으로 이동한다.

11. 계산된 최적의 획득시간  $t^*$ 인 지점으로 로봇을 PTP 방식으로 이동한다.
12. 물체 획득 모드로 전환하여 물체획득하기 위한 동작을 수행한다.

### 3. 시뮬레이션 및 결론

#### 3.1 시뮬레이션

시뮬레이션 조건은 로봇의 각 축이 동기적으로 동작하며, 최대 180deg/s로 움직인다. 실험에서 기준이 되는 좌표는 로봇의 베이스 (0.0, 0.0, 0.0)을 기준으로 하며 로봇의 초기각도 (0.0, -500.0, 102.26)에서 목표 지점으로 이동하되 가·감속구간은 최대 속도 까지 320[ms]동안 가·감속하고 등속구간은 최대 속도도 이동한다. 로봇의 1회 이동 계산 시간은 대략 10ms가 소요된다. 이때의 컨베이어 속도는 160mm ~ 500mm/s로 가변가능하고 이 실험에서는 물체는 400mm/s의 속도로 이동한다. 또한 컨베이어는 보통 작업 방향이 단 방향 이므로 X 좌표를 제외한 Y, Z 좌표는 각각 425mm, 200mm로 고정된 위치를 취하며 선형적으로 이동되는 것을 가정으로 하였다. 표 1은 최소시간물체 획득알고리즘과 이진탐색 알고리즘의 비교 결과이다. 실험은 알고리즘의 검증에 위하여 로봇의 초기 좌표를 목표점과 동지고 있는 자세로 설정 하였다. 실험의 결과인 표 1에

제시된 바와 같이 최소시간 물체획득알고리즘은 이진탐색알고리즘의 수행결과에 비해서 이동 계산회수와 소요시간 그리고 위치 오차가 현저히 적은 것을 알 수 있다.

표 1. 시뮬레이션 결과 비교

Table1. Simulation Results

알고리즘	항목	최소시간물체 획득알고리즘	이진탐색 알고리즘
모션계산회수 (회수)		7	12
로봇도착시간 (시스템 시간기준) [ms]		1108	1295
축각도 이동량 (절대치) [deg]		85.48	85.44
초기각 [deg]		-90.0	-90.0
컨베이어상 후보 좌표 X [mm]		39.45	43.75
소요시간 [ms]		70	120
실제 물체의 좌표 (X) [mm]		43.71	51.8
위치오차 [mm]		4.26	11.96

위치오차는 물체의 실제 이동위치와 최적의 획득 지점으로써 구해진 위치와의 차 위치이다. 그림 2는 제시된 계획에 따라 수행된 시뮬레이션 결과이며 시스템 클럭 기준시간에 대한 로봇과 물체의 획득시간을 나타낸다. 그림 2는 로봇의 원점을 기준으로 로봇과 물체가 만나는 교점이 1108ms에서 형성되는 것을 보여준다. 그림 2에 보이는 것처럼 로봇 궤적의 적절한 효율성과 함께 로봇의 공구 단이 물체를 최소접근시간에 최적의 지점에서 획득됨을 보여준다. 컨베이어 속도 400mm/s일 때 최적의 지점은 X축 좌표의 중간지점으로부터 +방향으로 39.45mm인 지점으로써 이 지점까지 로봇의 이동시간이 1.108s가 소요된다. 이 경우 물체가 먼저 도착하므로 물체를 획득하기 위해서는 로봇이 물체를 추적하는 경우이다.

### 3.2. 결론

본 논문에서는 컨베이어상의 이동물체 획득을 위한 로봇의 최소시간 알고리즘을 제안하였다. 로봇이 최소시간으로 물체를 획득하기 위해서 로봇과 물체의 교점을 포함하는 탐색 영역을 빠르게 축소함으로써 획득시간을 최소화 하였다. 알고리즘의 성능을 알아보기 위하여 시뮬레이션을 수행하여 이진 탐색 알고리즘과 최소시간 물체획득 알고리즘의 성능을 비교 하였다.

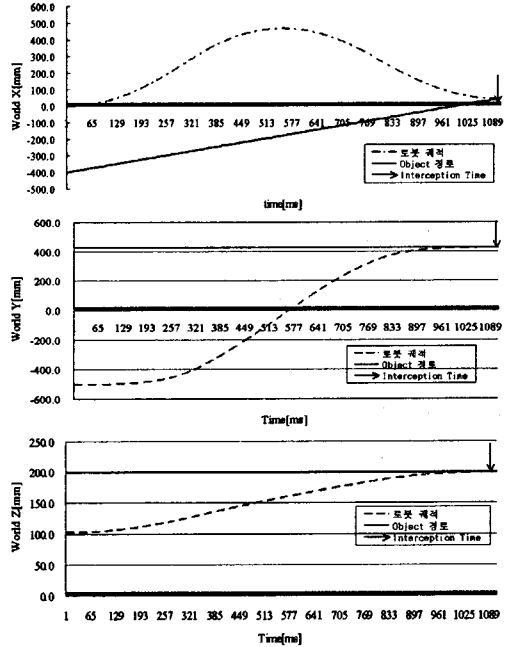


그림 2. 로봇과 물체의 획득.

Fig. 2. Robot Intercepting Object

비교 결과에서 제안된 방법은 수렴시간과 정확도 면에서 이진 탐색알고리즘 보다 좀더 나은 것을 알 수 있었다. 제시 알고리즘은 로봇을 이용한 생산시스템에서 빠른 물체 획득을 필요로 하는 환경에 적용될 수 있으리라고 사료 된다. 향후 연구 과제로서 정확한 획득 지점을 얻기 위해 로봇의 이동시간그래프와 물체의 이동시간그래프의 교점부분에서 로봇의 실제 이동시간그래프와 로봇의 직선화된 커브를 좀더 정확히 일치시켜야 할 연구가 계속되어야 할 것이다.

### 참고문헌

- [1] E.A. Croft, R.G. Fenton, B.Benhabib, "Time-optimal interception of objects moving along predictable paths" *IEEE International Symposium on*, pp.:419 - 425, 10-11 Aug. 1995.
- [2] D. Hujic, E.A. Croft, G. Zak, R.G. Fenton, J.K. Mills, B. Benhabib, "The robotic interception of Moving objects in Industrial Setting: Strategy Development and Experiment" *IEEE Transactions on*, vol. 3 Issue.3, Sept. 1998.