

다중 경계 로봇의 위치 추정을 위한 효율적인 측위 스케줄러의 개발 Efficient Geo-Positioning Scheduler for Multi-Social Security Robots

*#지상훈¹, 고우현¹, 이상무¹, 남경태¹, 박정섭¹, 손웅희¹

*S. H. Ji(robot91@kitech.re.kr)¹, W. H. Woo¹, S. M. Lee¹, K. T. Nam¹, J. S. Park¹, W. H. Shon¹

¹ 한국생산기술연구원

Key words : Multi-Social Security Robots, Positioning System, Scheduler, Priority

1. 서론

다수의 로봇은 수색/정찰에서의 시공간 효율성과 로봇 오작동에 대한 안전성에서 단일 로봇보다 우월하다. 이에 다수 로봇의 협력 운용에 관한 많은 연구들이 진행되었으며, 이 연구들은 집중형(Centralized)과 분산형(Decentralized) 방식으로 구분된다[1].

각 로봇을 하나의 제어 모듈로서 간주하고 전체 로봇 집합을 하나의 대형 시스템으로서 운영하도록 하는 집중형 방식은 운영의 최적 해를 제공하는 장점이 있다. 그러나, 이 방식에는 각 로봇들의 동작 상태를 알아야 하는 운영상의 어려움이 있다[2]. 이러한 현실적인 제약을 극복하고자 지능형 공간 또는 유비쿼터스 공간 개념을 도입함으로써, 중앙제어기에서 각 로봇의 동작 정보를 획득할 수 있도록 하는 방법들이[3] 제시되었으나, 이러한 방법들은 실내에서의 로봇 운영에 한정되어 활용되는 기술이었다.

야외 로봇의 상태 정보 획득을 위하여 Kim 등은 주국(Main Station)과 로봇 사이의 지상파 통신을 활용한 Time-of-Arrival(이하 ToA) 및 Direction-of-Arrival(이하 DoA) 기반의 로봇 측위 기법을 제시하였다. 그런데, 주국과 로봇의 동시 데이터 전송이 불가능한 이 기법을 다수 로봇에 활용하기 위해서는 폴링(Polling)과 같은 운영 방식이 필요하다.

이에 본 논문에서는 지상파 기반의 다수 경계 로봇의 측위 시스템에 활용될 측위 스케줄러를 제시하고자 한다. 이를 위하여 2 장에서는 위치 추정 시스템을 분석하고, 3 장에서는 다수 로봇을 위한 측위 스케줄러를 제시한다. 4 장에서는 실험 결과를 통한 본 논문에서 제시한 스케줄러 알고리즘의 타당성을, 그리고 5 장에서 결론을 제시한다.

2. 지상파 기반 로봇 위치 추정 시스템

본 논문에서는 그림 1 과 같이 지상파를 이용하여 주국이 이동 로봇까지의 직선 거리와 로봇의 방위각을 측정하고, 이 정보들을 이용하여 로봇의 위치를 추정하는 지상파 기반 로봇 위치 추정 시스템[4]을 이용한다. 이 측위 시스템은 직선 거리 측정을 위하여 동기화 과정이 필요 없는 Two-way-Ranging(이하 TWR) ToA 기법을 이용하고, 방위각은 선형 안테나를 활용한 DoA 기법을 이용한다.

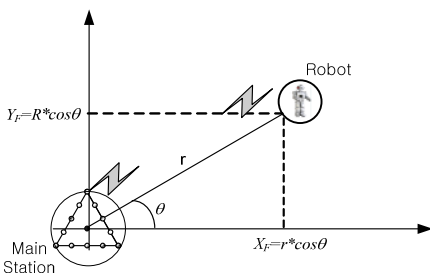


Fig. 1 2-dimension Positioning System

지상파 기반의 위치 추정 시스템의 위치 추정 오차는 식 (1)과 같이 추정 시스템의 센서 오차와 시간 지연에 의한 추정 오차로 분류된다.

$$E_{pos} = E_s + E_t \quad (1)$$

센서 오차(E_s)는 ToA 와 DoA 알고리즘에 사용되는 위치

추정시스템의 Clock 의 정밀도와 추정 알고리즘의 정확도에 의존한다. 이 값은 센서 시스템에 대한 실험을 통하여 최대 크기($E_{s,max}$)를 갖는 변수로 추정할 수 있다.

$$\|E_s\| \leq E_{s,max} \quad (2)$$

측정 시간 지연에 의한 측정 오차(E_t)는 이동 로봇의 모션 모델과 관련되어 있으며, 본 논문에서는 이동 로봇의 모션 모델로서 브라운 운동 모델을 사용하였다. 브라운 운동에서의 위치 추정 오차는 식 (3)과 같이, 지연 시간의 크기(T_{delay})와 이동 로봇의 최대 이동 속도(V_{max})와 관련 있다.

$$\|E_t\| \leq V_{max} * T_{delay} \quad (3)$$

이동 로봇의 최대 이동 속도는 이동 능력 실험을 통하여 얻을 수 있는 상수이므로 측정 지연 시간에 의한 측정 오차는 지연 시간의 크기에 비례한다.

TWR 측위 알고리즘은 그림 2 와 같다. 주국이 로봇으로 위치 추정 요구 신호를 전송하면(e_1), 로봇은 이 신호를 수신(e_2)한 후, 주국으로 응답 신호(e_3)를 전송한다. 주국은 응답 신호를 수신하고, ToA 와 DoA 알고리즘을 이용하여 로봇의 위치를 추정(e_4)한다. 주국은 로봇에 추정된 위치를 전송(e_5)하고, 로봇은 이 정보를 수신한다(e_6). 주국이 로봇에 요구 신호를 전송하는 시간이 t_1 과 t_3 이며, 주국이 로봇으로부터 응답 신호를 수신하여, 위치를 추정하는 시간이 t_2 와 t_4 이다. 일정 주가마다 위치 추정 절차가 동작할 경우, 주기는 t_3-t_1 과 같으며, 위치 추정 시간 지연은 t_4-t_2 이다.

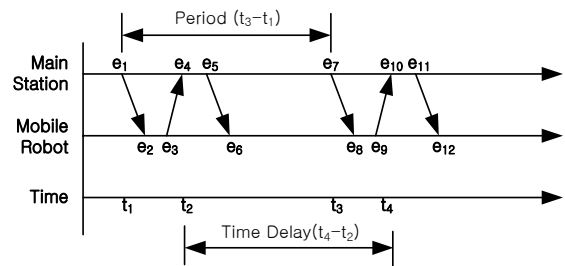


Fig. 2 Time Delay in Positioning Procedure

본 논문에서 사용하는 지상파 기반의 위치 추정 시스템에서는 로봇에서 요구 수신 후(e_2), 미리 설정해 놓은 일정 시간 후에 응답 신호를 전송(e_3)하므로, 주기와 시간 지연은 크기가 같다. 따라서, 식(1)은 식(2)와 식(3) 및 주기를 이용하여 다음과 같이 변경된다.

$$E_{pos} \leq E_{s,max} + V_{max} * T_{period} \quad (4)$$

여기서, T_{period} 는 이동 로봇 위치 추정 주기이다.

3. 다중 로봇 측위 스케줄러

다중 로봇 측위 시스템의 스케줄러를 개발하기 위하여 우선 각 로봇에 대하여 측위 실행 시간, 측위 주기와 측위 한계 시간(Deadline) 및 우선 순위를 결정하여야 한다.

(측위 실행 시간)

그림 2 의 측위 과정에서 $e_1 \sim e_6$ 에 이르는 시간과 e_6 이후 프레임 조정 시간의 합을 각 로봇에 대한 한 주기 내에서의 측위 작업의 실행 시간(T_{exec})으로 설정한다. 이 값은 모

든 로봇들에 대하여, 그리고 각 로봇들의 모든 위치에 대하여 동일하게 설정해 줄 수 있다.

(측위 주기와 한계 시간)

다중 로봇 측위 시스템에서는 각 로봇의 위치 추정 오차가 허용된 오차를 넘지 않도록 해야 한다. 이 조건은 식(4)와 같은 측위 주기로 표현될 수 있다.

$$T_{period} \leq (E_{pos_max} - E_{s_max}) / V_{max} \quad (5)$$

여기서, E_{pos_max} 는 허용된 위치 추정 오차이다.

그리고, 계산 편의를 위하여 각 로봇에 주어진 위치 측위 실행 시간의 정수 배가 되도록 설정하면, 측위 주기는 식(6)과 같이 측위 작업의 실행 시간을 이용하여 표현된다.

$$T_{period}(i) = \max(k * T_{exec}(i)) \leq (E_{pos_max}(i) - E_{s_max}(i)) / V_{max}(i) \quad (6)$$

여기서, i 는 로봇 식별 번호, k 는 정수, $T_{period}(i)$, $T_{exec}(i)$ 는 로봇 i 의 측위 주기와 실행 시간이다. 그리고, $E_{pos_max}(i)$, $E_{s_max}(i)$, $V_{max}(i)$ 는 각각 로봇 i 에 대한 허용된 최대 측위 오차, 최대 센서 오차 및 최대 이동 속도이다.

측위 작업이 끝난 후 재 설정되는 다음 측위 작업에 대한 수행 완료 시간의 한계는 현 작업이 끝난 시점에 각 로봇의 측위 주기를 더한 값으로 결정된다. 따라서, 각 로봇에 대한 상대적 한계 시간은 측위 주기와 동일하다.

(측위 우선 순위)

각 로봇에 대한 측위 작업은 동적 우선 순위 알고리즘으로 유명한 Earliest-Deadline-First(EDF) algorithm 에 의하여 결정한다. EDF 에 의한 우선 순위는 현 시점에서 한계 시간이 가장 가까운 작업에 높은 우선 순위를 배정하는 방법이다. 한계 시간이 같은 작업에 대해서는 동일한 우선 순위를 설정한다.

(측위 스케줄링 알고리즘)

EDF 에 의하여 결정된 우선 순위에 따라서 그리고 선점적(Preemptive) 방식에 의하여 수행될 측위 작업을 결정한다. 즉, 하나의 측위 작업이 완료되면, 각 로봇들에 대하여 한계 시간을 계산한다. 그리고 한계 시간까지의 시간이 가장 짧은 로봇에 대하여 측위 작업을 수행한다.

(실행 가능성의 확인 알고리즘)

Liu 에 의하면 모든 구성 작업의 상대적 한계 시간과 주기가 동일하며, 각 작업들의 수행이 독립적이며 선점적으로 수행되는 시스템의 하나의 Processor 내에서의 실행 가능성(Feasibility)의 여부는 전체 작업의 이용(Total Utilization)이 1 보다 작거나 같은가와 동일하다[5].

본 논문의 측위 시스템에서 동시에 두 개의 측위 작업이 수행되지 못하며, 각 작업간에는 선후 관계가 없는 독립관계를 가지고 있고 각 작업은 선점적으로 운영된다. 그리고 각 로봇에 대한 측위 작업의 상대적 한계 시간은 측위 주기와 동일하다. 따라서, 본 논문에서의 측위 시스템의 실행 가능성(모든 로봇의 측위 작업이 한계 시간을 놓치는 일이 없게 되는 상황)의 여부는 전체 작업의 이용이 1 보다 작거나 같은가의 여부로써 판별할 수 있다.

따라서, 각 로봇들에 대한 측위 작업의 (7)을 만족할 경우에, 실행 가능하다.

$$U = \sum_{i=1}^n T_{exec}(i) / T_{period}(i) \leq 1 \quad (7)$$

여기서, n 은 로봇의 총 수이다.

본 논문에서는 각 로봇에 대한 측위 실행 시간을 동일하게 설정할 수 있기에, 식(8)을 만족하는 시스템은 실행 가능하다고 판단할 수 있다.

$$\sum_{i=1}^n 1/T_{period}(i) \leq 1/T_{exec} \quad (8)$$

여기서, T_{exec} 는 모든 로봇들에 대하여 동일한 측위 실행 시간이다.

5. 실험 및 결과

본 논문에서 제시된 스케줄러 알고리즘의 타당성 검토를 위한 시뮬레이션으로서 우선 표 1 과 같은 동적 특성을 갖는 5 대의 로봇에 대하여 본 논문의 스케줄러 알고리즘을 적용한다. 식(6)을 이용한 측위 주기는 각각 0.1, 0.03, 0.07, 0.04, 0.05 초, 그리고 전체 작업은 1.0262 가 되며, 이 로봇들에 대한 측위 작업은 실행 가능하지 않다고 판단된다. 이러한 예측 결과는 로봇들에 대한 측위 작업을 EDF 에 따라 수행할 경우, 13 번째 단계에서 2 번째 또는 4 번째 로봇의 측위 작업이 실패함을 통하여 확인된다.

Table 1 Characteristic of Mobile Robots' Motilities

Robot	Max Speed (m/sec)	Max Estimation Error(m)	Sensor Error (m)	Execution Time (sec)
1	5	3.5	3.0	0.01
2	15	3.5	3.0	0.01
3	7	3.5	3.0	0.01
4	12	3.5	3.0	0.01
5	10	3.5	3.0	0.01

위 로봇 중 두 번째 로봇의 최대속도를 3m/sec 로 변경한 경우 다른 로봇들의 측위 주기는 변경되지 않고 해당 로봇의 주기만 0.16 초가 된다. 그리고 전체 작업은 0.7554 가 되고, 변경된 로봇의 경우에는 모든 로봇들이 허용 오차 범위 내에서 측위 가능함을 예상할 수 있다. 이 실행 가능성은 각 작업의 시간 배열을 통하여 확인할 수 있다. 따라서, 본 논문에서 제안된 스케줄러 알고리즘에 의하여 실행 가능한 로봇들의 측위 주기들이 결정됨을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 지상과 기반의 다중 경계 로봇의 위치 추정 시스템에 활용될 측위 스케줄러를 제시하였다. 이를 위하여 허용 범위 내의 측위 오차를 보장하는 측위 조건에 대하여 분석하였다. 그리고 이 조건을 이용한 다중 로봇의 측위 스케줄러를 제시하였다. 추후 이 시스템은 센서 및 통신 시스템의 안정성이 확보될 경우, 항만 및 공항과 같은 공공 시설에서의 다중 경계 로봇에 활용될 것으로 예상된다.

후기

본 연구는 지식경제부 차세대신기술개발사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

1. M.M.Quottrup, T.Bak, R.Izadi-Zamanabadi, "Multi-Robot Planning : A Timed Automata Approach", Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 2004.
2. M.B.Dias and A.Stentz,"Opportunistic Optimization for Market-Based Multirobot Control", Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, 2002.
3. H.Norihiro, K.Kiyoshi, M.Kehji, and S.Yasuyuki, "Collaborative Capturing of Experiences with Ubiquitous Sensors and Communication Robots", Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation, pp. 4166-4171, 2003.
4. S.Kim, N.Y.Kim, J.Kang, G.W.Kim, S.M.Lee, and K.T. Nam, "Joint TOA/DOA based geolocation system for social safety robot", Proc. of ISATED Int. Conf. on Control and Applications, 2008.
5. Jane.W.S.Liu, "Real-Time System", Prentice Hall.