(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0015771
(43) 공개일자 2012년02월22일

(51) Int. Cl.
B25J 9/16 (2006.01) *G05D 1/02* (2006.01)
B25J 9/22 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2010-0078181
(22) 출원일자 2010년08월13일
심사청구일자 2010년08월13일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가 1
(72) 발명자
정우진
서울특별시 종로구 사직로8길 4, 광화문스페이스본 105-509 (사직동)
문창배
서울특별시 성북구 안암로 145, 자연계캠퍼스 창의관 433호 (안암동5가, 고려대학교)
(74) 대리인
특허법인남촌

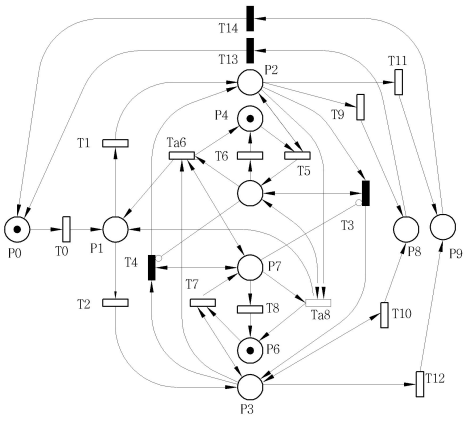
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) GSPN을 이용한 이동 로봇의 주행 제어 방법 및 이를 이용한 이동 로봇

(57) 요 약

본 발명은 GSPN을 이용한 이동 로봇의 주행 제어 방법 및 이를 이용한 이동 로봇에 관한 것이다. 본 발명에 따른 주행 제어 방법은 (a) 상호 상이한 제1 주행 제어 기법과 제1 주행 제어 기법이 상기 이동 로봇에 등록되는 단계와; (b) 상기 제1 주행 제어 기법 및 상기 제2 주행 제어 기법에 GSPN(Generalized Stochastic Petri Net) 기법이 적용되어 모델링된 주행 제어 GSPN 모델이 상기 이동 로봇에 등록되는 단계와; (c) 상기 주행 제어 GSPN 모델이 실행되어 상기 제1 주행 제어 기법과 상기 제2 주행 제어 기법 중 어느 하나가 선택되는 단계와; (d) 상기 제1 주행 제어 기법 및 상기 제2 주행 제어 기법 중 선택된 어느 하나에 따라 상기 이동 로봇의 주행이 제어되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다. 이에 따라, 복수의 주행 제어 기법이 이동 로봇에 등록된 상태에서 주행 환경, 예컨대, 정적인 환경과 다이나믹한 환경에 적합한 주행 제어 기법이 선택되어 이동 로봇이 주행할 수 있도록 하여 다양한 주행 환경에 적응하면서도 주행 성능을 향상시킬 수 있다.

대 표 도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 R0906971
부처명 한국산업기술진흥원
연구관리전문기관 한국산업기술진흥원
연구사업명 융복합형 로봇 전문인력 양성
연구과제명 실내외 로봇자율주행 기술개발을 통한 수요지향적 글로벌 리더 양성
기여율 1/1
주관기관 고려대학교산학협력단
연구기간 2010.05.01 ~ 2011.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

이동 로봇의 주행 제어 방법에 있어서,

(a) 상호 상이한 제1 주행 제어 기법과 제1 주행 제어 기법이 상기 이동 로봇에 등록되는 단계와;

(b) 상기 제1 주행 제어 기법 및 상기 제2 주행 제어 기법에 GSPN(Generalized Stochastic Petri Net) 기법이 적용되어 모델링된 주행 제어 GSPN 모델이 상기 이동 로봇에 등록되는 단계와;

(c) 상기 주행 제어 GSPN 모델이 실행되어 상기 제1 주행 제어 기법과 상기 제2 주행 제어 기법 중 어느 하나가 선택되는 단계와;

(d) 상기 제1 주행 제어 기법 및 상기 제2 주행 제어 기법 중 선택된 어느 하나에 따라 상기 이동 로봇의 주행이 제어되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 이동 로봇의 주행 제어 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 주행 제어 기법은 숙고형(Deliberate) 주행 제어 기법을 포함하고;

상기 제2 주행 제어 기법은 반응형(Reactive) 주행 제어 기법을 포함하는 것을 특징으로 하는 이동 로봇의 주행 제어 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 숙고형(Deliberate) 주행 제어 기법은 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법을 포함하고;

상기 반응형(Reactive) 주행 제어 기법은 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법을 포함하는 것을 특징으로 하는 이동 로봇의 주행 제어 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 주행 제어 GSPN 모델은 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법의 선택을 위해 발화하는 트래킹 주행 선택 트랜지션과, 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 선택을 위해 발화하는 DWA 주행 선택 트랜지션과, 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법 중 어느 하나의 선택을 위한 선택 플레이스를 포함하며;

상기 (c) 단계는,

(c1) 주행 임무가 상기 이동 로봇에 입력되는 단계와,

(c2) 토큰이 상기 선택 플레이스로 이동하는 단계와,

(c3) 상기 트래킹 선택 트랜지션과 상기 DWA 선택 트랜지션 각각의 파라미터에 기초하여 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 성능이 평가되는 단계와;

(c4) 상기 성능 평가 결과에 따라 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법 중 어느 하나가 선택되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 이동 로봇의 주행 제어 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 (c3) 단계는,

상기 트래킹 주행 선택 파라미터와 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법의 정상 상태 확률에 기초하여 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 대한 제1 트랜지션 처리율(Throughput)이 산출되는 단계와,

상기 DWA 주행 선택 파라미터와 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 정상 상태 확률에 기초하여 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법에 대한 제2 트랜지션 처리율(Throughput)을 산출하는 단계를 포함하며;

상기 (c4) 단계에서는 상기 제1 트랜지션 처리율(Throughput)과 상기 제2 트랜지션 처리율(Throughput) 중 큰 어느 하나가 선택되는 것을 특징으로 하는 이동 로봇의 주행 제어 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 주행 제어 GSPN 모델은 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 대한 트래킹 주행 완료 트랜지션, 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법에 대한 DWA 주행 완료 트랜지션, 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 대한 트래킹 주행 경고 트랜지션, 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법에 대한 DWA 주행 경고 트랜지션, 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 따른 주행 제어가 정상 상태인 트래킹 정상 플레이스, 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법에 따른 주행 제어가 정상 상태인 DWA 정상 플레이스, 상기 트래킹 주행 경고 트랜지션의 발화에 따라 상태 전이되는 트래킹 알람 플레이스, 및 상기 DWA 주행 경고 트랜지션의 발화에 따라 상태 전이되는 DWA 알람 플레이스를 포함하는 것을 특징으로 하는 이동 로봇의 주행 제어 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 트래킹 주행 완료 트랜지션 및 상기 DWA 주행 완료 트랜지션의 파라미터의 초기값은 수학식 $\lambda_i = \frac{v_e}{dist_{opt}}$ (여기서, λ_i는 상기 트래킹 주행 완료 트랜지션 또는 상기 DWA 주행 완료 트랜지션의 파라미터이고, v_e는 경험 속도이고, $dist_{opt}$는 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 의해 결정되는 예상 주행 경로의 길이이다)에 의해 산출되며;

상기 경험 속도는 수학식 $v_e = \frac{dist_{opt}}{t_{navi}}$ (여기서, t_{navi}와 $dist_{opt_s}$는 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법이 단독으로 시뮬레이션 되었을 때의 주행 경로 및 주행 시간으로 다수 회의 시뮬레이션을 통한 평균값이다)에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 이동 로봇의 주행 제어 방법.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 (c) 단계는,

(c5) 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법에 따라 주행 제어되는 상태에서 상기 DWA 주행 경고 트랜지션이 발화하는 경우, 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법이 선택되는 단계와;

(c6) 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 따라 주행 제어되는 상태에서 상기 트래킹 주행 경고 트랜지션이 발화하는 경우, 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법이 선택되는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이동 로봇의 주행 제어 방법.

청구항 9

제6항에 있어서,

상기 트랙킹 주행 경고 트랜지션은 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 따라 주행 제어되는 상태에서 기 설정된 기준 시간 동안 경로 재설정 횟수가 기 설정된 제1 전이 문턱치보다 큰 경우 발화하며;

상기 DWA 주행 경고 트랜지션은 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법에 따라 주행 제어되는 상태에서 일정 주기로 상기 이동 로봇의 속도가 기 설정된 기준 속도 이하로 떨어지는 횟수가 기 설정된 제2 문턱치보다 큰 경우 발화하는 것을 특징으로 하는 이동 로봇의 주행 제어 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 제1 전이 문턱치 및 상기 제2 전이 문턱치는 수학식

$$N_f = \arg_N \{F_p\{N|\lambda_j T_c\} \geq \Pr\{P_i = 1\}\}$$

(여기서, N_f는 상기 제1 전이 문턱치 또는 상기 제2 전이 문턱치이고, 상기 Pr{Pi}는 상기 트래킹 알람 플레이스 또는 상기 DWA 알람 플레이스의 토큰 확률이고, $F_p\{\}$ 함수는 주파수 λ_j를 갖는 누적 푸아송 분포 함수이고, λ_j는 트랙킹 주행 경고 트랜지션 또는 DWA 주행 경고 트랜지션의 파라미터이다)에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 이동 로봇의 주행 제어 방법.

청구항 11

제7항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서,

(e) 주행 임무가 완료되는 경우, 상기 주행 제어 GSPN 모델의 각 트랜지션의 파라미터가 기준 사전(Reference prior)을 갖는 베이지안 업데이트 룰(Bayesian update rule)에 따라 업데이트되는 것을 특징으로 하는 이동 로봇의 주행 제어 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 주행 제어 GSPN 모델의 트렌지션의 파라미터가 카운팅이 측정 대상인 경우 상기 베이지안 업데이트 룰(Bayesian update rule)의 푸아송 모델에 따라 업데이트되며;

상기 주행 제어 GSPN 모델의 트렌지션의 파라미터가 시간이 측정 대상인 경우 상기 베이지안 업데이트 룰(Bayesian update rule)의 지수 모델에 따라 업데이트되는 것을 특징으로 하는 이동 로봇의 주행 제어 방법.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 이동 로봇의 주행 임무 완료 시간이 주행 실패 시간을 초과하는 경우, 상기 이동 로봇의 주행 실패로 결정되며;

상기 주행 실패 시간은 수학식 $t_{fail} = \frac{dist_{opt}}{v_{fail}}$ (여기서, T_{fail}은 상기 주행 실패 시간이고, v_{fail}은 기 설정된 실패 속도이다)에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 이동 로봇의 주행 제어 방법.

청구항 14

제11항에 따른 주행 제어 방법에 따라 주행 제어되는 것을 특징으로 하는 이동 로봇.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 GSPN을 이용한 이동 로봇의 주행 제어 방법 및 이를 이용한 이동 로봇에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 GSPN(Generalized Stochastic Petri Net) 기법을 이용하여 복수의 주행 제어 기법 중 어느 하나로 이동 로봇의 주행이 제어되도록 하여 다양한 주행 환경에 적응할 수 있는 GSPN을 이용한 이동 로봇의 주행 제어 방법 및 이를 이용한 이동 로봇에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 근래에 이동 로봇의 무인 주행 제어(Autonomous navigation)을 위한 다양한 주행 제어 기법이 발전되어 있다. 이와 같은 이동 로봇의 주행 제어 기법에 대한 연구에 있어 두 가지의 큰 흐름이 모델 베이스의 숙고형 제어(Deliberate control) 방법과 센서 베이스의 반응형 제어(Reactive control) 방법에 대한 연구이다.

[0003] 숙고형 주행 제어 기법은 환경 모델로부터 제어 명령을 산출하며, 정적인 환경, 예컨대, 환경 지도에 기록되지 않은 장애물이 적은 정적인 환경에서 좋은 성능을 보여준다. 반면, 숙고형 주행 제어 기법은 장애물이 많은 환경, 예컨대, 사람의 왕래가 잦은 다이나믹한 환경에는 적합하지 않은 것으로 평가되고 있다.

[0004] 이와 반대로, 반응형 주행 제어 기법은 각종 센서로부터 얻은 센서 정보를 이용하여 제어 명령을 산출함으로써, 다이나믹한 환경에서의 불확실성에 대해 빠르고 강인한 성능을 나타낸다. 그러나, 반응형 주행 제어 기법은 출입문의 통과와 같은 섬세한 임무를 수행하는데 적합하지 않은 것으로 평가되고 있다.

[0005] 숙고형 주행 제어 기법과 반응형 주행 제어 기법 간의 상호 보완적인 장단점으로 인해, 어느 하나의 주행 제어 기법으로 다양한 주행 환경에 완전하게 대체할 수 있는 이동 로봇의 주행 제어 기법을 도출하기는 어려운 실정이다.

[0006] 이와 같은 개별적인 주행 제어 기법의 한계로 인해, 숙고형 주행 제어 기법과 반응형 주행 제어 기법을 통합하기 위한 연구가 제안되어 왔다. 예를 들어, O.Brock와 O.Khatib는 논문 『"High speed navigation using the global dynamic window approach", In Proceedings of IEEE International Conference on Robotics & Automation, Detroit, Michigan, USA, May 10-15, 1999.』에서 공지된 DWA(Dynamic Window Approach) 기법과 NF(Navigation Function)을 산출하는 path planner(J. Latombe, "Robot Motion Planning", Kluwer, 1991.)를 통한 Global Dynamic Window Approach 기법을 제안하였다.

[0007] 또한, J. Ulrich와 J. Borenstien은 논문 『"VFH : "Local Obstacle Avoidance with Look-Ahead Verification", In Proceedings of IEEE International Conference on Robotics & Automation, San Francisco, USA, April 24-28, 2000.』에서 VFH(Vector Field Histogram) 기법을 제안하였다. VFH 기법은 국소 최소(Local minimum)를 회피하기 위한 look-ahead verification을 이용하였다.

[0008] 이외에도, Stachniss, C.와 Burgard, W.는 논문『"An Integrated Approach to Goal-directed Obstacle Avoidance under Dynamic Constraints for Dynamic Environments", In Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, Switzerland, Oct. 2-4, 2002.』에서 path planing과 센서 기반의 충돌 회피를 통합한 방법을 제안하였고, Borenstein, J.와 Koren, Y는 논문 『"The Vector Field Histogram - Fast Obstacle-Avoidance for Mobile Robots", IEEE Journal of Robotics and Automation, vol. 7, no. 3, June 1991, pp. 278-288.』에서 이동 로봇의 주행을 모니터링하는 path monitor를 이용하여 국소 회피(Local minimum)와 사이클-트랩(cyclic-trap) 상황을 해결하는 방법을 제안하였다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 상술한 바와 같이, 다양한 연구 결과들에서 반응형 주행 제어 기법이 갖는 국소 회피(Local minimum) 문제를 해결하는 방법을 제시하고 있으나, 이동 로봇의 주행 제어의 관점에서 본질적으로는 반응형 주행 제어 기법에 속하는 한계를 갖고 있다.

[0010] 이에 본 발명은 숙고형 주행 제어 기법과 반응형 주행 제어 기법과 같이 다양한 주행 제어 기법의 갖는 장단점으로 인해, 어느 하나의 주행 제어 기법으로 다양한 주행 환경에 완전하게 대체할 수 없는 기존의 주행 제어 기법들의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 복수의 주행 제어 기법이 이동 로봇에 등록된 상태에서 주행

환경, 예컨대, 정적인 환경과 다이나믹한 환경에 적합한 주행 제어 기법이 선택되어 이동 로봇이 주행할 수 있도록 하여 다양한 주행 환경에 적응할 수 있는 GSPN을 이용한 이동 로봇의 주행 제어 방법 및 이를 이용한 이동 로봇을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0011] 상기 목적은 본 발명에 따라, 이동 로봇의 주행 제어 방법에 있어서, (a) 상호 상이한 제1 주행 제어 기법과 제1 주행 제어 기법이 상기 이동 로봇에 등록되는 단계와; (b) 상기 제1 주행 제어 기법 및 상기 제2 주행 제어 기법에 GSPN(Generalized Stochastic Petri Net) 기법이 적용되어 모델링된 주행 제어 GSPN 모델이 상기 이동 로봇에 등록되는 단계와; (c) 상기 주행 제어 GSPN 모델이 실행되어 상기 제1 주행 제어 기법과 상기 제2 주행 제어 기법 중 어느 하나가 선택되는 단계와; (d) 상기 제1 주행 제어 기법 및 상기 제2 주행 제어 기법 중 선택된 어느 하나에 따라 상기 이동 로봇의 주행이 제어되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 이동 로봇의 주행 제어 방법에 의해서 달성된다.

[0012] 여기서, 상기 제1 주행 제어 기법은 숙고형(Deliberate) 주행 제어 기법을 포함하고; 상기 제2 주행 제어 기법은 반응형(Reactive) 주행 제어 기법을 포함할 수 있다.

[0013] 그리고, 상기 숙고형(Deliberate) 주행 제어 기법은 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법을 포함하고; 상기 반응형(Reactive) 주행 제어 기법은 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법을 포함할 수 있다.

[0014] 여기서, 상기 주행 제어 GSPN 모델은 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법의 선택을 위해 발화하는 트래킹 주행 선택 트랜지션과, 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 선택을 위해 발화하는 DWA 주행 선택 트랜지션과, 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법 중 어느 하나의 선택을 위한 선택 플레이스를 포함하며; 상기 (c) 단계는 (c1) 주행 임무가 상기 이동 로봇에 입력되는 단계와, (c2) 토큰이 상기 선택 플레이스로 이동하는 단계와, (c3) 상기 트래킹 선택 트랜지션과 상기 DWA 선택 트랜지션 각각의 파라미터에 기초하여 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 성능이 평가되는 단계와, (c4) 상기 성능 평가 결과에 따라 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법 중 어느 하나가 선택되는 단계를 포함할 수 있다.

[0015] 여기서, 상기 (c3) 단계는 상기 트래킹 주행 선택 파라미터와 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법의 정상 상태 확률에 기초하여 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 대한 제1 트랜지션 처리율(Throughput)이 산출되는 단계와, 상기 DWA 주행 선택 파라미터와 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 정상 상태 확률에 기초하여 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법에 대한 제2 트랜지션 처리율(Throughput)을 산출하는 단계를 포함하며; 상기 (c4) 단계에서는 상기 제1 트랜지션 처리율(Throughput)과 상기 제2 트랜지션 처리율(Throughput) 중 큰 어느 하나가 선택될 수 있다.

[0016] 그리고, 상기 주행 제어 GSPN 모델은 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 대한 트래킹 주행 완료 트랜지션, 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법에 대한 DWA 주행 완료 트랜지션, 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 대한 트래킹 주행 경고 트랜지션, 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법에 대한 DWA 주행 경고 트랜지션, 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 따른 주행 제어가 정상 상태인 트래킹 정상 플레이스, 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법에 따른 주행 제어가 정상 상태인 DWA 정상 플레이스, 상기 트래킹 주행 경고 트랜지션의 발화에 따라 상태 전이되는 트래킹 알람 플레이스, 및 상기 DWA 주행 경고 트랜지션의 발화에 따라 상태 전이되는 DWA 알람 플레이스를 포함할 수 있다.

[0017] 또한, 상기 트래킹 주행 완료 트랜지션 및 상기 DWA 주행 완료 트랜지션의 파라미터의 초기값은 수학식

$$\lambda_i = \frac{v_e}{dist_{opt}}$$

(여기서, λ_i는 상기 트래킹 주행 완료 트랜지션 또는 상기 DWA 주행 완료 트랜지션의 파라미터이고, v_e는 경험 속도이고, $dist_{opt}$는 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 의해 결정되는 예상

주행 경로의 길이이다)에 의해 산출되며; 상기 경험 속도는 수학식 $v_e = \frac{dist_{opt}}{t_{navi}}$ (여기서, t_{navi}와 $dist_{opt_s}$는 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법이 단독으로 시뮬레이션 되었을 때의 주행 경로 및 주행 시간으로 다수 회의 시뮬레이션을 통한 평균값이다)에 의해 산출될 수 있다.

[0018] 그리고, 상기 (c) 단계는 (c5) 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법에 따라 주행 제어되는 상태에서 상기 DWA 주행 경고 트랜지션이 발화하는 경우, 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법이 선택되는 단계와; (c6) 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 따라 주행 제어되는 상태에서 상기 트래킹 주행 경고 트랜지션이 발화하는 경우, 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법이 선택되는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0019] 그리고, 상기 트랙킹 주행 경고 트랜지션은 상기 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 따라 주행 제어되는 상태에서 기 설정된 기준 시간 동안 경로 재설정 횟수가 기 설정된 제1 전이 문턱치보다 큰 경우 발화하며; 상기 DWA 주행 경고 트랜지션은 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법에 따라 주행 제어되는 상태에서 일정 주기로 상기 이동 로봇의 속도가 기 설정된 기준 속도 이하로 떨어지는 횟수가 기 설정된 제2 문턱치보다 큰 경우 발화할 수 있다.

[0020] 이 때, 상기 제1 전이 문턱치 및 상기 제2 전이 문턱치는 수학식

[0021] $$N_f = \arg\underset{N}{} \{F_p\{N|\lambda_j T_c\} \geq \Pr\{P_i = 1\}\}$$

[0022] (여기서, N_f는 상기 제1 전이 문턱치 또는 상기 제2 전이 문턱치이고, 상기 Pr{Pi}는 상기 트래킹 알람 플레이스 또는 상기 DWA 알람 플레이스의 토큰 확률이고, $F_p\{\}$ 함수는 주파수 λ_j를 갖는 누적 푸아송 분포 함수이고, λ_j는 트랙킹 주행 경고 트랜지션 또는 DWA 주행 경고 트랜지션의 파라미터이다)에 의해 산출될 수 있다.

[0023] 그리고, (e) 주행 임무가 완료되는 경우, 상기 주행 제어 GSPN 모델의 각 트랜지션의 파라미터가 기준 사전(Reference prior)을 갖는 베이지안 업데이트 룰(Bayesian update rule)에 따라 업데이트될 수 있다.

[0024] 여기서, 상기 주행 제어 GSPN 모델의 트렌지션의 파라미터가 카운팅이 측정 대상인 경우 상기 베이지안 업데이트 룰(Bayesian update rule)의 푸아송 모델에 따라 업데이트되며; 상기 주행 제어 GSPN 모델의 트렌지션의 파라미터가 시간이 측정 대상인 경우 상기 베이지안 업데이트 룰(Bayesian update rule)의 지수 모델에 따라 업데이트될 수 있다.

[0025] 또한, 상기 이동 로봇의 주행 임무 완료 시간이 주행 실패 시간을 초과하는 경우, 상기 이동 로봇의 주행 실패로 결정되며; 상기 주행 실패 시간은 수학식 $t_{fail} = \frac{dist_{opt}}{v_{fail}}$ (여기서, T_{fail}은 상기 주행 실패 시간이고, v_{fail}은 기 설정된 실패 속도이다)에 의해 산출될 수 있다.

발명의 효과

[0026] 상기와 같은 구성을 통해, 본 발명에 따르면 복수의 주행 제어 기법이 이동 로봇에 등록된 상태에서 주행 환경, 예컨대, 정적인 환경과 다이나믹한 환경에 적합한 주행 제어 기법이 선택되어 이동 로봇이 주행할 수 있도록 하여 다양한 주행 환경에 적응하면서도 주행 성능을 향상시킬 수 있는 GSPN을 이용한 이동 로봇의 주행 제어 방법 및 이를 이용한 이동 로봇이 제공된다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 본 발명에 따른 이동 로봇의 주행 제어 방법의 주행 제어 GSPN 모델을 도식화한 도면이고,

도 2 내지 도 8은 본 발명에 따른 이동 로봇의 주행 제어 방법에 대한 시뮬레이션 결과를 설명하기 위한 도면이

다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명을 상세히 설명한다.

[0029] 본 발명에 따른 이동 로봇의 주행 제어 방법에서는 상호 상이한 제1 주행 제어 기법과 제2 주행 제어 기법이 이동 로봇에 등록된다. 또한, 제1 주행 제어 기법과 제2 주행 제어 기법의 선택을 위한 이동 로봇에 주행 제어 GSPN 모델이 등록된다.

[0030] 여기서, 주행 제어 GSPN 모델은 제1 주행 제어 기법 및 제2 주행 제어 기법에 GSPN(Generalized Stochastic Petri Net) 기법이 적용되어 모델링된다. 즉, 주행 제어 GSPN 모델은 정적인 주행 환경이나 다이나믹한 주행 환경에 따라 제1 주행 제어 기법 및 제2 주행 제어 기법 중 어느 하나를 선택 가능하도록 모델링된다.

[0031] 이와 같이, 이동 로봇에 제1 주행 제어 기법과 제2 주행 제어 기법, 그리고 주행 제어 GSPN 모델이 등록된 상태에서 이동 로봇이 주행하게 되면, 주행 제어 GSPN 모델의 실행에 따라 제1 주행 제어 기법과 제2 주행 제어 기법 중 어느 하나가 선택되며, 선택된 주행 제어 기법에 따라 이동 로봇의 주행이 제어된다.

[0032] 본 발명에 따른 이동 로봇의 주행 제어 방법에서, 이동 로봇에 등록되는 주행 제어 기법은 숙고형(Deliberate) 주행 제어 기법과 반응형(Reactive) 주행 제어 기법을 포함하는 것을 예로 한다. 즉, 본 발명에 따른 이동 로봇의 주행 제어 방법에서는 정적인 환경에서 높은 성능을 나타내는 숙고형(Deliberate) 주행 제어 기법과, 다이나믹한 환경에서 높은 성능을 나타내는 반응형(Reactive) 주행 제어 기법을 사용하여, 상호 보완적인 장점이 발휘될 수 있도록 한다.

[0033] 여기서, 숙고형(Deliberate) 주행 제어 기법으로는 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법이 적용되고, 반응형(Reactive) 주행 제어 기법으로는 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법이 적용되는 것을 예로 한다.

[0034] 그리고, 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법으로는 논문 『Kanayama, Y. Kimura, Y. Miyazaki, F. Noguchi, T., "A stable tracking control method for an autonomous mobile robot", In Proceedings of IEEE International Conference on Robotics & Automation, Cincinnati, OH, USA, May 13-18, 1990.』에 개시된 궤적 추적 모션 제어기(Trajectory tracking motion controller)가 적용되며, DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법으로는 논문 『D. Fox, W. Burgard, S. Thrun, "The dynamic window approach to collision avoidance", IEEE Robotics and Automation Magazine, vol. 4, no. 1, pp. 23-33, 1997.』에 개시된 DWA 모션 제어기가 적용되는 것을 예로 한다.

[0035] 본 발명에 따른 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법은 경로 계획기(Path planner)와, 궤적 생성기(Trajectory generator), 그리고, 궤적 추적 제어기(Trajectory tracking controller)를 포함할 수 있다.

[0036] 경로 계획기는 격자 지도 형태의 환경 지도에 목표점까지의 경로를 생성한다. 이 때, 경로 계획기에 의해 생성되는 경로는 격자 지도 상의 위치 정보만을 포함하게 된다. 여기서, 본 발명에서는 경로 계획기로 그라디언트 경로 계획기(Gradient path planner)가 적용되는 것을 예로 하며, 이에 따라 격자 지도 상에서 충돌이 발생하지 않는 경로의 생성이 가능하게 된다. 그라디언트 경로 계획기(Gradient path planner)에 대해서는 논문 『Konolige, K, "A gradient method for realtime robot control", In Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, Takamatsu, Japan, October 30, November 5, 2000.』에 구체적으로 개시되어 있는 바, 그 상세한 설명은 생략한다.

[0037] 그리고, 궤적 생성기는 경로 계획기에 의해 생성된 경로를 이용하여 부드러운 커브의 경로를 생성한다. 이를 통해 비홀로노믹 구속(Non-holonomic constraint)을 만족하는 부드러운 커브의 경로가 생성된다. 여기서, 본 발명에서는 궤적 생성기에 버블-밴드 알고리즘(Bubble-Bands algorithm)을 이용한 큐빅 B-스플라인 커브(Cubic B-spline courve) 기법이 적용되는 것을 예로 한다. 버블-밴드 알고리즘(Bubble-Bands algorithm)은 논문 『Sean Quinlan, "Real-time Modification of Collision-free paths", Ph.D Thesis, 1994.』에 구체적으로 기재되어 있는 바, 그 상세한 설명은 생략한다.

[0038] 한편, DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법은 상술한 바와 같이, 다이나믹한 주행 환경에서 높은 성능을 보여주는데, 경로 계획기(path planner)에 의해 생성된 경로를 분할하여 경유점(Way-point)을 생성한다. 이와 같은 경유점 생성 알고리즘은 국소 최소(Local-minimum) 문제의 리스크를 줄여준다.

[0039] 본 발명에서는 이동 로봇에 등록된 복수의 주행 제어 기법, 즉 상술한 바와 같이 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법 중 어느 하나의 선택을 위한 주행 제어 GSPN 모델은 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법에 GSPN(Generalized Stochastic Petri Net) 기법이 적용되어 모델링된다.

[0040] 도 1은 본 발명에 따른 이동 로봇의 주행 제어 방법의 주행 제어 GSPN 모델을 도식화한 도면이고, 주행 제어 GSPN 모델을 구성하는 플레이스(Place)와 트랜지션(Transition)에 대한 상세 설명은 [표 1]에 나타난 바와 같다.

[0041] [표 1]

Place	Description	
P0	Navigation ready	
P1	Navigation behavior selection	
P2(P3)	*TRACKING / DWA*	
P4(P5)	*Planner normal (alarm)*	
P6(P7)	*Reactive normal (alarm)*	
P8(P9)	Navigational success (failure)	
Timed Transition	**Description**	**Firing Rate**
T0	Start navigation	$\lambda_0 = 1.0$
T1(T2)	*TRACKING(DWA)* selected by the performance estimation	$\lambda_1(\lambda_2)$
T5(T6)	*planner-warning (recovery)*	$\lambda_5(\lambda_6)$
T7(T8)	*reactive-warning (recovery)*	$\lambda_7(\lambda_8)$
Ta6(Ta8)	*planner(reactive)-warning* is recovered when *TRACKING (DWA)* is selected.	$\lambda_{6a}(\lambda_{8a}) = 1.0$
T9(T10)	Navigation completion using *TRACKING (DWA)*	$\lambda_9(\lambda_{10})$
T11(T12)	Navigational failure under *TRACKING (DWA)*	$\lambda_{11}(\lambda_{12})$
Immediate Transition	**Description**	
T3(T4)	*DWA(TRACKING)* unconditionally replaces *TRACKING(DWA)* due to the *planner (reactive) warning*	
T13(T14)	Navigation completion (failure) to ready	

[0042]

[0043] 도 1 및 [표 1]을 참조하여 설명하면, 주행 제어 GSPN 모델은 10개의 플레이스와, 13개의 타임드 트랜지션과, 4개의 이미디에이트 트랜지션을 포함하고 있다.

[0044] 플레이스는 이동 로봇의 주행 준비 상태를 나타내는 주행 준비 플레이스(P0), 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 선택을 위한 선택 플레이스(P1), 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 따른 주행 제어가 선택된 트래킹 선택 플레이스(P2), DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법에 따른 주행 제어가 선택된 DWA 선택 플레이스(P3), 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 따른 주행 제어가 정상 상태인 트래킹 정상 플레이스(P4), DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법에 따른 주행 제어가 정상 상태인 DWA 정상 플레이스(P6), 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 따른 주행 제어가 알람 상태인 트래킹 알람 플레이스(P5), DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법에 따른 주행 제어가 알람 상태인 DWA 알람 플레이스(P7), 전체 주행이 성공으로 종료된 주행 성공 플레이스(P8), 그리고, 전체 주행이 실패로 종료된 주행 실패 플레이스(P9)를 포함한다.

[0045] 또한, 타임드 트랜지션은 주행 임무의 개시에 발화하는 주행 개시 트랜지션(T0), 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법의 선택을 위해 발화하는 트래킹 주행 선택 트랜지션(T1), DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 선택을 위해 발화하는 DWA 주행 선택 트랜지션(T2), 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 대한 트래킹 주행 경고 트랜지션(T5), DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법에 대한 DWA 주행 경고 트랜지션(T7), 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 대한 트래킹 주행 복귀 트랜지션(T6), DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법에 대한 DWA 주행 복귀 트랜지션(T8), 궤적

추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 대한 트래킹 주행 복귀 완료 트랜지션(Ta6), DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법에 대한 DWA 주행 회복 완료 트랜지션(Ta8), 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 대한 트래킹 주행 완료 트랜지션(T9), DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법에 대한 DWA 주행 완료 트랜지션(T10), 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 대한 트래킹 주행 실패 트랜지션(T11), 그리고 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법에 대한 DWA 주행 실패 트랜지션(T12)을 포함한다.

[0046] 그리고, 이미디에이트 트랜지션은 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법으로 주행 중에 트래킹 주행 경고 트랜지션(T5)이 발화하는 경우 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법으로 바로 전환되는 DWA 전환 트랜지션(T3)과, DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법으로 주행 중에 DWA 주행 경고 트랜지션(T7)이 발화하는 경우 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법으로 바로 전환되는 트래킹 전환 트랜지션(T4)과, 주행 성공 후 주행 준비 플레이스(P0)로의 전환을 위한 주행 성공 종료 트랜지션(T13)과, 주행 실패 후 주행 준비 플레이스(P0)로의 전환을 위한 주행 실패 종료 트랜지션(T14)을 포함한다.

[0047] 여기서, 주행 개시 트랜지션(T0)의 파라미터, 즉 발화율(Firing Rate, λ_0)은 상수로 설정되며, 본 발명에서는 $\lambda_0 = 1.0$으로 설정되는 것을 예로 한다. 그리고, 나머지 트랜지션의 발화율은 주행 임무 완료 후에 업데이트되는 바, 이에 대한 설명은 후술한다.

[0048] 그리고, 주행 제어 GSPN 모델에서, 각 주행 제어 기법의 성능 평가는 토큰이 P1, 즉 선택 플레이스(P1)에 존재할 때 수행된다. 그리고, 각 주행 제어 기법의 성능 평가는 주행 임무의 예상완료시간과 실패율을 고려하여 수행된다.

[0049] 예컨대, 이동 로봇이 정적인 주행 환경에서 이동하는 경우, 최적의 경로를 따라 이동하는데 적합한 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법이 주행 제어 GSPN 모델에 의해 선택된다. 반면, 이동 로봇이 다이나믹한 주행 환경에 직면하게 되면, 경로 계획자는 충돌이 발생하지 않는 경로를 지속적으로 생성하게 되며, 이와 같이 경로의 변경이 빈번한 경우 주행 제어 GSPN 모델이 다이나믹한 환경으로 인식하게 되어 트래킹 알람 플레이스(P5)가 활성화된다. 결과적으로, 주행 제어 GSPN 모델은 이동 로봇이 다이나믹한 환경에서 주행 가능하도록 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법을 활성화하게 된다. 또한, 이동 로봇이 로컬-트랩(Local-trap) 상황에 처하게 되면, DWA 주행 경고 트랜지션(T7)이 발화하게 된다. 도 1은 이와 같은 주행 제어 GSPN 모델의 제어 로직을 도식화한 것이다.

[0050] 한편, 본 발명에 따른 주행 제어 GSPN 모델은 이동 로봇에 주행 임부가 부여되는 경우 트래킹 주행 완료 트랜지션(T9)과 DWA 주행 완료 트랜지션(T10)의 파라미터, 즉 발화율 λ_9와 λ_{10}의 초기값을 산출한다. 여기서, 본 발명에서는 발화율 λ_9와 λ_{10}의 초기값을 다수의 시뮬레이션 결과에 기초한 경험 속도(Empirical velocity)를 이용하여 산출하는 것을 예로 한다. 이는 [수학식 1]을 통해 산출된다.

[0051] [수학식 1]

[0052] $$\lambda_i = \frac{v_e}{dist_{opt}}$$

[0053] 여기서, λ_i는 발화율 λ_9와 λ_{10}을 의미하며, v_e는 경험 속도이고, $dist_{opt}$는 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법의 경로 계획기에 의해 결정되는 예상 주행 경로의 길이다.

[0054] 그리고, 경험 속도는 [수학식 2]를 통해 산출된다. 여기서, 경험 속도는 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법을 단독으로 주행 시뮬레이션에 적용하여 산출되며, 복수의 시뮬레이션의 평균값으로 산출하는 것을 예로 한다.

[0055] [수학식 2]

[0056] $$v_e = \frac{dist_{opt_s}}{t_{navi}}$$

[0057] 여기서, t_{navi}와 $dist_{opt_s}$는 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 DWA(Dynamic Window Approach)

주행 제어 기법이 단독으로 시뮬레이션되었을 때의 주행 경로와 주행 시간으로, 다수회의 시뮬레이션에서 얻어진 값들의 평균값이다.

[0058] 한편, 주행 실패 시간은 [수학식 3]을 통해 산출된다. [수학식 3]에서 T_{fail}은 주행 실패 시간이고, v_{fail}은 실패 속도이다. 여기서, V_{fail}은 이동 로봇의 속도나 주행 환경 등을 고려하여 미리 설정된 상수값을 가지며, 본 발명에서는 V_{fail}을 5cm/s로 설정하는 것을 예로 한다.

[0059] [수학식 3]

[0060]
$$T_{fail} = \frac{dist_{opt}}{v_{fail}}$$

[0061] 그리고, 이동 로봇의 전체 주행 임무 완료 시간이 주행 실패 시간인 T_{fail}보다 길면 주행 실패로 결정되며, 실패한 주행 완료 시간이 다시 T_{fail}로 기록된다.

[0062] 여기서, 본 발명에서는 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 상기 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법이 주행 임무 중 선택적으로 사용될 수 있으므로, 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 실패율, 즉 트래킹 주행 실패 트랜지션(T11)과 DWA 주행 실패 트랜지션(T12)의 파라미터인 λ_{11} 및 λ_{12}는 각 기법의 주행 시간과 주행 실패로 결정된 전체 주행 임무 완료 시간의 비율을 표준화하여 산출된다.

[0063] 예를 들어, 주행 실패로 결정된 전체 주행 임무 완료 시간의 200초이고, 200초 동안 이동 로봇이 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법으로 150초, 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법으로 50초를 주행한 경우에는, λ_{11}=1/(150/200)이 되고, λ_{12}=1/(50/200)이 된다.

[0064] 한편, 본 발명에 따른 이동 로봇의 주행 제어 방법에서는 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 성능을 예측하는 방법으로 처리율(Throughput)의 산출을 이용한다. 여기서, 성능 예측을 위한 처리율(Throughput)의 산출에 대한 개념은 논문 『J. Wang, "Timed Petri Nets Theory and Application", Norwell, MA: Kluwer, 1998.』에 기재되어 있는 바, 그 상세한 설명은 생략한다.

[0065] 그리고, 본 발명에서는 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 성능을 예측하는 방법으로, 주행 성공에 해당하는 트래킹 주행 완료 트랜지션(T9)과 DWA 주행 완료 트랜지션(T10)의 발화율, 즉 λ_9 및 λ_{10}을 이용할 수 있다.

[0066] 여기서, 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 처리율(Throughput)은 각각 트래킹 주행 완료 트랜지션(T9) 및 DWA 주행 완료 트랜지션(T10)의 발화율과 각 주행 제어 기법의 정상 상태 확률(Steady-state probability)의 곱에 의해 산출되는 것을 예로 한다.

[0067] 이와 같이 산출된 처리율(Throughput)의 물리적인 의미는 주행 임무의 성공 빈도를 의미한다. 따라서, 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법의 처리율이 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 처리율보다 높은 경우, 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 따른 예상 주행 시간이 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법에 따른 예상 주행 시간보다 짧게 되어, 결과적으로 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법이 선택된다. 반대의 경우에는 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법이 선택될 것이다.

[0068] 여기서, 본 발명에서는 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 선택을 나타내는 트래킹 주행 선택 트랜지션(T1)과 DWA 주행 선택 트랜지션(T2)의 발화율, λ_1 및 λ_2를 모니터링하며, 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 성능 평가를 위해 트래킹 주행 선택 트랜지션(T1)과 DWA 주행 선택 트랜지션(T2)의 발화율 λ_1 및 λ_2를 이용하여 처리율(Throughput)을 산출한다. 이 때, 상술한 트래킹 주행 완료 트랜지션(T9)과 DWA 주행 완료 트랜지션(T10)의 발화율, 즉 λ_9 및 λ_{10}은 트래킹 주행 선택 트랜지션(T1)과 DWA 주행 선택 트랜지션(T2)의

발화율 λ_1 및 λ_2에 반영되므로, 본 발명에서는 트래킹 주행 선택 트랜지션(T1)과 DWA 주행 선택 트랜지션(T2)의 발화율, λ_1 및 λ_2를 모니터링을 통해 주행 제어 기법을 선택하게 된다.

[0069] 한편, 본 발명에 따른 이동 로봇의 주행 제어 방법에서 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 선택을 위해 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법 각각의 내적 상태가 평가된다. 여기서, 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 내적 상태는 각각 주행 경고 상태와 정상 주행 상태를 포함한다.

[0070] 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법의 주행 경고 상태는 장애물이나 경로 폐쇄로 인해서 경로 생성이 빈번이 발생하는 상태를 의미하고, 정상 주행 상태는 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법의 주행 경고 상태가 아닌 상태를 의미한다. 즉, 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법의 주행 경고 상태는 트래킹 주행 경고 트랜지션(T5)이 발화하는 상태를 의미하게 된다.

[0071] 반면, DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 주행 경고 상태는 로컬-트랩(Local-trap) 상황 등의 의해 이동 로봇이 진행하지 못하는 상태를 의미하며, 정상 주행 상태는 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 주행 경고 상태가 아닌 상태를 의미한다. 즉, DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 주행 경고 상태는 DWA 주행 경고 트랜지션(T7)이 발화하는 상태를 의미한다.

[0072] 여기서, 본 발명에서는 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법의 내적 상태의 평가를 위해 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 따라 주행 제어되는 상태에서 기 설정된 기준 시간 동안(Tc) 경로 재설정 횟수(Np)를 카운트한다. 반면, DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 내적 상태의 평가를 위해 일정 주기로 이동 로봇의 속도가 기 설정된 기준 속도 이하로 떨어지는 횟수(Nl)를 카운트한다.

[0073] 그리고, 본 발명에서는 푸아송 모델(Poisson model)을 이용하여 전이 확률(Transition probability)을 산출하는 방법을 모델링한다. 여기서, 푸아송 모델은 푸아송 극한 정리(Poisson limit theorem)를 통해 GSPN 모델의 타임드 트랜지션에 이용될 수 있는 지수 밀도 함수(Exponential density function)와 근사된다.

[0074] 여기서, 본 발명에 따른 이동 로봇의 주행 제어 방법에서는 각각의 서브 시스템에 하나의 토큰이 주어지므로, 각 서브 시스템의 토큰 확률이 각 서브 시스템의 내적 상태의 확률에 대응하게 된다.

[0075] 트래킹 주행 경고 트랜지션(T5)과 DWA 주행 경고 트랜지션(T7)의 발화는 $N \sim Poisson(\lambda_i T_c)$이다. 즉 트래킹 주행 경고 트랜지션(T5)과 DWA 주행 경고 트랜지션(T7)의 발화는 수학적으로 N이 파라미터 $\lambda_i T_c$를 갖는 푸아송 확률 모델을 따르게 되는 것을 의미한다. 그리고, 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법의 경로 재설정 횟수(Np)와 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 횟수(Nl)가 이들의 전이 문턱치인 Nf보다 큰 경우, 트래킹 주행 경고 트랜지션(T5)과 DWA 주행 경고 트랜지션(T7)이 발화하게 된다.

[0076] 여기서, 본 발명에 따른 전이 문턱치 Nf와, 그 확률은 각각 [수학식 4] 및 [수학식 5]를 통해 산출된다.

[0077] [수학식 4]

[0078] $$N_f = \arg_N \{F_p\{N|\lambda_j T_c\} \geq \Pr\{P_i = 1\}\}$$

[0079] [수학식 5]

[0080] $$p(N|\lambda_j T_c) = \frac{(\lambda_j T_c)^N}{N!}\exp(-\lambda_j T_c) = \frac{\lambda_j T_c}{N} P(N-1|\lambda_j T_c)$$

[0081] Pr{Pi}는 상태 Pi의 토큰 확률이다. 예를 들어, 트래킹 알람 플레이스(P5)의 토큰 확률이다. 그리고, Fp{} 함수는 주파수 λ_j를 갖는 누적 푸아송 분포 함수이다. 예를 들어, 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법의 주행 경고가 발생하는 상태에서는 λ_5이다. 이 때, [수학식 4]의 Fp{} 함수가 [수학식 5]를 이용한 벙법을 다수회 적용하여 적분하는 방법으로 보다 간단하게 산출될 수 있다.

[0082] 여기서, Np와 Nl 값은 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법 각각의 정상 주행 상태의 확률에 비례하게 된다. 즉, 이동 로봇의 주행 환경이 다이나믹한 환경인

경우, 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법의 정상 주행 상태의 확률이 낮기 때문에 Np 값의 산출 결과가 낮게 된다. 이러한 결과는 다이나믹한 환경에서 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법이 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법으로 전환될 수 있음을 의미하게 된다.

[0083] 한편, 본 발명에 따른 이동 로봇의 주행 제어 방법에서, 트래킹 주행 복귀 트랜지션(T6)과 DWA 주행 복귀 트랜지션(T8)은 각각 트래킹 주행 경고 트랜지션(T5)과 DWA 주행 경고 트랜지션이 발화된 시간부터 복귀 시간 후에 발화된다. 여기서, 트래킹 주행 복귀 트랜지션(T6)과 DWA 주행 복귀 트랜지션(T8)의 발화 이벤트는 $t\sim Exp(-\lambda_i)$, 즉, 복귀 시간 t가 파라미터 λ_i인 지수 확률 밀도 함수를 따르게 된다.

[0084] 여기서, 복귀 시간은 알람 상태, 즉 트래킹 알람 플레이스(P5)와 DWA 알람 플레이스(P7)의 확률 각각과 λ_j에 비례한다. 이는, 트래킹 주행 경고 트랜지션(T5) 또는 DWA 주행 경고 트랜지션(T7)이 자주 발화할 때, 복귀 시간이 증가하는 것을 의미한다.

[0085] 이와 같은 복귀 시간은 [수학식 6]을 이용하여 산출할 수 있다.

[0086] [수학식 6]

[0087] $$t_f = \arg_t \{ F_e\{t|\lambda_j\} \geq \Pr\{Pi = 1\} \} + t_a$$

[0088] 여기서, [수학식 6]에서 t_f는 복귀 시간이고, λ_j는 트래킹 주행 경고 트랜지션(T5)과 DWA 주행 경고 트랜지션(T7)의 발화율(λ_5, $\lambda 7$)이며, t_a는 이동 로봇의 주행 방향(direction of heading)을 조정하기 위해 요구되는 시간이다.

[0089] 그리고, $F_e\{\}$ 함수는 λ_j를 갖는 지수 확률 밀도(Exponential probability density)의 누적 밀도 함수(Cumulative density function)을 의미하며, [수학식 7]을 통해 산출된다. 여기서, 누적 밀도(Cumulative density), $F_e\{\}$ 값은, [수학식 7]에 나타난 바와 같이, λ_j는 트래킹 주행 경고 트랜지션(T5)과 DWA 주행 경고 트랜지션(T7)의 발화율(λ_5, λ_7)과 알람 상태, 즉 즉 트래킹 알람 플레이스(P5) 또는 DWA 알람 플레이스(P7)의 확률에 비례한다.

[0090] [수학식 7]

[0091] $$F_e\{t|\lambda_j\} = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda_j t} & ; t \geq 0 \\ 0 & ; t < 0 \end{cases}$$

[0092] 한편, 본 발명에 따른 이동 로봇의 주행 제어 방법은, 주행 임무가 완료된 경우, 주행 제어 GSPN 모델의 각 트랜지션의 파라미터가 업데이트되는데, 본 발명에서는 기준 사전(Reference prior)을 갖는 베이지안 업데이트 룰(Bayesian update rule)에 따라 업데이트되는 것을 예로 한다. 여기서, 베이지안 업데이트 룰(Bayesian update rule)이 기본적인 개념은 논문 『Athanasios Papoulis, "Probability, Random Variables, and Stochastic Processes", McGraw-Hill Companies, 3rd edition, 1991.』에 개시되어 있다.

[0093] 여기서, 본 발명에 따른 이동 로봇의 주행 제어 방법에서, 트랜지션 파라미터 중, λ_1, λ_2, λ_5, λ_7은 베이지안 업데이트 룰(Bayesian update rule)의 푸아송 모델을 통해 업데이트되고, 트랜지션 파라미터 중 λ_6, λ_8, λ_9, λ_{10}, λ_{11}, λ_{12}는 베이지안 업데이트 룰(Bayesian update rule)의 지수 모델을 이용하여 업데이트된다. 푸아송 모델을 통한 업데이트는 [수학식 8] 및 [수학식 9]를 통해 수행되며, 지수 모델을 통한 업데이트는 [수학식 10] 및 [수학식 11]을 통해 수행된다.

[0094] [수학식 8]

[0095] $$\lambda T|N \sim Gamma(\alpha + N_c, \beta + 1)$$

[0096] [수학식 9]

[0097] $$\lambda^* = \frac{E(\lambda T|N)}{T} = \frac{\alpha + N}{T(\beta + 1)}$$

[0098] [수학식 10]

[0099] $$\lambda|t \sim Gamma(\alpha + 1, \beta + \lambda_c)$$

[0100] [수학식 11]

[0101] $$\lambda^* = E(\lambda|t) = \frac{\alpha + 1}{\beta + \lambda_c}$$

[0102] [수학식 8]은 각각의 주행 결과를 고려한 기준 사전(Reference prior)을 갖는 푸아송 모델의 사후(Posterior)를 나타낸다. 여기서, N_c는 트래킹 주행 경고 트랜지션(T5)나 DWA 주행 경고 트랜지션(T7)과 같이 측정된 횟수를 나타낸다. 예컨대, 상술한 바와 같이 Nf와 Nl의 측정 횟수를 의미한다.

[0103] 그리고, [수학식 9]의 α는 이전 경험을 통해 계산되었던 기존의 Nc 값이고, [수학식 9]의 β는 주행 횟수를 의미한다. 또한, [수학식 11]의 α는 주행 횟수를 의미하며, [수학식 11]의 β는 이전 경험을 통해 계산되었던 기존의 λ 값을 의미한다. 그리고, λc는 현재 완료된 주행 임무의 주행 경고 상태에서 정상 주행 상태로 복귀되는 복귀 시간을 나타낸다.

[0104] 보다 구체적으로 설명하면, [수학식 8] 및 [수학식 9]를 이용하여 λ_1과 λ_2를 업데이트할 때, 주행 임무의 완료 시까지 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법이 선택된 횟수와 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법이 선택된 횟수가 각각 [수학식 9]의 N 값이 된다. 마찬가지로 λ_5과 λ_7의 업데이트에서는 트래킹 주행 경고 트랜지션과 DWA 주행 경고 트랜지션의 발생 횟수가 N 값이 된다.

[0105] 또한, [수학식 10] 및 [수학식 11]을 이용하여 λ_6과 λ_8을 업데이트할 때, 트래킹 주행 경고 상태와 DWA 주행 경고 상태가 각각 지속된 사간의 평균의 역수를 [수학식 10]의 λ_c 값으로 하여 계산한다. 즉, [수학식 10]에서의 λ_c 값은 시간의 역수로 결정된다.

[0106] 상기와 같은 방법으로, 트랜지션 파라미터 λ_1, λ_2, λ_5, λ_7은 [수학식 9]를 통해 업데이트되고, 트랜지션 파라미터 λ_6, λ_8, λ_9, λ_{10}, λ_{11}, λ_{12}는 [수학식 11]을 통해 업데이트된다.

[0107] 여기서, 이동 로봇의 주행 환경이 다이나믹하거나 정적인 환경 중 어느 하나로 고정되어 있는 경우, [수학식 9] 및 [수학식 11]에 의해 각 트랜지션 파라미터가 해당 환경에 적합한 값으로 수렴하게 되며, 결과적으로 이동 로봇의 주행 환경에 적합한 주행 제어 기법이 선택되어 진다. 이는 이전의 주행 경험에 해당하는 [수학식 9]의 β 값과 [수학식 11]의 α값은 주행의 반복을 통해 지속적으로 증가하기 때문이다.

[0108] 이 때, [수학식 9]의 β 값과 [수학식 11]의 α값을 일정한 값 이하로 제한하는 경우, 예를 들어, [수학식 9]의 β값을 100 이하로 제한하게 되면 100회 이전의 주행 경험은 제거됨으로서 트랜지션 파라미터의 수렴이 일정 부분 차단되어 주행 환경의 변화에 능동적으로 대처 가능하게 설정할 수 있게 된다.

[0109] 이하에서는, 본 발명에 따른 이동 로봇의 주행 제어 방법을 이용한 이동 로봇의 주행 시뮬레이션 결과에 대해 설명한다. 여기서, 이동 로봇의 시뮬레이션은 표준 상태에서 주행 제어 기법의 성능을 평가하는 플레이어/스테이지 툴(Player/Stage tool)을 이용한다.

[0110] 도 2는 시뮬레이션에 적용된 주행 환경의 지도를 도시한 도면이다. 시뮬레이션 환경의 폭은 43m이고, 길이는 22m로 설정하였다. 그리고, 이동 장애물의 속도는 사람의 평균적인 도보 속도를 참조하여 0.8 ~ 1.4m/s 범위 내에서 무작위로 설정하였으며, 장애물의 지름을 0.4m로 설정하였다.

[0111] 그리고, 시뮬레이션에 적용된 이동 로봇의 지름은 0.5m로 하였으며, DWA 주행 제어 기법의 최대 병진 속도(Maximum translational velocity)는 0.5m/s로 설정하였다. 또한, 경험 속도는 이동 장애물이 없는 상황에서도 2의 G1 위치에서 G8 위치를 20회 반복 주행한 평균으로 산출하여, DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 경험 속도가 0.28m/s로, 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법의 경험 속도가 0.35m/s로 설

정되었다. 그리고, 주행 제어 GSPN 모델의 각 트랜지션의 파라미터들의 초기값은 λ_1 ~ λ_8은 0.5로, λ_{11} 및 λ_{12}는 0.01로 설정하였다.

[0112] 정적인 주행 환경에서의 시뮬레이션은 다이나믹한 장애물 없이 이동 로봇이 G7에서 출발하여 목적지 G1, G2, G3 및 G7을 순차적으로 주행하는 것으로 설정한다. 그리고, 다이나믹한 환경에서의 시뮬레이션은 다이나믹한 환경에서의 성능의 변화를 평가하기 위해서 진행되었다. 여기서, 다이나믹한 환경에서의 시뮬레이션은 20개의 이동 장애물이 있는 상태에서, 두 곳의 목적지 G1과 G8 사이를 왕복하는 것으로 설정하였다. 각각의 시뮬레이션에 대해 28회를 반복 수행하였다.

[0113] 도 3은 정적인 환경과 다이나믹한 환경에서의 시뮬레이션의 결과를 나타낸 그래프이고, [표 2]는 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다.

[0114] [표 2]

[0115]

		DWA	*TRACKING*
Static	Mean Time(s)	185.7	115.8
	Std. Dev.	126.7	78.3
	Success (%)	82	89
Dynamic	Mean Time(s)	105.8	282.37
	Std. Dev.	16.3	58.8
	Success (%)	100	90

[0116] 도 3 및 [표 2]를 참조하여 설명하면, 정적인 주행 환경에서는 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법의 평균 주행 시간이 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법보다 38% 정도 짧게 나타났다. 이는 트래킹(Trajectory tracking) 주행 제어 기법이 정적인 주행 환경에 적합하다는 것을 의미한다. 그러나, 다이나믹한 주행 환경에서는 트래킹(Trajectory tracking) 주행 제어 기법의 성능이 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 성능보다 낮게 나타났다.

[0117] 여기서, DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 성능은, 도 4에 도시된 바와 같이, 좁은 출입구로 진입할 때 감소하는 것으로 나타났다. 또한, DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법에서의 주행 실패는 이동 로봇이 국소 최소 상황(Local minimum situation)에 직면했을 때 발생하였다.

[0118] 그리고, 정적인 주행 환경에서, 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법의 주행 실패는 가끔 위치 추정 오차(Localization error)로 인한 출입구 주변에서의 경로 생성 상의 오차에 의해 발생하였다. 그리고, 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법의 성능은 이동 장애물에 따른 경로 재생성에 의해 감소된다.

[0119] 정적인 주행 환경과 다이나믹한 주행 환경에서의 시뮬레이션 결과는 주행을 위한 제어 기법들이 개별적으로 적용되었을 때 서로 다른 성능을 나타낸다는 것을 명확히 보여주고 있다.

[0120] 한편, 본 발명에 따른 주행 제어 방법의 성능을 평가하기 위한 정적인 주행 환경과 다이나믹한 주행 환경이 혼합된 환경에서의 시뮬레이션은 이동 로봇이 20개의 이동 장애물이 주행 환경 내에 존재하는 상태에서 정적인 주행 환경 시뮬레이션과 동일한 목적지로 주행하는 것으로 수행되었다. 도 5는 상기와 같은 주행 환경에서의 시뮬레이션 결과를 도시한 그래프이고, 시뮬레이션 결과는 [표 3]에 나타낸 바와 같다.

[0121] [표 3]

[0122]

Controller	**Mean Time(s)**	**Std. Dev.(s)**
DWA	207.3	128.2
TRACKING	223.1	92.4
GSPN	117.8	28.0

[0123] 도 5 및 [표 3]을 참조하여 설명하면, 본 발명에 따른 주행 제어 GSPN 모델이 적용된 주행 제어 방법은 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법이 개별적으로 적용된 경우보다 월등한 성능을 보여주는 것을 확인할 수 있다. 즉, 평균 주행 시간이 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법이 단독으로 적용된 경우보다 43% 짧게 나타났고, 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법이 단독으로 적용된 경우보다 47% 짧게 나타났다.

[0124] 도 6은 본 발명에 따른 이동 로봇의 주행 제어 방법의 주행 궤적을 도시한 도면이다. 도 6의 (a)는 G1 위치에서 G2 위치까지의 이동 로봇의 전체 주행 궤적과 주행 궤적에서 선택된 주행 제어 기법을 도시한 도면이고, 도 6의 (b)는 도 6의 (a)의 ⓐ 위치에서의 주행 환경을 나타낸 도면이고, 도 6의 (c)는 도 6의 (a)의 ⓑ 위치에서의 주행 환경을 나타낸 도면이다. 도 6의 (b) 및 (c)에서의 붉은 점들은 이동 로봇의 센서에 의해 감지된 이동 장애물이다.

[0125] 도 6을 참조하여 설명하면, 이동 로봇이 출발 포인트 G1 위치에서는 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법을 통해 주행하게 된다. 이는 상술한 주행 제어 GSPN 모델의 트랜지션의 파라미터 초기값에 의해 산출되는 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 처리율(Throughput)이 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법의 처리율(Throughput)보다 크기 때문이다.

[0126] 그리고, 이동 로봇이 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법으로 주행하는 과정에서, 도 6의 (a)에 도시된 ⓐ 지점에 도달할 때, 도 6의 (b)에 도시된 바와 같이, 이동 장애물에 둘러싸이게 된다. 이 때, 이동 로봇은 트랩 상황(trapped situation)에 빠지게 되어, DWA 주행 경고 트랜지션(T7)이 발화하게 된다.

[0127] 이에 따라, 주행 제어 GSPN 모델은 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법을 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법으로 전환하게 되어, 도 6의 (a)의 ⓐ 지점으로부터 ⓑ 지점까지 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법에 따라 이동 로봇이 주행 제어된다.

[0128] 그리고, 도 6의 (c)에 도시된 바와 같이, ⓑ 지점에는 몇 개의 이동 장애물 만이 존재하고, 이 때 주행 제어 GSPN 모델의 트랙킹 주행 경고 트랜지션이 발화하게 되어 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법으로 전환된다.

[0129] 또한, 이동 로봇이 도 6의 (a)의 ⓑ 지점에서부터 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법으로 주행 제어되어, ⓒ 지점, 즉 로비 영역에 도달하게 되면, 주행 제어 GSPN 모델의 DWA 주행 경고 트랜지션이 발화하여 다시 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법으로 전환되어 목표 지점 G2까지 주행 제어된다.

[0130] 한편, 도 7은 정적인 주행 환경과, 정적인 주행 환경과 다이나믹한 주행 환경이 혼합된 주행 환경에서의 시뮬레이션에서 트래킹 주행 선택 트랜지션과 DWA 주행 선택 트랜지션의 파라미터, 즉 발화율 λ_1 및 λ_2의 변화를 나타낸 그래프이다. 여기서, 발화율 λ_1 및 λ_2가 각각 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 성능을 나타냄은 전술한 바와 같다. 발화율 λ_1 및 λ_2은 주행 임무의 완료 후에 상술한 업데이트 룰에 따라 업데이트된다.

[0131] 도 7의 (a)에 도시된 바와 같이, 정적인 환경에서 8번의 주행 임무 완료 후에 λ_1이 λ_2보다 매우 커졌음을 확인할 수 있다. 이는 정적인 주행 환경에서 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법이 주행 제어에 적용되고, λ_1과 λ_2의 업데이트를 통해 정적인 환경에 주행 제어 GSPN 모델이 적응하고 있음을 나타내게 된다.

[0132] 반면, 도 7의 (b)에 도시된 바와 같이, 정적인 주행 환경과 다이나믹한 주행 환경이 혼합된 주행 환경에서는 λ_1이 λ_2보다 미세하게 크지만, 그 차이가 크지 않게 나타남을 확인할 수 있다. 이는 혼합된 주행 환경에서 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법이 거의 대응하게 주행 제어에 선택적으로 적용되는 것을 의미한다.

[0133] 한편, 도 8은 본 발명에 따른 이동 로봇의 주행 제어 기법에 따라 다이나믹한 주행 환경에서 55회의 시뮬레이션을 수행한 결과를 나타낸 그래프이다. 여기서, 다이나믹한 환경은 도 6에 도시된 G1 지점과 G8 지점 간을 주행하는 환경으로 설정되며, 왕복 주행을 시뮬레이션하였다.

[0134] 도 8의 (a)는 상기 시뮬레이션을 통해 산출된 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법과 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법이 처리율의 변화, 즉 업데이트 결과를 나타낸 그래프이다. 다이나믹한 주행 환경에서 궤적 추종(Trajectory tracking) 주행 제어 기법의 처리율이 감소하고, DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법의 처리율이 증가함을 확인할 수 있다. 이는 다이나믹한 주행 환경에서는 이동 장애물 때문에 트래킹(Trajectory tracking) 주행 제어 기법이 적절치 않음을 의미하며, 결과적으로 주행 제어 GSPN 모델에 의해 DWA(Dynamic Window Approach) 주행 제어 기법이 주로 선택되는 것을 의미한다.

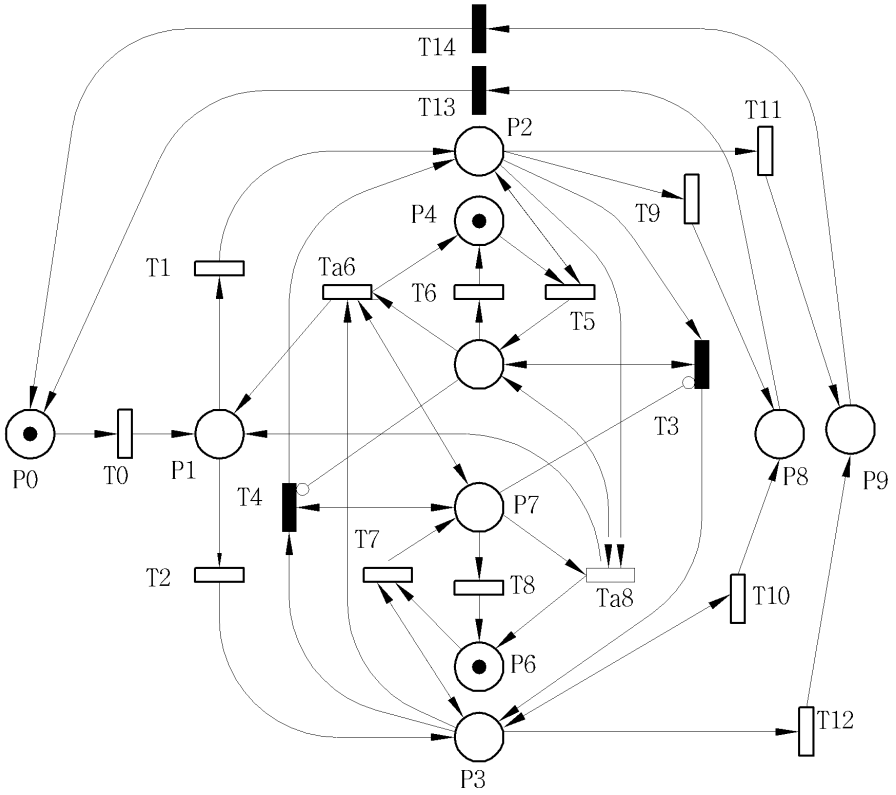
[0135] 도 8의 (b)는 각 시뮬레이션을 통해 측정된 전체 주행 시간의 변화를 나타낸 그래프이다. 도 8의 (b)에 도시된 바와 같이, 주행 시간은 시뮬레이션이 반복됨에 따라 점차 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 본 발명에 따

른 주행 제어 GSPN 모델이 이전의 주행 경험을 트랜지션의 파라미터를 업데이트하는데 반영하여, 본 발명에 따른 주행 제어 방법의 전체 성능을 향상시키기 때문이다.

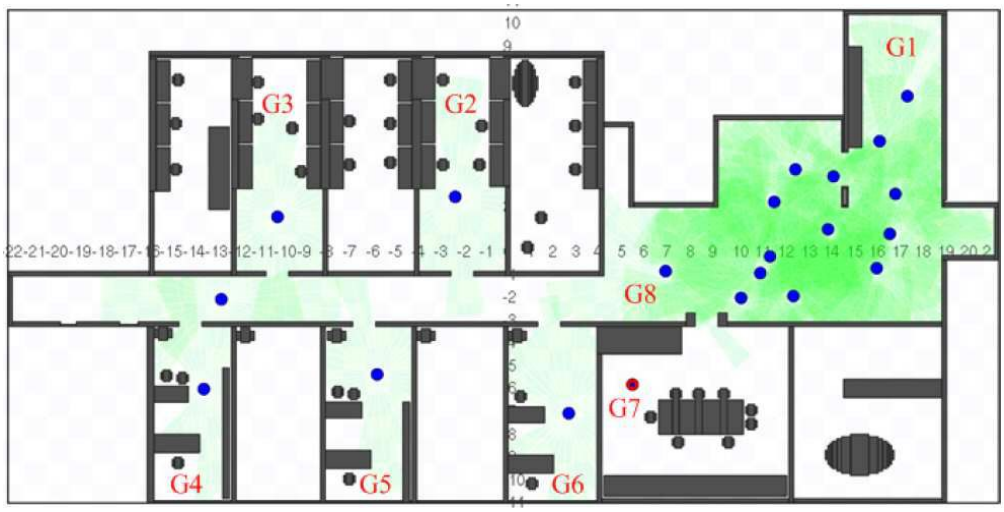
[0136] 비록 본 발명의 몇몇 실시예들이 도시되고 설명되었지만, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 당업자라면 본 발명의 원칙이나 정신에서 벗어나지 않으면서 본 실시예를 변형할 수 있음을 알 수 있을 것이다. 별명의 범위는 첨부된 청구항과 그 균등물에 의해 정해질 것이다.

도면

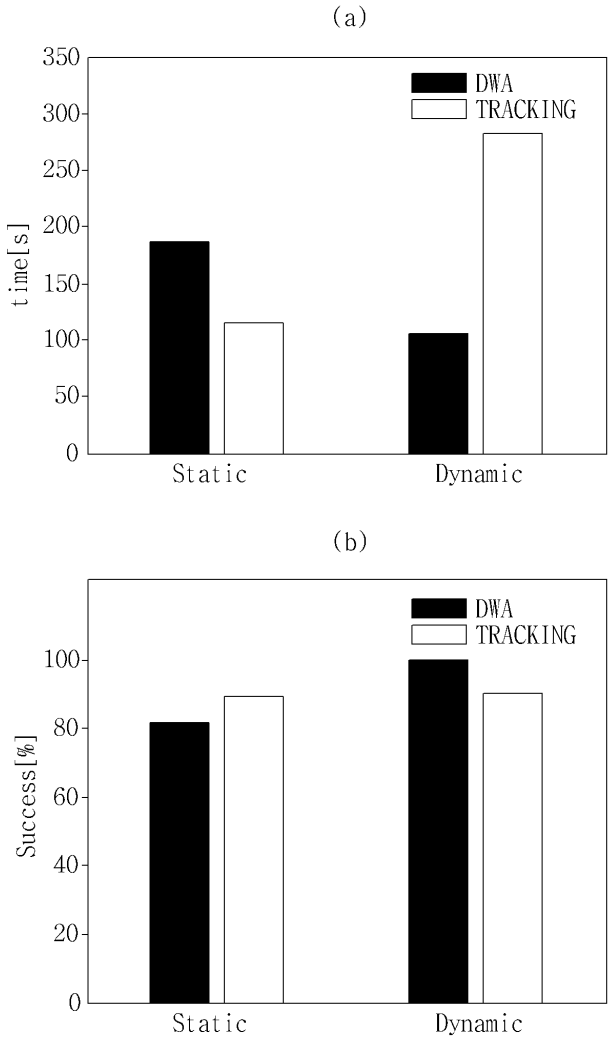
도면1



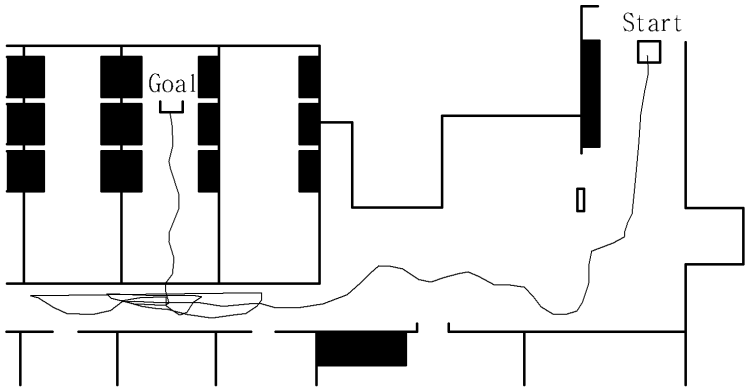
도면2



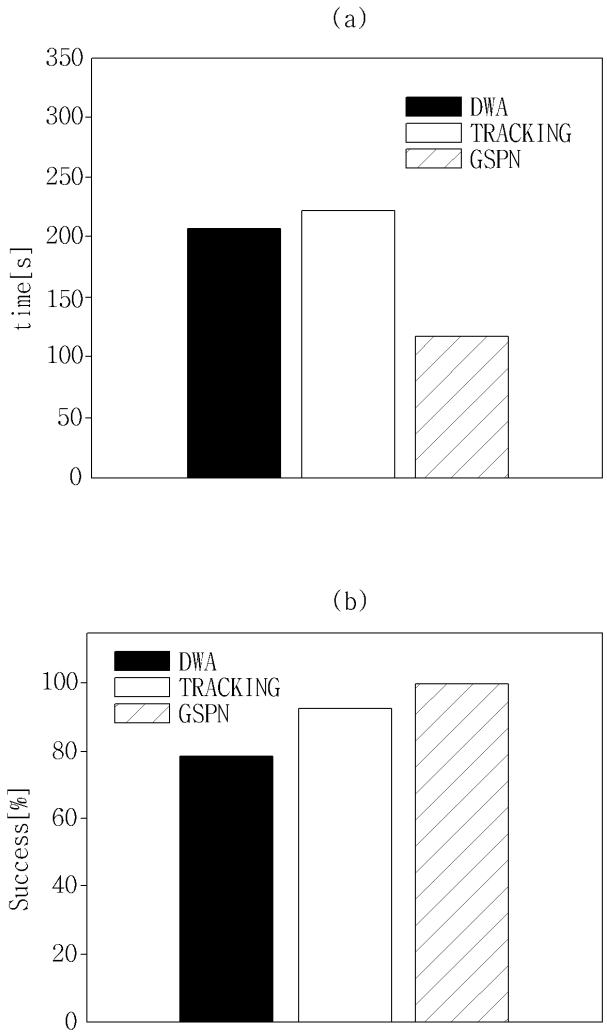
도면3


(a)
350
300
250
200
150
100
50
0
time[s]
DWA
TRACKING
Static
Dynamic
(b)
100
80
60
40
20
0
Success[%]
DWA
TRACKING
Static
Dynamic

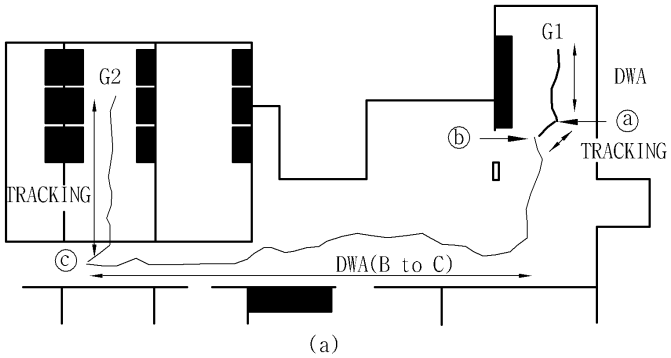
도면4


Start
Goal

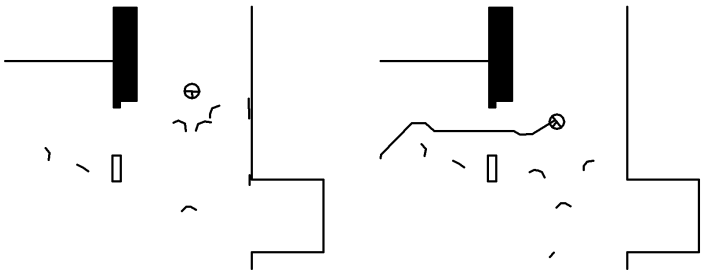
도면5


(a)
350
300
250
200
150
100
50
0
time[s]
DWA
TRACKING
GSPN
(b)
100
80
60
40
20
0
Success[%]
DWA
TRACKING
GSPN

도면6



(a)

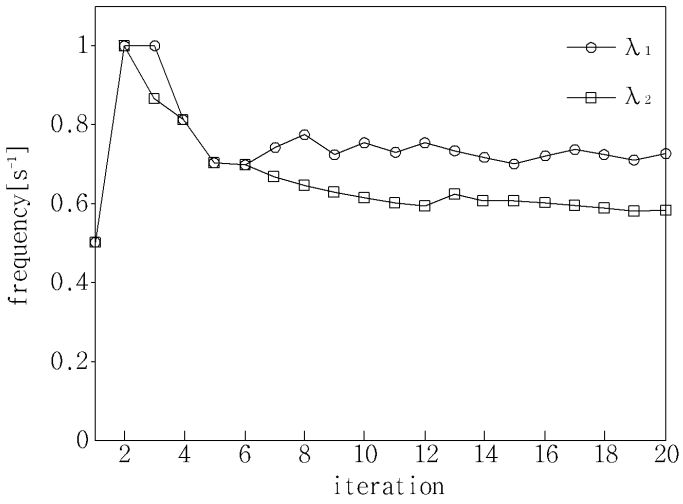


(b)

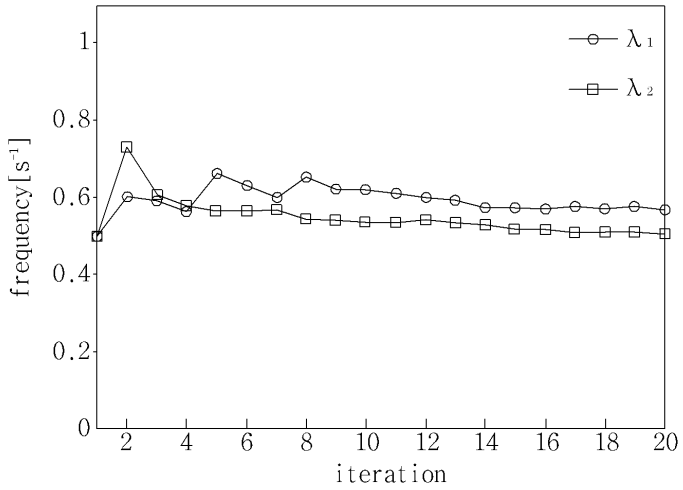
(c)

도면7

(a)


λ1
λ2
frequency[s-1]
iteration
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20

(b)


λ1
λ2
frequency[s-1]
iteration
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20

도면8

