

생체모방형 안전 로봇의 주행 최적화 알고리즘 개발

표주현*, 이명석*, 신동관*, 이상웅*, 김무림*
한국로봇융합연구원*

Development of locomotion optimization algorithm for biomimetic safety robot

Juhyun Pyo*, Meungsuk Lee*, Dong-Gwan Shin*, Sangwoong Lee*, Maolin Jin*
Korea Institute of Robotics & Technology Convergence*

Abstract - 본 논문에서는 건물 붕괴등과 같은 재난환경에서 활용할 수 있는 생체모방형 안전 로봇으로 뱀형 로봇을 제안하고, 주행 패턴을 최적화할 수 있는 알고리즘을 개발, 검증한다. 뱀형 로봇은 다수의 관절 모듈을 활용하여 다양한 주행패턴이 가능하고, 제어를 위해 Central pattern generator(CPG) 제어 방법을 적용하였다. CPG 제어 방법은 동역학 모델 정보를 사용하지 않고 몇 개의 파라미터를 조절하여 로봇을 제어할 수 있는 장점이 있다. 로봇의 주행 패턴 최적화를 위해 파라미터 선정 방법을 설명하고 시뮬레이션 환경을 통해 주행 성능을 확인 하였다.

1. 서 론

다양한 재난상황으로 인한 건물 붕괴 시 비평탄 지형을 주행할 뿐만 아니라 협소한 공간에도 진입하여 생존자의 위치를 파악할 수 있는 다양한 로봇 기술 들이 연구 개발되고 있다. 특히 재난 현장에서 구조 활동은 사고 발생 후 골든타임(72시간) 이내에 생존자를 찾고 이를 연장할 수 있는 것이 중요하다.

기존에는 탐사봉(서치텡)을 활용한 협소공간 탐색과 후각·청각이 발달한 동물을 이용한 공간 탐색 방법 등을 활용하고 있으며, 이러한 방법은 제한된 범위 내에서만 활용할 수 있기 때문에 골든타임 이내 생존자를 찾는 데 효율이 떨어진다. 또한, 건물의 추가 붕괴 우려로 건물 내 구조대원들은 진입 조사에 어려움이 있으므로, 로봇을 활용한 구조 활동이 필요하다. 재난 현장에서 로봇이 활용된 사례로 카네기멜론대학(CMU)에서 개발한 뱀형 로봇을 2017년 발생한 멕시코지진 현장에서 붕괴 건물 지붕의 협소한 구멍으로 투입하여 생존자 탐지활동을 하였다(그림 1)[1].

본 논문은 이러한 붕괴 재난 현장에서 활용 가능한 생체모방형 안전 로봇의 제어 방법 및 주행 성능 최적화 방법을 제안한다. 또한, 이를 검증하기 위한 시뮬레이션 환경을 구축하고 도출한 주행 성능 결과를 제시한다.



<그림 1> 안전로봇 현장 활용 사례(CMU, 멕시코 지진, 2017)

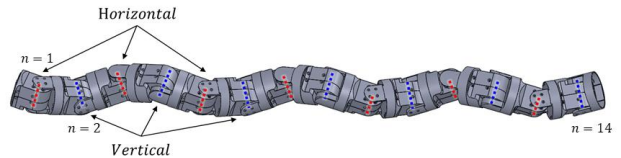
2. 본 론

2.1 안전 로봇 구조 및 제어 방법

본 논문에서 제안하는 생체모방형 안전 로봇은 생물학적 뱀의 움직임을 모사한 뱀형 로봇으로 수평/수직 방향 교대로 14개의 모듈을 연결한 구조이다(그림 2). 뱀형 로봇의 각 모듈은 ±90° 범위에서 개별 제어하여 다양한 주행패턴 구현이 가능하다(그림 3). 다양한 주행 패턴 구현을 위한 뱀형 로봇 모듈 제어 방법으로 매개변수화된 함수를 사용하는 Central pattern generator(CPG) 제어 방법을 적용하였다[2]. CPG 제어 방법은 동역학 모델 정보를 사용하지 않고 로봇을 제어할 수 있는 장점이 있다.



<그림 2> 생체모방형 안전 로봇(뱀형 로봇)



<그림 3> 뱀형 로봇의 모듈 체결 구조

2.2 안전 로봇 주행 최적화 알고리즘

CPG 기반 뱀형 로봇 제어 방법은 각 관절을 주기적으로 동작하여 이동하는 방식으로, 파형을 생성하는 파라미터의 조합에 따라 다양한 주행 패턴의 구현이 가능하다[3]. 현재까지 연구된 뱀형 로봇은 Concertina, Lateral undulation, Sidewinding, Inchworm, Rolling 등의 다양한 주행패턴에 대한 연구가 진행되었으며[4], 실험을 통한 파라미터 튜닝으로 CPG 기반 주행패턴을 구현한다[5].

뱀형 로봇의 각 모듈(n)의 제어 각도(α)는 다음 식(1, 2)과 같이 표현된다.

$$\alpha(n,t) = \begin{cases} \beta_h + A_h \sin(\theta_h) & \text{horizontal} \\ \beta_v + A_v \sin(\theta_v + \delta) & \text{vertical} \end{cases} \quad (1)$$

$$\theta_{h,v}(n,t) = \Omega_{h,v}n + \omega_{h,v}t \quad (2)$$

$\beta_{h,v}$: Angle offset

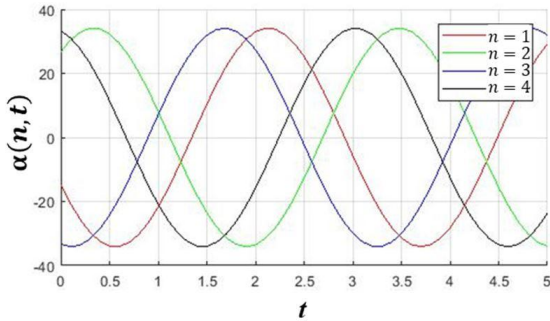
$A_{h,v}$: Amplitude

δ : Phase shift

$\Omega_{h,v}$: Spatial frequency

$\omega_{h,v}$: Temporal frequency

뱀형 로봇의 주행 패턴은 파라미터 $A_{h,v}$, δ , $\Omega_{h,v}$ 에 의해 생성되는 수평/수직 관절의 파동의 조합에 의해 결정되며, 각 파라미터가 파동 형상에 미치는 영향을 분석하여 최적 주행 성능을 만족하는 파라미터를 도출하고자 한다. 그림 4는 시간에 따른 수평/수직 관절 제어 각도의 변화를 나타낸 것이다.

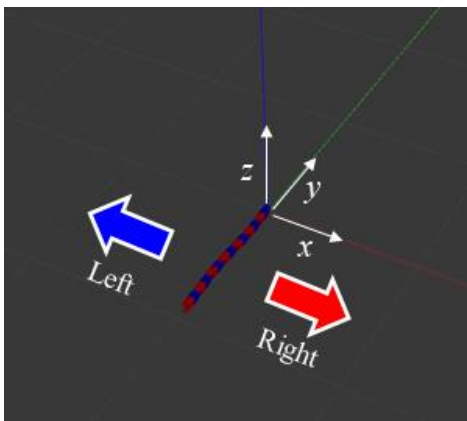


〈그림 4〉 뱀형 로봇 모듈의 시간에 따른 제어각도 변화

제어 각도 파형은 파라미터 $A_{h,v}$, δ , $\Omega_{h,v}$ 의 조합으로 생성되지만, 각 파라미터가 주행 패턴에 미치는 영향은 서로 조금씩 다르다. $A_{h,v}$ 는 파동의 진폭을 의미하며, 그 크기가 증가할수록 로봇의 속도는 증가하지만 안전성은 감소한다. δ 는 직교한 수평/수직 관절의 교차 시점을 제어하는 파라미터로 주행 방향에 영향을 미친다. $\Omega_{h,v}$ 는 공간적 요소를 결정하며, 특정 시간 t 에서 각 관절의 각도를 보면 로봇의 거시적인 모양을 확인할 수 있다. 이러한 영향을 시뮬레이션을 통해 확인하고 각 파라미터의 조절 범위를 도출하여 순차적으로 파라미터를 최적화 하는 방법을 제안한다.

2.3 시뮬레이션 환경

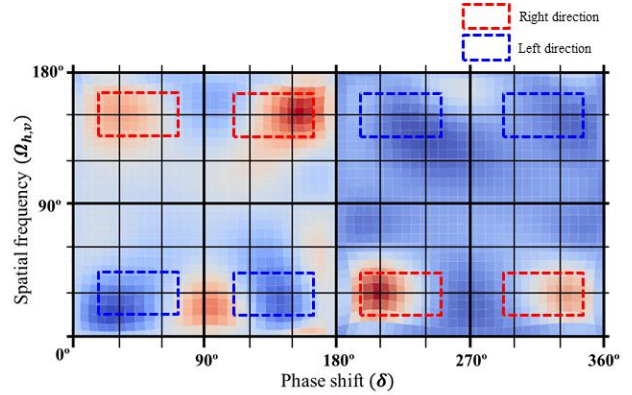
파라미터 $A_{h,v}$, δ , $\Omega_{h,v}$ 변화에 따른 관절 파동 및 주행 특성을 확인하기 위해 Opensource simulation tool인 Gazebo simulator로 구축하였으며, 설계한 실제 뱀형 로봇 모델을 적용하여 파라미터 및 주행 성능 최적화를 수행하였다. 시뮬레이션 환경은 그림 5와 같은 좌표계로 설정하였으며, Sidewinding 패턴에 대한 주행 성능 최적화를 목표로 하였다. 주행 성능은 단위 시간당 이동 속도 및 직진성을 평가항목으로 설정하였다.



〈그림 5〉 시뮬레이션 환경

2.4 시뮬레이션 결과

각 파라미터의 특성을 파악하기 위해 파라미터의 적용 가능한 모든 범위에서 최소 단위의 변화를 적용하여 시뮬레이션 실험을 한 주행 성능 변화 결과는 그림 6과 같다. 이를 통해 각 파라미터별로 주기적인 영향을 미치는 구간을 확인할 수 있으며, 이렇게 반복되는 영역으로 인해 최적화 하고자 하는 주행 패턴의 파라미터 범위를 선정할 수 있다.



〈그림 6〉 파라미터 변화에 따른 주행 성능 변화

파라미터별로 한정된 범위에서 Sidewinding 주행 패턴에 대한 파라미터($A_{h,v}$, δ , $\Omega_{h,v}$) 최적화 튜닝을 한 결과, $A_{h,v}=38^\circ$, $\delta=44^\circ$, $\Omega_{h,v}=24^\circ$ 값에서 가장 속도가 빠르며 높은 직진성을 나타냈다.

3. 결론

본 논문은 생체모방형 안전 로봇(뱀형 로봇)의 주행 패턴 최적화를 위한 방법을 소개한다. 뱀형 로봇은 CPG 제어 방법으로 제한된 파라미터를 조절하여 주행 패턴을 생성하고, 최적 파라미터 선정을 통한 주행성능을 최적화 할 수 있다. 이러한 과정은 구현된 시뮬레이션을 통해 최적화된 주행 성능 결과를 확인할 수 있다.

향후 학습 기반의 최적화 알고리즘 적용을 위한 파라미터 학습 범위 설정 기준을 마련하였으며, 이는 최적화를 위한 방대한 학습 비용(시간)을 줄일 수 있는 효과적인 전처리 과정으로 적용될 수 있다. 본 논문에서 제안한 최적화 방법을 기반으로 다양한 최적화 학습 알고리즘 들을 추가로 적용하여 주행 패턴 최적화 연구를 진행할 계획이다.

감사의 글

본 논문은 산업통상자원부 공공혁신수요기반신기술 사업화 지원을 받아 수행된 연구(No. P0018393)로서, 관계부처에 감사 드립니다.

[참고 문헌]

- [1] Whitman, J., Zevallos, N., Travers, M., & Choset, H., "Snake robot urban search after the 2017 Mexico City earthquake," 2018 IEEE international symposium on safety, security, and rescue robotics (SSRR), pp. 1-6, 2018
- [2] Hirose, S. and Mori, M., "Biologically inspired snake-like robots," 2004 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 1-7, 2004.
- [3] 표주현, 이명석, 신동관, 서갑호, 조한길, 서진호, 김무림, "유전 알고리즘을 이용한 뱀형 로봇 주행 패턴 생성", 한국정밀공학회지, Vol. 38, No. 10, pp. 717-724, 2021
- [4] Transeth, A. A., Pettersen, K. Y. and Liljebäck, P., "A survey on snake robot modeling and locomotion," Robotica, Vol. 27, No. 7, pp. 999-1015, 2009.
- [5] González Gómez, J., Zhang, H. and Boemo, E. I., "Locomotion principles of 1D topology pitch and pitch-yaw-connecting modular robots," InTech, 2007.