

한 쌍의 푸쉬-풀 와이어를 이용한 로봇 안구의 팬-틸트 모션 생성

Pan-Tilt Motion Generation of Robot Eye by Using a Pair of Push-Pull Wires

정찬열* · 오경균** · 이용규* · 박신석* · 김승종†

Chan-Yul Jung, Kyung-Geune Oh, Yong-Gyu Lee, Shin-suk Park, and Seung-Jong Kim

1. 서론

인간의 안구 움직임은 상하회전(tilting), 좌우회전(panning), 비틀림 등 세 가지의 회전 운동으로 완전하게 묘사될 수 있다고 알려져 있다. 드물게 약간의 직선 운동을 하는 경우도 있으나 무시할 수 있다. 논문에서 소개하는 로봇과 같이, 카메라가 안구가 아닌 고정 프레임에 장착된 경우에는 안구의 비틀림 거동은 불필요하고, 안구 회전은 2 자유도 구동, 즉, 팬-틸트(pan-tilt) 구동만으로 구현이 가능해진다.

팬-틸트 구동을 위한 로봇의 안구는 짐벌(gimbal) 구조로 설계되는 것이 일반적인데, 그 구동을 위해서는 안구부 회전관성 저감 및 모터, 링크 등의 공간적 간섭 회피를 위하여 와이어 구동 방식(또는 텐던(tendon) 방식)이 흔히 사용된다. 하지만 기존의 와이어 구동 방식은 푸쉬-풀(push-pull) 모션을 구현하기 위해서, 두 개의 모터를 한 쌍으로 사용하거나, 한 개의 모터와 하나의 스프링이 조합된 구조로써 설계되는데, 여전히 공간 효율 개선과 구조 단순화의 필요성은 존재한다.

본 논문에서는 한 개의 모터와 와이어로써 푸쉬-풀 모션을 하는 간단한 메커니즘을 제안한다. 그리고, 내부에 카메라 설치 공간이 확보된, 팬-틸트 구동이 가능한 콤팩트한 안구 모듈을 소개하고, 로봇의 시선 방향 제어 방법을 제시한다.

2. 본론

2.1 안구 구동 메커니즘

(1) 푸쉬-풀 와이어 메커니즘

본 논문에서 제안하는 안구 구동부 구조를 Fig. 1에 나타내었다. 안구의 회전축은 일반적인 짐벌의 형태와 동일하다. 또한, 안구의 구동은 두 개의 와이어가 독립적으로 밀고 당기는 힘을 전달하여 별도의

링크구조 없이 안구의 2자유도 회전을 구현한다. 이를 가능하게 하는 핵심 요소는 와이어의 좌굴을 방지하는 튜브와, 와이어와 튜브 끝단을 단순 지지하면서 회전을 허용하는 피벗 요소이다.

(2) 푸쉬-풀 와이어 및 튜브 직경 선정

튜브의 재질로는 마찰계수가 낮은 테플론(Teflon)을 선정하였고, 와이어의 재질은 강도와 부식성을 고려하여 스테인리스(stainless steel)로 하였다. 또한, 와이어의 직경과 튜브의 내경 선정에서 실제로 여러 가지 치수의 와이어와 튜브를 이용하여 내구성 테스트를 수행하였고, 테스트에 성공한 경우인 0.5 mm 직경의 와이어와 내경 0.6 mm, 외경 1.8 mm의 튜브를 최종적으로 선택하였다. 와이어와 테플론 튜브의 곡률은 직선에 가까울수록 부하가 작아져서 유리하지만, 구동 모터가 안구의 상부에 놓여야 하는 안구 모듈의 구조적, 공간적 특성으로 인하여, 테플론 튜브 끝에 끼워진 두 피벗 사이의 거리를 50 mm, 각도를 50도로 설계하였고, 테플론 튜브의 곡률 반경은 60 mm로 하였다.

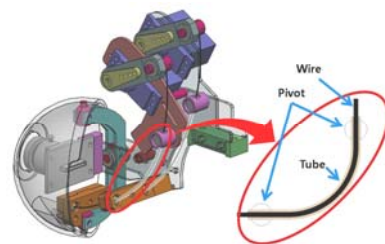


Fig. 1 Eyeball driving mechanism and Pull-Push wire structure

3. 시선 방향 구현

3.1 시선 방향과 모터 회전각의 관계

안구의 목표 시선 방향은 초기 기준 위치(예: 정면)로부터의 틸팅 각도와 패닝 각도로 표현이 가능하며, Fig. 2는 안구 시스템의 3차원 직교 좌표계를 보여준다. 그림에서 F_1 과 F_2 는 고정 프레임에 결합된 두 튜브 끝단의 피벗 위치이고, B_1 과 B_2 는 안구에 고정된 두 와이어 끝단의 피벗 위치이며, 점 O는 안구의 회전 중심이다. θ_1 와 θ_2 만큼의 팬-틸트 회전에 의해서 B_1 과 B_2 가 각각 B_1' 과 B_2' 으로 이동한다면 각 와이어의 이동 거리는 각각

† 교신저자; 한국과학기술연구원(KIST)
E-mail : sjongkim@kist.re.kr
Tel : (02) 958-5610, Fax : (02) 958-5659
* 고려대학교 기계공학과
** 한국과학기술연구원(KIST)

$$l_1 = |\overline{F_1B_1'}| - |\overline{F_1B_1}| = a' - a \quad (1)$$

$$l_2 = |\overline{F_2B_2'}| - |\overline{F_2B_2}| = a'' - a \quad (2)$$

와 같이 표현되는데, 여기서 B_1' 과 B_2' 의 좌표는 아래 식과 같다.

$$B_1' = R_y R_z B_1 \quad (3)$$

$$B_2' = R_y R_z B_2 \quad (4)$$

또한, R_y 와 R_z 는 각각의 틸팅 - 패닝의 회전변환 행렬을 나타내며, 결과적으로 식(3)과 (4)는 아래와 같이 정리된다.

$$B_1' = \begin{pmatrix} b \cos \theta_z \sin \theta_y - h \sin \theta_z \\ -b \cos \theta_y \\ -b \sin \theta_z \sin \theta_y - h \cos \theta_z \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$B_2' = \begin{pmatrix} -b \cos \theta_z \sin \theta_y - h \sin \theta_z \\ b \cos \theta_y \\ b \sin \theta_z \sin \theta_y - h \cos \theta_z \end{pmatrix} \quad (6)$$

공간 상에 고정된 두 점 F_1 과 F_2 의 좌표들을 두 점 사이의 거리 공식에 대입하면 식(1)과 (2)의 a' 과 a'' 을 계산할 수 있고 l_1 과 l_2 를 얻을 수 있다.

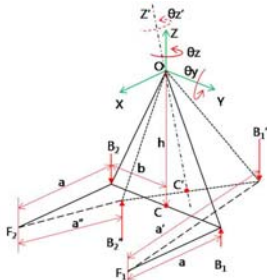


Fig. 2 Eyeball system on 3 dimensional Cartesian coordinates

3.2 시선 방향 구현 실험

모터 구동에 의해 안구가 회전할 때, 그 시선 방향의 측정은 간접적인 방법으로 Fig. 3과 같이 표식이 원점으로부터 이동한 좌표를 계산하여 안구의 회전각, θ_z 와 θ_y 를 산출하였으며, 산출된 결과로 얻어진 각도와 앞 절에서 유도한 계산식을 이용하여 얻어진 각도를 Fig. 4에서 비교하였다.

전체 54개 데이터에 대해서 두 결과의 차이를 분석한 결과, 평균 오차는 θ_z 는 0.545도, θ_y 는 0.433도로 나타났다. 이와 같은 차이는 푸쉬-풀 와이어 구동방식의 특성상, 테플론 튜브의 내·외부에서 작지만 와이어가 휘어지는 현상에 기인하는 것으로 판단된다. 또한, Fig. 5은 θ_z , θ_y 와 함께 그 각도를 구현하기 위한 모터 암의 회전각을 도시한 그림이다. 두 개의 모터와 와이어는 이론적으로 완전 대칭이라 가정하였으므로, 두 평면이 대칭으로 교차하는 모양을 가지며, 그 교선은 두 모터 암의 회전각이 동일한 경우로서 패닝 각도가 0 도를 유지하면서 틸팅이 이루어지는 경우를 의미한다. 안구 구동 각도가 커질 경우에는 와이어의 구부러짐 등에 의하여 평면이 약간 휘어짐

을 확인할 수 있다.

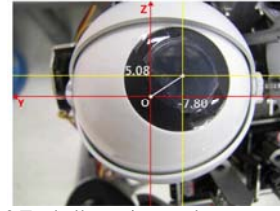


Fig. 3 Eyeball rotation angle measurement

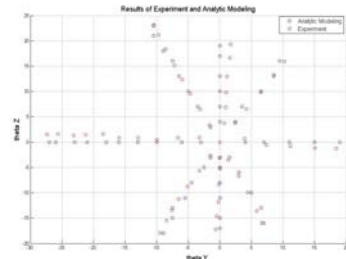


Fig. 4 Comparison of position angles (θ_y , θ_z) by experiment and calculation

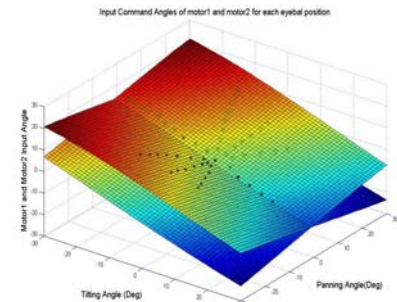


Fig. 5 Input command angles of motor1 and motor2 for each eyeball position (Pan and Tilt = -30~30)

4. 결론

본 논문에서 제시한 안구모듈은 와이어와 테플론 튜브의 유연한 성질을 이용한 이러한 메커니즘은 동력 및 모션 전달에 있어서 방향 변화에 따른 대응이 비교적 용이하다. 이것은 링크나 기어는 물론 기존의 텐던 방식보다도 기구부의 메커니즘이 단순하여 설계 공간의 효율성을 높이는 데 있어서 탁월한 장점이 있다. 안구의 구동각과 모터 암의 회전각 사이의 관계식을 이용하면 허용할 만한 오차 범위 내에서 안구의 시선방향 제어가 가능함을 실험적으로 검증하였다. 물론 안구의 크기, 무게, 그리고 사용 모터의 성능에 따라 제한은 있을 수 있으나, 표정 구현용 얼굴 로봇에의 활용을 목적으로 하는 경우 최선의 메커니즘이라는 결론을 얻었다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 21C 프론티어 지능로봇 사업의 지원으로 수행되었기에 감사 드립니다.