

백서

안전 우선 - RESOLUTE™ 트루 앵슬루트 옵티컬 엔코더의 위치 결정 및 확인 알고리즘

본 백서에서는 RESOLUTE 앵슬루트 엔코더의 작동에 대한 개요 정보를 제공하고 위치 결정 및 확인 알고리즘의 안전 측면에 대해 자세히 설명합니다.

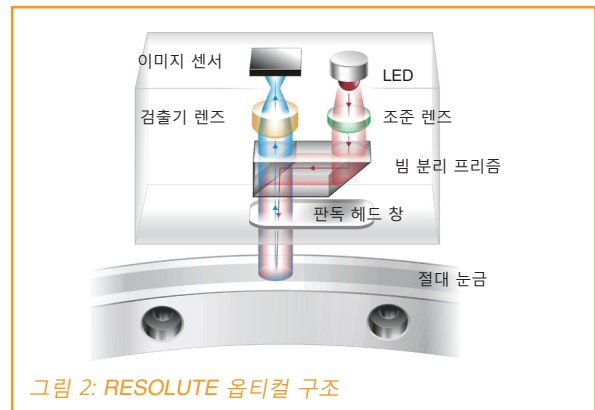
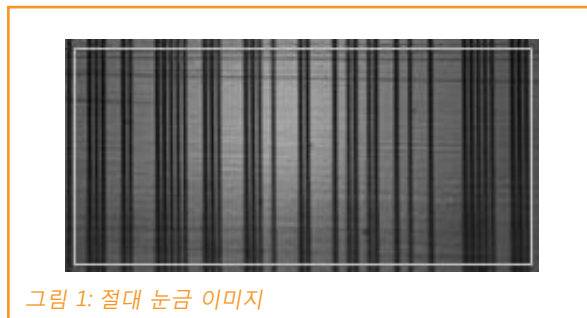
소개

RESOLUTE 트루 앵슬루트 엔코더 제품군은 기존의 앵슬루트 엔코더와 근본적으로 다르게 작동하여 위치 출력이 잘못된 경우 예외 없이 설정되는 오류 플래그를 출력합니다. 그 결과 모션 시스템 최종 사용자의 안전 수준이 향상되고 시스템 설치자의 설계 프로세스가 간소화됩니다.

기존의 앵슬루트 엔코더는 연속적으로 작동하는 반면 RESOLUTE는 필요 시 위치를 계산합니다. 사용 중, 판독 헤드는 호스트 제어 시스템으로부터 일련의 요청 신호를 수신합니다. 요청 신호가 수신될 때마다 판독 헤드는 완전히 다른 원리에 따라 작동하는 두 가지 독립적 방법(아래에서 설명)을 이용하여 위치를 결정함으로써 공통 원인에 의한 장애 위험을 방지합니다. 이렇게 얻어진 위치는 서로 비교되어 제어 시스템으로 전송되는 위치에 첨부되는 오류 플래그를 설정할지 여부를 결정합니다. 즉, 제어 시스템은 판독 헤드가 보내는 오류 플래그에 따라 결정을 내릴 수 있습니다. 오류 플래그가 설정되지 않으면 위치 출력이 맞는 것으로 확신할 수 있습니다.

위치 계산 방법

RESOLUTE는 그림 1과 같이 밝은 기판에 어두운 라인으로 그려진 측정 눈금을 사용하는 옵티컬 엔코더입니다. 기본 눈금 간격은 30 μm이지만 절대 위치 정보를 인코딩하기 위해 선택 라인이 누락되어 있습니다.



위치 요청이 수신되면 엔코더가 특정 눈금 영역에서 정확한 시간의 스냅샷 이미지를 캡처합니다. 그림 2와 같이 이미지 센서에 있는 발광 다이오드(LED)와 전자 셔터가 약 100 ns 동안 구동됩니다. 그 결과 ±20 ns 이내의 시간 범위에서 모션 오류가 없는 이미지를 얻을 수 있습니다. 그러면 이 이미지는 판독 헤드 내에 있는 디지털 신호 프로세서(DSP)로 전송되고 두 가지 개별 알고리즘을 사용하여 위치가 계산됩니다.

알고리즘 1은 이전 위치에 대한 어떠한 정보도 사용하지 않고 단일 이미지를 디코딩하여 위치를 계산합니다. 프로세스의 첫 단계는 이미지의 위상을 계산하는 것입니다. 이 단계는 증분 엔코더가 수행하는 작업과 유사하며 1 nm 이상의 분해능과 0 ~ 30 μm 범위의 값에서 기본 눈금 간격의 일부 형태로 결과를 제공합니다. 눈금의 각 이미지는 측정 방향으로 약 2 mm 확장되며 눈금은 어떤 한 이미지에서 위상을 정확하게 계산하기에 충분한 어두운 라인이 있도록 고안되어 있습니다. 이 위상 계산은 엔코더의 단거리 정확도, 분해능 및 노이즈 성능을 정의합니다.

위상 정보는 눈금에서 각 잠재적 라인의 중심 위치를 찾는 데 사용됩니다. 그러면 이러한 각 위치의 이미지에 대해 상호 관련성이 분석되어 암선이 있는지 여부를 확인하게 됩니다. 그 결과 판독 헤드 바로 아래의 눈금 패턴에 해당하는 65비트 2진 수치가 얻어집니다. 고유

위치를 정의하기 위해 이러한 비트의 1/4만 필요합니다. 눈금의 일부가 가려지더라도 올바른 위치가 확보될 수 있도록 남은 비트는 중복 정보를 제공합니다. 그러면 오류 감지 및 교정 알고리즘이 사용되어 비트 시퀀스가 판독 헤드의 개략적 절대 위치로 변환됩니다. 개략적 위치(눈금 간격의 정수)를 위상 정보와 결합시켜 전체 알고리즘 1 위치가 결정됩니다.

알고리즘 2 는 최근에 획득된 두 위치 판독값으로부터 선형 외삽을 사용하여 위치를 계산합니다. 이를 위해 이전 판독 이후 엔코더의 속도가 이전의 두 위치 사이에서 측정된 속도와 동일하다고 가정합니다. 이 계산의 오차는 순차 판독 사이의 시간, 이전 판독의 정확도, 타이밍 불확실성 및 판독 헤드와 눈금의 상대적 가속에 의해 결정됩니다. 판독 헤드와 눈금 사이의 최대 가속이 100 m/s²(10 g)이고 62.5 μs마다 위치를 요청하는 일반적 시스템의 경우, 알고리즘 2의 최대 오차는 ±1.2 μm입니다. 판독 헤드는 필요할 경우 요청 사이에 추가 이미지를 캡처하여 이미지 사이의 시간이 75 μs 이상 되지 않도록 합니다.

위치 비교

두 위치가 계산되면 엔코더가 출력할 위치 및 오류 플래그를 설정할지 여부에 관한 결정을 내립니다. 알고리즘 1의 위상 계산 부분은 매우 강력합니다. 눈금이 오염되면 위상 정보에 노이즈가 많아져 왜곡이 발생할 수 있습니다. 그러나 극심한 환경에서도 이로 인해 발생하는 위치 오차는 1마이크로미터 미만입니다. 오염이 심한 경우에도 위상 정보는 안정적으로 확보되지만 개략적 위치 계산에서 오차를 교정하는 기능은 절대 위치를 올바르게 디코딩하기에 부족할 수 있습니다.

극심한 가속(>2000 m/s²)에서만 개략적 위치를 변화시키기에 충분한 오차가 발생할 수 있기 때문에 알고리즘 2에 의해 계산된 위치는 확고한 개략적 위치를 제공합니다. 그러나 알고리즘 2에 의한 상세 위치(위상)는 속도가 일정하다는 가정으로 인해 다소 부정확할 수 있습니다.

작업 중, 두 알고리즘으로 계산된 개략적 위치가 일치하여 전체 위치가 서로 간에 ±15 μm(눈금 간격의 절반) 이내에 들어오면 판독 헤드가 알고리즘 1로부터 얻은 위상과 함께 이 개략적 위치를 출력합니다. 이와 동시에 내부 카운터가 0으로 설정됩니다. 이 카운터의 중요성은 때가 되면 분명하게 드러납니다. 개략적 위치가 일치하지 않으면 판독 헤드가 알고리즘 2의 개략적 위치와 함께 알고리즘 1의 위상을 출력하고 마찬가지로 내부 카운터를 증가시킵니다. 내부 카운터의 값이 4를 초과하면 위치 출력이 정확하다고 더 이상 확신할 수 없기 때문에 판독 헤드가 오류 플래그를 설정합니다. 이 시점에서 오류 플래그 설정의 원인을 몇 가지 검토해 보는 것이 좋습니다.

예 1

판독 헤드가 눈금 코드의 오차 교정 기능을 벗어나는 오염 영역을 지나간다고 가정합니다. 그 결과, 알고리즘 1로부터 잘못된 개략적 위치가 얻어집니다. 그러나 오염으로 인해 발생한 1마이크로미터 미만의 부정확성에도 불구하고 위상은 올바르게 얻어집니다. 판독 헤드는 개략적 위치 사이의 불일치를 내부적으로 기록하고(카운터를 증가시킴) 알고리즘 1의 올바른 위상과 함께 알고리즘 2의 올바른 개략적 위치를 출력합니다. 판독 헤드가 5개의 연속 이미지에 대해 알고리즘 1로부터 올바른 개략적 위치를 얻는 데 실패하면 오류 플래그를 설정하여 더 이상 위치가 확실하지 않다는 사실을 나타냅니다. 알고리즘 1이 4개 이하의 이미지에 대해 개략적 위치를 확신하면 카운터가 재설정되고 이전과 같이 위치가 계속 출력됩니다.

예 2

판독 헤드가 정상적으로 작동하고 있고 ~10 000 m/s²으로 가속 혹은 100 μm 이상에 걸쳐 2 m/s에서 정지 상태로 감속된다고 가정합니다. 이러한 상황은 기계를 딱딱한 단부 멈춤부까지 운전하여 발생할 수 있습니다. 이 상황에서 알고리즘 1로부터 얻은 위치는 항상 올바르게만 알고리즘 2로부터 얻은 위치는 몇 눈금 이하의 정도로 올바른 위치와 차이가 발생합니다. 판독 헤드는 알고리즘 2의 개략적 위치가 올바르게다고 가정하고(틀리지만) 알고리즘 1의 올바른 위상과 함께 이를 출력합니다. 이 시점부터 두 알고리즘의 개략적 위치는 항상 불일치합니다. 판독 헤드는 실제 위치에서 약간 지체된 5개의 위치를 계산한 후 오류 플래그를 설정합니다.

예 3

이 예에서는 두 알고리즘이 동시에 오차를 발생시킨다고 가정합니다. 이온화 방사선으로 인해 판독 헤드의 프로세서 내에 있는 메모리 영역이 손상되고 그 결과 두 알고리즘의 위치가 손상된다는 예상 밖의 상황을 가정합니다. 두 알고리즘은 위치를 계산하는 방식이 서로 매우 다르기 때문에 둘 모두 동일하게 잘못된 정보를 생성하여 손상이 발생한다는 상황은 생각하기 어렵습니다. 따라서 판독 헤드는 개략적 위치가 다른지 확인하고 카운터를 증가시킨 다음 알고리즘 2의 개략적 부분과 알고리즘 1의 위상에서 발생한 잘못된 위치를 출력합니다. 알고리즘 2는 이전의 판독값을 기준으로 하기 때문에 이 시점부터는 제공되는 위치 정보가 항상 틀리게 됩니다. 따라서 올바른 위치 정보를 제공하도록 알고리즘 1이 복구되더라도 판독 헤드는 5개의 잘못된 위치를 계산한 후 계속해서 오류 플래그를 발생시킵니다.

오류 플래그 응답

이러한 예를 통해 판독 헤드가 5개의 잘못된 위치를 출력한 후에 오류 플래그를 설정한다는 사실이 밝혀졌습니다. 62.5 μs마다 위치를 요청하는 시스템의 경우, 첫 번째 잘못된 위치를 출력하고 오류를 발생시킬 때까지의 시간은 313 μs입니다. 500 μs 간격으로 위치를 요청하는 좀 더 느린 시스템의 경우, 이미지 사이의 시간이 75 μs를 초과하지 않도록 판독 헤드가 각 요청 쌍 사이에서 6개의 추가 이미지를 처리하게 되므로 이 시간은 500 μs가 됩니다. 두 경우 모두, 잘못된 위치를 출력하고 오류 플래그를 발생시킬 때까지의 시간은 잘못된 데이터가 제어 시스템에 영향을 미치기 전에 오류 플래그에 응답해서 적합한 조치를 취할 수 있을 정도로 충분히 짧습니다.

그림 3과 4에서는 여전히 위상 확인이 가능하지만 일반적으로 절대 코드 추출을 무효화하는 눈금 오염의 예를 확인할 수 있습니다. 이러한 경우, 설명한 메커니즘은 위치를 성공적으로 보존하거나, 반대로 오류 플래그를 설정하여 경고를 제공합니다.

시스템 전원 켜기

지금까지 알고리즘 2가 위치를 외삽하기에 충분한 이력 데이터가 항상 존재한다고 가정했습니다. 판독 헤드에 전원이 공급된 직후에는 상황이 그렇지 못하여 눈금에서 판독한 위치와 비교할 외삽한 위치가 없을 수 있습니다. 이 상황에서는 눈금에 상대적으로 판독 헤드의 위치 신뢰도를 높이기 위해 두 가지 방법이 사용됩니다.



우선, 판독 헤드는 이미지 대비가 수용 불가하면 오류 플래그를 자동으로 설정합니다. 둘째, 오류 교정의 허용 범위에 제한을 둡니다. 눈금 코드는 중복 데이터를 사용하여 유효한 시퀀스 사이에 많은 비트 수가 다르도록 하기 때문에 교정 가능한 비트에 대한 이러한 제한은 하나의 비트 시퀀스가 잘못된 위치로 잘못 디코딩될 수 있는 위험을 크게 줄입니다. 이러한 두 가지 제한은 전원을 켜는 동안은 판독 헤드의 오염 면역성이 약간 감소한다는 것을 의미합니다. 그러나, 이를 감안하여 기동 절차 중에 판독 헤드는 많은 수의 이미지를 확보함으로써 노이즈 때문에 위치에 대한 정확도 확인이 제한되지 않도록 합니다.

또한, 눈금 코드는 전원이 켜질 때 판독 헤드가 잘못된 위치를 확정하는 매우 예상 밖의 상황에서 500 μm의 이동 내에서 불일치가 탐지되도록 설계되었습니다. 이 시점에서 오류 플래그가 설정됩니다.

CRC

판독 헤드에 의해 위치 및 오류 신호가 계산되면 CRC(cyclic redundancy check)가 계산되고 호스트 컨트롤러로 전송되기 전에 데이터에 첨부됩니다. 이중 차폐 케이블을 따라 차동 신호로 전송이 이루어집니다. 데이터가 수신되면 CRC가 다시 계산되고 전송된 값과 비교할 수 있습니다. 이 값에 차이가 있으면 전송 중 데이터가 손상되었음을 나타냅니다. 이리하여 위치 또는 오류 신호가 손상되었을 때 이를 감지할 수 있습니다. 기존의 직각 위상 시스템과 비교하여 직렬 프로토콜을 사용할 때의 추가적 이점은 각 전송이 독립적이어서 전송 오류가 누적될 수 없다는 것입니다. RESOLUTE의 고유한 작동과 함께 이러한 특징은 잘못된 카운트, 위치 이동 또는 카운트 '이탈'이 발생할 수 없도록 지원하기 때문에 사용자에게 중요한 안전상의 이점을 제공합니다.

결론

평상시 서비스에서 탁월한 측정 기능을 제공하는 것 외에도 RESOLUTE의 설계는 결함 상태나 비정상적 작동 하에서도 신뢰할 수 있는 위치 출력을 보장하도록 최적화되었습니다. 시스템 설계자는 RESOLUTE가 진정한 위치를 보고하거나 또는 잘못된 위치를 플래그 처리해줄 것이라고 신뢰할 수 있습니다. 사용자는 처리량과 처리 속도, 그리고 가장 중요한 요소로 안전상의 이점을 누리면서 통제되지 않은 이동과 충돌 위험으로부터 보호를 받습니다.