

기술명 : 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 장치 및 방법

IPC : B23Q 17/09|B23Q 17/12|G05B 19/4065

발명자 : 건국대학교 박병희

요 약

본 발명은 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 장치 및 방법에 관한 것으로, 제1 및 제2 주축들에 각각 제1 및 제2 센서들을 부착하고 공작기계가 가동될 때 상기 제1 및 제2 센서들을 통해 상기 제1 및 제2 주축들의 진동 데이터들을 측정하는 데이터 측정부, 상기 제1 및 제2 센서들 중 하나의 센서가 고장시 다른 하나의 정상 센서를 통해 측정한 진동 데이터를 기초로 진동 데이터를 추정하는 데이터 추정부, 및 상기 측정한 진동 데이터들 또는 상기 측정한 진동 데이터와 상기 추정된 진동 데이터를 기초로 특징을 추출하고 학습데이터를 구성하여 진단 모델을 통해 모니터링을 수행하여 공구의 상태를 진단하는 상태 진단부를 포함한다.

- 도1

청구범위

청구항 1

제1 및 제2 주축들에 각각 제1 및 제2 센서들을 부착하고 공작기계가 가동될 때 상기 제1 및 제2 센서들을 통해 상기 제1 및 제2 주축들의 진동 데이터들을 측정하는 데이터 측정부; 상기 제1 및 제2 센서들 중 하나의 센서가 고장시 다른 하나의 정상 센서를 통해 측정한 진동 데이터를 기초로 진동 데이터를 추정하는 데이터 추정부; 및 상기 측정한 진동 데이터들 또는 상기 측정한 진동 데이터와 상기 추정된 진동 데이터를 기초로 특징을 추출하고 학습데이터를 구성하여 진단 모델을 통해 모니터링을 수행하여 공구의 상태를 진단하는 상태 진단부를 포함 하는 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제1 및 제2 센서들은 가속도 센서인 것을 특징으로 하는 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 장치.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 데이터 추정부는 상기 제1 및 제2 센서의 정상 동작에서 측정한 제1 및 제2 진동 데이터를 기반으로 주축 진동 추정을 위한 칼만 필터를 설계하고 상기 설계한 칼만 필터를 통해 상기 고장 센서가 부착된 주축의 진동 데이터를 추정하는 것을 특징으로 하는 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 장치.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 데이터 추정부는 상기 측정한 제1 및 제2 진동 데이터를 입력으로 칼만 필터를 통해 진동 데이터를 예측하고 예측한 진동 데이터 와 측정한 진동 데이터 사이의 오차가 임계치 이하가 되도록 상기 칼만 필터를 설계하는 것을 특징으로 하는 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 장치.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 데이터 추정부는 상기 제1 및 제2 센서들 중 하나의 센서가 고장시 다른 하나의 정상 센서에 의해 측정된 진동 데이터를 상기 설 계한 칼만 필터의 입력으로 사용하여 진동 데이터를 예측하고 예측한 진동 데이터에 특정 데시벨의 가우시안 노 이즈를 합산하여 고장 센서에 대한 진동 데이터를 추정하는 것을 특징으로 하는 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상 태 진단 장치.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 상태 진단부는 척도, 왜도, 평균값 및 표준편차를 특징 데이터로 추출하는 것을 특징으로 하는 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상 태 진단 장치.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 상태 진단부는 서포트 벡터 머신에 상기 특징 데이터를 입력하여 정상 및 이상 상태를 구분하여 공구 상태를 진단하는 것을 특 징으로 하는 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 장치.

청구항 8

제1 및 제2 주축들에 각각 제1 및 제2 센서들을 부착하고 공작기계가 가동될 때 상기 제1 및 제2 센서들을 통해 상기 제1 및 제2 주축들의 진동 데이터들을 측정하는 데이터 측정부; 상기 제1 및 제2 센서들의 정상 동작에서 측정된 제1 및 제2 진동 데이터를 기반으로 주축 진동 추정을 위한 칼 만 필터를 설계하고, 상기 제1 및 제2 센서들 중 하나의 센서가 고장시 다른 하나의 정상 센서에 의해 측정된 진동 데이터를 기초로 상기 설계한 칼만 필터를 통해 진동 데이터를 추정하는 데이터 추정부; 및 상기 측정된 진동 데이터들 또는 상기 측정된 진동 데이터와 상기 추정된 진동 데이터를 기초로 특징을 추출하 고 학습데이터를 구성하여 진단 모 델을 통해 모니터링을 수행하여 공구의 상태를 진단하는 상태 진단부를 포함 하는 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 장치.

청구항 9

제1 및 제2 주축들에 각각 부착한 제1 및 제2 센서들을 통해 공작기계가 가동될 때 발생하는 진동 데이터를 측 정하는 단계; 상기 측정된 진동 데이터를 기초로 학습기반의 진단 모델을 통해 모니터링하여 공구 상태를 진단하는 단계; 상기 제1 및 제2 센서들 중 하나의 센서가 고장시 다른 하나의 정상 센서를 통해 측정된 진동 데이터를 기초로 진동 데이터를 추정하는 단계; 및 상기 정상 센서를 통해 측정된 진동 데이터와 상기 추정된 진동 데이터를 기초로 모니터링을 지속하여 공구 상 태를 진단하는 단계를 포함하는 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 방법. 청구항 10 제9항에 있어서, 상기 진동 데이터 추정 단계는 상기 제1 및 제2 센서들에 의해 측정된 진동 데이터를 기초로 칼만 필터를 설계하고, 상기 정상 센서에 의해 측정된 진동 데이터를 입력으로 상기 칼만 필터를 통해 상기 고장 센서에 대해 진동 데 이터를 추정하는 것을 특징으로 하는 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 방법. 청구항 11 제10항에 있어서, 상기 칼만 필터 설계는 상기 제1 및 제2 센서들이 정상 동작될 때 측정된 진동 데이터를 칼만 필터로 입력하여 진동 데이터를 예측하고, 예측한 진동 데이터와 측정된 진동 데이

터 사이의 오차를 임계치와 비교를 통해 검증을 수행하여 오차가 임계치 이하가 되도록 하는 것을 특징으로 하는 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 방법.

기술 분야

본 발명은 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 기술에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 2-헤드 머시닝 센터에서 2개의 주축에 각각 부착한 센서들 중 하나의 센서가 고장 시 남은 센서로 공구 상태 진단을 수행할 수 있는 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

머시닝 센터(Machining Center; MC)는 금형 제조를 비롯하여 금속 부품 가공 시 널리 이용되고 있다. 머시닝 센터는 컴퓨터 제어로 톨 매거진이라고 하는 공구 수납 장소에서 체인지 암에 의해 자동으로 공구를 교환하고 가공함으로써 번거로운 설정 변경 과정이 줄어들어 제조사의 무인화와 공정 수 감소, 비용 절감이 가능하다. 특히, 2-헤드(Head) 머시닝 센터는 주축이 2개로 동시에 같은 형상의 제품 두개를 생산할 수 있는 장비이다. 2-헤드 머시닝 센터는 2개의 주축에 각각 센서를 부착하고 주축들에 부착한 2개의 센서로 측정된 데이터를 입력으로 학습기반 진단 알고리즘을 사용하여 공정을 모니터링하고 공구 상태를 진단하게 된다. 하지만, 2개의 주축 중 하나의 주축에 부착한 센서가 고장 시 남은 하나의 주축에 부착한 센서로 측정된 데이터만을 가지고 학습기반 진단 알고리즘을 사용할 수 없어 모니터링을 수행할 수 없는 문제점이 있다. 한국등록특허 제10-1618470(2016.04.28)호는 공작기계 주축의 정렬 불량 및 불평형 등의 주축 이상을 감지하기 위해 가속도 센서를 이용하여 주축의 상태를 사용자에게 알려 주며, 주축에 이상 발생 시 즉각적인 조치가 가능하도록 하여, 가공물의 품질 향상과 주축 수명 증대 및 공구 비용을 절감할 수 있는 가속도 센서를 이용한 공작 기계 주축 감지 시스템에 관한 것으로, 공작기계 주축의 상부와 하부 각각에 대한 가속도를 센싱하는 센서부, 센서부로부터 입력된 가속도를 속도와 변위로 변환하고 속도를 이용하여 주축의 상부와 하부 각각에 대한 위상 차를 계산하고 속도 또는 변위를 이용하여 주축의 상부와 하부 각각에 대한 궤도를 검출하는 신호처리부, 및 신호처리부로부터의 출력 신호를 이용하여 사용자에게 알람을 출력하는 인간 기계 인터페이스부를 포함하는 공작 기계 주축 감지 시스템에 대해 개시한다. 한국공개특허 제10-2017-0135346(2017.12.08)호는 가공품질 평가방법에 관한 것으로, 공작기계의 주축 가속도 신호를 고속푸리에 변환하여 가속도 주파수 별 진폭 값으로 표시하고, 가공조건에 따른 고유주파수의 진폭 값과 주파수별 진폭 값의 합의 비를 채터 판별지수로 산출해냄으로써, 채터 발생 여부를 보다 명확하게 판단할 수 있는 공작기계 주축 가속도 신호를 이용한 가공품질 평가방법에 대해 개시한다.

해결하려는 과제

본 발명의 일 실시예는 2-헤드 머시닝 센터에서 2개의 주축에 각각 부착한 센서들 중 하나의 센서가 고장 시 남은 센서로 공구 상태 진단을 수행할 수 있는 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 장치 및 방법을 제공하고자 한다. 본 발명의 일 실시예는 주축의 실측정 가속도 신호를 활용하여 공작기계 가동에 따른 진동 데이터를 추정할 수 있는 칼만 필터를 설계하고 센서 고장시 칼만 필터를 이용하여 진동 데이터를 추정하여 모니터링하고 공구 상태를 진단함으로써 생산성을 유지시킬 수 있는 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 장치 및 방법을 제

공하고자 한다. 본 발명의 일 실시예는 주축들에 부착한 센서들 중 하나의 센서가 고장 시 남은 센서의 측정 데이터를 기반으로 칼만 필터를 이용하여 고장난 센서의 데이터를 생성하여 학습기반의 진단모델을 그대로 사용할 수 있는 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 장치 및 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

실시예들 중에서, 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 장치는 제1 및 제2 주축들에 각각 제1 및 제2 센서들을 부착하고 공작기계가 가동될 때 상기 제1 및 제2 센서들을 통해 상기 제1 및 제2 주축들의 진동 데이터를 측정하는 데이터 측정부, 상기 제1 및 제2 센서들 중 하나의 센서가 고장시 다른 하나의 정상 센서를 통해 측정한 진동 데이터를 기초로 진동 데이터를 추정하는 데이터 추정부, 및 상기 측정한 진동 데이터들 또는 상기 측정한 진동 데이터와 상기 추정한 진동 데이터를 기초로 특징을 추출하고 학습데이터를 구성하여 진단 모델을 통해 모니터링을 수행하여 공구의 상태를 진단하는 상태 진단부를 포함한다. 상기 제1 및 제2 센서들은 가속도 센서일 수 있다. 상기 데이터 추정부는 상기 제1 및 제2 센서의 정상 동작에서 측정한 제1 및 제2 진동 데이터를 기반으로 주축 진동 추정을 위한 칼만 필터를 설계하고 상기 설계한 칼만 필터를 통해 상기 고장 센서가 부착된 주축의 진동 데이터를 추정할 수 있다. 상기 데이터 추정부는 상기 측정한 제1 및 제2 진동 데이터를 입력으로 칼만 필터를 통해 진동 데이터를 예측하고 예측한 진동 데이터와 측정한 진동 데이터 사이의 오차가 임계치 이하가 되도록 상기 칼만 필터를 설계할 수 있다. 상기 데이터 추정부는 상기 제1 및 제2 센서들 중 하나의 센서가 고장시 다른 하나의 정상 센서에 의해 측정한 진동 데이터를 상기 설계한 칼만 필터의 입력으로 사용하여 진동 데이터를 예측하고 예측한 진동 데이터에 특정 데시벨의 가우시안 노이즈를 합산하여 고장 센서에 대한 진동 데이터를 추정할 수 있다. 상기 상태 진단부는 척도, 왜도, 평균값 및 표준편차를 특징 데이터로 추출할 수 있다. 상기 상태 진단부는 서포트 벡터 머신에 상기 특징 데이터를 입력하여 정상 및 이상 상태를 구분하여 공구 상태를 진단할 수 있다. 실시예들 중에서, 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 장치는 제1 및 제2 주축들에 각각 제1 및 제2 센서들을 부착하고 공작기계가 가동될 때 상기 제1 및 제2 센서들을 통해 상기 제1 및 제2 주축들의 진동 데이터를 측정하는 데이터 측정부, 상기 제1 및 제2 센서들의 정상 동작에서 측정한 제1 및 제2 진동 데이터를 기반으로 주축 진동 추정을 위한 칼만 필터를 설계하고, 상기 제1 및 제2 센서들 중 하나의 센서가 고장시 다른 하나의 정상 센서에 의해 측정한 진동 데이터를 기초로 상기 설계한 칼만 필터를 통해 진동 데이터를 추정하는 데이터 추정부, 및 상기 측정한 진동 데이터들 또는 상기 측정한 진동 데이터와 상기 추정한 진동 데이터를 기초로 특징을 추출하고 학습데이터를 구성하여 진단 모델을 통해 모니터링을 수행하여 공구의 상태를 진단하는 상태 진단부를 포함한다. 실시예들 중에서, 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 방법은 제1 및 제2 주축들에 각각 부착한 제1 및 제2 센서들을 통해 공작기계가 가동될 때 발생하는 진동 데이터를 측정하는 단계, 상기 측정한 진동 데이터를 기초로 학습기반의 진단 모델을 통해 모니터링하여 공구 상태를 진단하는 단계, 상기 제1 및 제2 센서들 중 하나의 센서가 고장시 다른 하나의 정상 센서를 통해 측정한 진동 데이터를 기초로 진동 데이터를 추정하는 단계, 및 상기 정상 센서를 통해 측정한 진동 데이터와 상기 추정한 진동 데이터를 기초로 모니터링을 지속하여 공구 상태를 진단하는 단계를 포함한다. 상기 진동 데이터 추정 단계는 상기 제1 및 제2 센서들에 의해 측정된 진동 데이터를 기초로 칼만 필터를 설계하고, 상기 정상 센서에 의해 측정된 진동 데이터

를 입력으로 상기 칼만 필터를 통해 상기 고장 센서에 대해 진 동 데이터를 추정할 수 있다. 상기 칼만 필터 설계는 상기 제1 및 제2 센서들이 정상 동작될 때 측정한 진동 데이터를 칼만 필터로 입력하여 진동 데이터를 예측하고, 예측한 진동 데이터와 측정한 진동 데이터 사이의 오차를 임계치와 비교를 통해 검증 을 수행하여 오차가 임계치 이하가 되도록 할 수 있다.

발명의 효과

개시된 기술은 다음의 효과를 가질 수 있다. 다만, 특정 실시예가 다음의 효과를 전부 포함하여야 한다거나 다음의 효과만을 포함하여야 한다는 의미는 아니므로, 개시된 기술의 권리범위는 이에 의하여 제한되는 것으로 이 해되어서는 아니 될 것이다. 본 발명의 일 실시예에 따른 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 장치 및 방법은 2-헤드 머시닝 센터에서 2개의 주축에 각각 부착한 센서들 중 하나의 센서가 고장 시 남은 센서로 공구 상태 진단을 수행할 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 장치 및 방법은 주축의 실측정 가속도 신호 를 활용하여 공작기계 가동에 따른 진동 데이터를 추정할 수 있는 칼만 필터를 설계하고 센서 고장시 칼만 필터 를 이용하여 진동 데이터를 추정하여 모니터링 하고 공구 상태를 진단함으로써 생산성을 유지시킬 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 장치 및 방법은 주축들에 부착한 센서들 중 하나의 센서가 고장 시 남은 센서의 측정 데이터를 기반으로 칼만 필터를 이용하여 고장난 센서의 데이터를 생성하여 학습기반의 진단모델을 그대로 사용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 시스템을 설명하는 도면이다. 도 2는 도 1에 있는 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 장치를 설명하는 도면이다. 도 3은 도 2에 있는 데이터 추정부의 칼만 필터 설계 과정을 설명하는 순서도이다. 도 4a-4b는 도 2에 있는 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 장치에서 센서 고장에 따른 진동 데이터 수집 과 정을 설명하는 도면이다. 도 5는 일 실시예에 따른 칼만 필터를 이용하여 측정한 진동 데이터와 예측한 진동 데이터를 나타내는 그래프이다. 도 6은 일 실시예에 따른 측정 진동 데이터 및 추정 진동 데이터에 기반하여 구성한 학습 데이터를 나타내는 예시도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

본 발명에 관한 설명은 구조적 내지 기능적 설명을 위한 실시예에 불과하므로, 본 발명의 권리범위는 본문에 설명된 실시예에 의하여 제한되는 것으로 해석되어서는 아니 된다. 즉, 실시예는 다양한 변경이 가능하고 여러 가지 형태를 가질 수 있으므로 본 발명의 권리범위는 기술적 사상을 실현할 수 있는 균등물들을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 또한, 본 발명에서 제시된 목적 또는 효과는 특정 실시예가 이를 전부 포함하여야 한다거나 그러한 효과만을 포함하여야 한다는 의미는 아니므로, 본 발명의 권리범위는 이에 의하여 제한되는 것으로 이해 되어서는 아니 될 것이다. 한편, 본 출원에서 서술되는 용어의 의미는 다음과 같이 이해되어야 할 것이다. "제1", "제2" 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위한 것으로, 이들 용어들에 의해 권리범위가 한정되어서는 아니 된다. 예를 들어, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어"있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요

소에 직접적으로 연결될 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어"있다고 언급된 때에는 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 한편, 구성요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "~사이에"와 "바로 ~사이에" 또는 "~에 이웃하는"과 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함하는 것으로 이해되어야 하고, "포함하다"또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이며, 하나 또는 그 이상의 다른 특징이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다. 각 단계들에 있어 식별부호(예를 들어, a, b, c 등)는 설명의 편의를 위하여 사용되는 것으로 식별부호는 각 단계들의 순서를 설명하는 것이 아니며, 각 단계들은 문맥상 명백하게 특정 순서를 기재하지 않는 이상 명기된 순서와 다르게 일어날 수 있다. 즉, 각 단계들은 명기된 순서와 동일하게 일어날 수도 있고 실질적으로 동시에 수행될 수도 있으며 반대의 순서대로 수행될 수도 있다. 본 발명은 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현될 수 있고, 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록 장치를 포함 한다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 광 데이터 저장 장치 등이 있다. 또한, 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어, 분산 방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다. 여기서 사용되는 모든 용어들은 다르게 정의되지 않는 한, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미를 지니는 것으로 해석될 수 없다. 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 시스템을 설명하는 도면이다. 도 1을 참조하면, 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 시스템(100)은 제1 및 제2 주축들(110,120), 제1 및 제2 센서들(130,140), 및 공구 상태 진단 장치(150)를 포함할 수 있다. 제1 및 제2 주축들(110,120)은 2-헤드 머시닝 센터의 공작기계에서 피삭재를 가공하는 공구(Tool)를 회전시키는 스피ndl에 해당한다. 제1 및 제2 센서들(130,140) 각각은 제1 및 제2 주축들(110,120) 각각에 일대일로 설치되고 공작 기계가 가동될 때 해당 주축 상태를 감지한다. 제1 및 제2 센서들(130,140)은 가속도 센서로 구현될 수 있고 해당 주축의 가동에 따른 진동 가속도를 측정할 수 있다. 공구 상태 진단 장치(150)는 공작 기계가 가동될 때 제1 및 제2 주축들(110,120)에 부착한 제1 및 제2 센서들(130,140)에 의해 측정된 진동 데이터를 토대로 학습기반 진단모델을 통해 모니터링하여 공구 상태를 진단할 수 있는 컴퓨터 또는 프로그램에 해당하는 서버로 구현될 수 있다. 공구 상태 진단 장치(150)는 센서 고장시 주축의 진동을 추정하기 위한 칼만 필터를 포함할 수 있다. 공구 상태 진단 장치(150)는 제1 및 제2 주축들(110,120)에 제1 및 제2 센서(130,140)가 설치된 상황에서 데이터 추정을 위한 칼만 필터를 설계할 수 있다. 상태 진단 장치(150)는 칼만 필터를 이용하여 제1 및 제2 주축들(110,120)에 부착된 제1 및 제2 센서들(130,140) 중 하나의 센서가 고장 시 고장난 센서가 부착된 주축의 진동 데이터를 추정하여 진단을 지속할 수 있다. 도 2는 도 1에 있는 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 장치를 설명하는 도면이다. 도 2를 참조하면, 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 장치(150)는 데이터 측정부(210), 데

이터 추정부(230), 상태 진단부(250) 및 제어부(270)를 포함할 수 있다. 데이터 측정부(210)는 공작기계가 가동될 때 발생하는 진동 데이터를 측정할 수 있다. 일 실시예에서, 데이터 측정부(210)는 공작기계의 제1 및 제2 주축들(110,120)에 제1 및 제2 센서들(130,140)을 부착하고 제1 및 제2 센서들(130,140)을 통해 제1 및 제2 주축들(110,120)의 가동에 따른 진동을 측정할 수 있다. 여기에서, 제1 및 제2 센서들(130,140)은 가속도 센서로 구현될 수 있다. 데이터 측정부(210)는 가속도 센서로 구현되는 제1 및 제2 센서들(130,140)을 통해 제1 및 제2 주축들(110,120)의 가동에 따른 진동 가속도 신호를 측정하여 진동 데이터를 수집할 수 있다. 데이터 추정부(230)는 제1 및 제2 센서들(130,140) 중 하나의 센서에서 고장 시 해당 주축의 진동 데이터를 추정할 수 있다. 일 실시예에서, 데이터 추정부(230)는 센서 고장으로 측정이 불가능할 경우 다른 하나의 정상 센서에서 측정한 진동 데이터를 기초로 고장 센서의 진동 데이터를 추정할 수 있다. 여기에서, 데이터 추정부(230)는 칼만 필터를 이용하여 고장 센서의 주축 진동 데이터를 추정할 수 있다. 칼만 필터(Kalman filter)는 과거의 측정 데이터와 새로운 측정 데이터를 사용하여 데이터에 포함된 노이즈를 제거시켜 새로운 결과를 추정(estimate)하는데 사용되는 알고리즘이다. 칼만 필터의 알고리즘은 상태를 추정하는데 사용되고 상태를 추정하려면 현재 관측치와 이전 예측만 있으면 된다. 추정치에서 상태와 불확실성은 가우시안으로 표현되고 이를 통해 확률을 나타낼 수 있다. 즉, 칼만 필터는 추정 상태를 사용하여 현재 상태와 불확실성을 예측하고 센서의 관측 값을 사용하여 예측된 상태를 수정하고 보다 정확한 추정치를 얻게 된다. 데이터 추정부(230)는 제1 및 제2 센서들(130,140)이 정상 동작하는 과정에서 측정한 진동 데이터를 기반으로 칼만 필터를 설계하고, 제1 및 제2 센서들(130,140) 중 하나의 센서에 고장 발생시 다른 하나의 정상 센서에서 측정한 진동 데이터를 칼만 필터의 입력으로 사용하여 고장 센서의 진동 데이터를 추정해낼 수 있다. 여기에서, 데이터 추정부(230)는 측정한 진동 데이터를 기반으로 추정치 에러를 최소화할 수 있는 칼만 필터를 설계할 수 있다. 상태 진단부(250)는 공작기계가 가공될 때 데이터 측정부(210)에서 측정한 진동 데이터 또는 데이터 추정부(230)에서 추정한 진동 데이터를 기초로 학습기반 진단모델을 통해 공작기계의 공정을 모니터링하여 공구의 상태를 진단할 수 있다. 일 실시예에서, 상태 진단부(250)는 측정한 진동 데이터 또는 추정한 진동 데이터에 대해 특징을 추출하고 추출한 특징 데이터를 기계학습을 통해 진단 모델을 수행할 수 있다. 여기에서, 특징 데이터는 척도, 왜도, 평균값 및 표준편차 등의 정상 대비 이상 상태의 고유 주파수 성분을 나타낸다. 여기에서, 상태 진단부(230)는 특징 데이터를 서포트 벡터 머신에 입력하여 정상 및 이상 상태를 구분할 수 있다. 상태 진단부(230)는 센서 고장 시에도 칼만 필터를 이용한 주축 진동의 추정을 통해 진단모델을 사용함으로써 공작기계의 생산성을 유지할 수 있다. 제어부(270)는 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 장치(150)의 전체적인 동작을 제어하고, 데이터 측정부(210), 데이터 추정부(230) 및 상태 진단부(250) 간의 제어 흐름 및 데이터 흐름을 관리할 수 있다. 도 3은 도 2에 있는 데이터 추정부의 칼만 필터 설계 과정을 설명하는 순서도이다. 도 3에서, 데이터 추정부(230)는 제1 및 제2 센서들(130,140)이 정상 동작될 때 측정한 진동 데이터를 칼만 필터로 입력하여(단계 S310), 칼만 필터로 진동 데이터를 예측한다(단계 S320). 데이터 추정부(230)는 칼만 필터에 의해 예측한 진동 데이터의 안전성을 판단하고(단계 S330), 불안정한 상황으로 판단되면 다시 단계 S310으로 돌아가 단계를 반복 수행하여 새롭게 예측한다. 데이터 추정부(230)는 안전한 상황으로 판단되면 해당 칼만 계수(Kalman coefficient)를 추론(deduction)하고(단계 S340), 검증을 수행한다(단계 S350). 칼만 필터 검증은 제1 및 제2 센서들(130,140)에 의해 측정한 진동 데이터를 검증 대상 칼만 필터로 입력

하여 예측한 진동 데이터와 측정된 진동 데이터 사이의 오차를 임계치와 비교를 통해 수행한다. 데이터 추정부(230)는 칼만 필터의 오차와 임계치를 비교하고(단계 S360), 오차가 임계치보다 크면 단계 S310 으로 돌아가 단계를 반복 수행하여 칼만 필터를 수정하고, 오차가 임계치 이하이면 칼만 필터의 설계를 완료한다. 도 4a 및 4b는 도 2에 있는 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 장치에서 센서 고장에 따른 진동 데이터 수집 과정을 설명하는 도면이다. 도 4a 및 4b를 참조하면, 데이터 측정부(210)는 동작기계의 제1 및 제2 주축들(110,120)에 각각 제1 및 제2 센서들(130,140)을 부착하고, 동작기계가 가동될 때 발생하는 진동 데이터를 측정한다. 데이터 추정부(230)는 측정된 제1 및 제2 진동 데이터를 기반으로 도 3에 도시한 바와 같은 단계들을 수행하여 최적의 데이터 추정을 위한 칼만 필터(300)를 설계한다. 제1 및 제2 센서들(130,140)이 정상 동작하는 경우, 도 4a에 도시한 바와 같이, 데이터 측정부(210)는 제1 및 제2 센서들(130,140)에 의해 제1 및 제2 주축들(110,120) 상태를 실측하여 측정된 제1 및 제2 진동 데이터를 데이터 추정부(230) 및 상태 진단부(250)로 전달한다. 제1 및 제2 센서들(130,140) 중 하나의 센서에서 고장이 발생한 경우, 예컨대 도 4b에 도시한 바와 같이, 제2 센서(140)에서 고장시 데이터 측정부(210)는 제1 센서(130)에 의해 제1 주축(110) 상태만을 측정하여 측정된 제1 진동 데이터를 데이터 추정부(230) 및 상태 진단부(250)로 전달한다. 데이터 추정부(230)는 데이터 측정부(210)에서 측정된 제1 진동 데이터만 입력되는 경우 측정된 제1 진동 데이터를 칼만 필터(300)의 입력으로 사용하여 진동 데이터를 예측하고 예측한 진동 데이터에 가우시안 노이즈를 합산하여 제2 주축(120)의 진동 데이터를 추정한다. 추정된 제2 진동 데이터는 하기 수학식으로 정의될 수 있다. 여기에서, Sensor2는 고장 센서가 부착된 주축에 대해 추정된 진동 데이터이고, Sensor1은 정상 센서가 부착된 주축에 대해 측정된 진동 데이터를 칼만 필터의 입력으로 사용하여 예측한 진동 데이터이고, Gaussian_noise는 일정 데시벨(dB)의 가우시안 노이즈이다. 데이터 추정부(230)는 추정된 제2 진동 데이터를 후단의 상태 진단부(250)로 전달한다. 상태 진단부(250)는 센서 고장시 정상 센서에 의해 측정된 제1 진동 데이터와 칼만 필터(300)에 의해 추정된 제2 진동 데이터를 통해 학습기반 진단모델을 사용하여 가동중인 동작기계를 실시간으로 모니터링하고 공구 상태를 진단한다. 도 5는 본 발명에 의해 설계된 칼만 필터를 이용하여 추정된 진동 데이터와 센서 실측된 진동 데이터를 나타내는 그래프이다. 도 5에서, 그래프의 가로축은 시간(Time)을 나타내고, 세로축은 진동 가속도를 나타낸다. 본 발명에 의해 설계된 칼만 필터(300)에 의해 추정된 진동 데이터는 센서 실측된 진동 데이터와 오차가 거의 없다. 추정된 진동 데이터와 측정된 진동 데이터의 차이는 평균 제곱근 오차(RMSE), 평균 제곱 오차(MSE) 및 평균 백분율 오차(MPE)로 산출한 결과 하기 표 1과 같이 나타났다. 상기 표 1에 정의한 바와 같이, 본 발명에 의해 설계된 칼만 필터(300)에 의해 추정된 진동 데이터는 정상 상태 센서에서 측정된 진동 데이터와 오차가 거의 없다. 따라서, 센서 고장시 칼만 필터(300)를 이용하여 진동 데이터를 추정하고 추정된 진동 데이터로 진단을 수행할 수 있다. 도 6은 일 실시예에 따른 측정된 진동 데이터와 추정된 진동 데이터를 이용하여 학습 데이터를 구성한 상태를 나타내는 예시도이다. 도 6의 (가)는 제1 및 제2 센서들(130,140)에 의해 측정된 제1 및 제2 진동 데이터로부터 주파수 성분을 분리하여 특징을 추출하고 추출한 특징 데이터로 구성된 진단 모델의 학습 데이터이다. 도 6의 (나)는 제1 및 제2 센서들(130,140) 중 제1 센서(130)에 의해 측정된 제1 진동 데이터 및 제1 진동 데이터를 기초로 칼만 필터(300)를 통해 추정된 제2 진동 데이터로부터 주파수 성분을 분리하여 특징을 추출하고 추출한 특징 데이터로 구성된 진단 모델의 학습 데이터이다. 도 6에 예시한 (가)와 (나)의 학습 데이터 간

오차는 하기 표 2와 같이 정확도 측면에서 임계치 이하를 나타낸다. 일 실시예에 따른 2-헤드 머시닝 센터의 공구 상태 진단 장치 및 방법은 칼만 필터를 활용하여 센서가 고장난 주축의 상태를 추정함으로써 진단 알고리즘을 사용하여 공정을 모니터링함으로써 생산을 유지할 수 있다. 상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.