



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0163122
(43) 공개일자 2024년11월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06T 7/00 (2017.01) G06T 3/10 (2024.01)
(52) CPC특허분류
G06T 7/0004 (2013.01)
G06T 3/10 (2024.01)
(21) 출원번호 10-2024-7034296
(22) 출원일자(국제) 2022년06월21일
심사청구일자 2024년10월15일
(85) 번역문제출일자 2024년10월15일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2022/024750
(87) 국제공개번호 WO 2023/248355
국제공개일자 2023년12월28일

(71) 출원인
주식회사 히타치하이테크
일본국 도쿄도 미나토쿠 토라노몬 1초메 17방 1고
(72) 발명자
우누마 무네토시
일본국 1008280 도쿄도 지요다쿠 마루노우치
1-6-6 가부시끼가이샤 히타치 세이사꾸쇼 내
도요다 야스타카
일본국 1056409 도쿄도 미나토쿠 토라노몬 1-17-1
주식회사 히타치하이테크 내
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
문두현

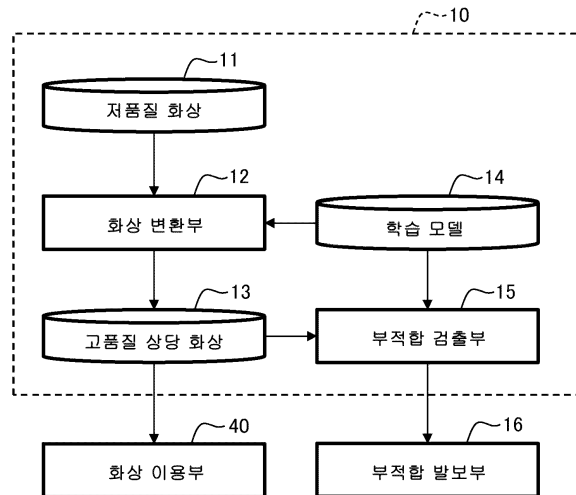
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 부적합 검출 장치, 및, 부적합 검출 방법

(57) 요약

부적합 검출부(10)는, 입력되는 저품질 화상(11)으로부터 학습 모델(14)을 사용하여 고품질 상당 화상(13)으로 변환하는 화상 변환부(12)와, 입력되는 저품질 화상(11)과, 학습 모델(14)이 부적합한지의 여부를 검출하는 부적합 검출부(15)와, 검출된 부적합을 발보하는 부적합 발보부(16)와, 학습 모델(14)의 학습 단계에서 사용된 고품질 정해 화상(13B)의 평가값의 분포를 모델 적합 영역으로 하여, 학습 모델(14)에 대응지어 기억하는 기억부를 갖고 있고, 부적합 검출부(15)가, 입력되는 저품질 화상(11)의 평가값이 모델 적합 영역의 범위 내에는 없을 때에, 학습 모델(14)이 부적합하다고 판정한다.

대표도 - 도5



(52) CPC특허분류

G06T 2207/20081 (2013.01)

G06T 2207/30141 (2013.01)

G06T 2207/30148 (2013.01)

(72) 발명자

시노다 신이치

일본국 1056409 도쿄도 미나토쿠 도라노몬 1-17-1
주식회사 히타치하이테크 내

오쿠다 도모유키

일본국 1056409 도쿄도 미나토쿠 도라노몬 1-17-1
주식회사 히타치하이테크 내

모토요시 다카히로

일본국 1056409 도쿄도 미나토쿠 도라노몬 1-17-1
주식회사 히타치하이테크 내

교마츠 소타

일본국 1008280 도쿄도 지요다쿠 마루노우치 1-6-6
가부시끼가이샤 히타치 세이사꾸쇼 내

이시카와 마사요시

일본국 1008280 도쿄도 지요다쿠 마루노우치 1-6-6
가부시끼가이샤 히타치 세이사꾸쇼 내

명세서

청구범위

청구항 1

입력되는 변환 전 화상으로부터 학습 모델을 사용하여 변환 후 화상으로 변환하는 화상 변환부와,
상기 변환 전 화상과, 상기 학습 모델이 부적합한지의 여부를 검출하는 부적합 검출부와,
검출된 부적합을 발보(發報)하는 부적합 발보부와,
상기 학습 모델의 학습 단계에서 사용된 학습용 화상의 평가값의 분포를 모델 적합 영역으로 하여, 상기 학습 모델에 대응지어 기억하는 기억부를 갖고 있고,
상기 부적합 검출부는, 상기 변환 전 화상의 평가값이 상기 모델 적합 영역의 범위 내에는 없을 때에, 상기 학습 모델이 부적합하다고 판정하는 것을 특징으로 하는
부적합 검출 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 부적합 검출 장치는, 또한, 사용 모델 변경부를 갖고 있고,
상기 사용 모델 변경부는, 상기 부적합 검출부가 부적합을 검출했을 경우, 상기 변환 전 화상의 평가값에 적합한 상기 모델 적합 영역에 대응하는 다른 상기 학습 모델을 상기 기억부로부터 탐색하고, 다른 상기 학습 모델을, 상기 변환 전 화상의 변환 처리에 사용하도록 상기 화상 변환부를 제어하는 것을 특징으로 하는
부적합 검출 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,
상기 부적합 검출 장치는, 또한, 기존 모델 재학습부를 갖고 있고,
상기 기존 모델 재학습부는, 상기 부적합 검출부가 부적합을 검출했을 경우, 그 부적합이 된 상기 학습 모델에 대해, 추가의 상기 학습용 화상을 기초로 재학습함으로써, 상기 학습 모델의 상기 모델 적합 영역을 확장하는 것을 특징으로 하는
부적합 검출 장치.

청구항 4

제3항에 있어서,
상기 부적합 검출 장치는, 또한, 대책 방법 제시부와, 재학습 데이터 입력부를 갖고 있고,
상기 대책 방법 제시부는, 추가의 상기 학습용 화상의 촬영 방법을 포함하는 부적합의 대책 방법을 제시하고,
상기 재학습 데이터 입력부는, 제시된 촬영 방법으로 촬영된 추가의 상기 학습용 화상의 입력을 접수하는 것을
특징으로 하는
부적합 검출 장치.

청구항 5

제3항에 있어서,
상기 부적합 검출 장치는, 또한, 재학습 데이터 수집부를 갖고 있고,

상기 재학습 데이터 수집부는, 사전에 설정된 동작 순서에 따라 활상 장치를 동작시킴으로써, 촬영된 추가의 상기 학습용 화상의 입력을 접수하는 것을 특징으로 하는

부적합 검출 장치.

청구항 6

부적합 검출 장치는,

입력되는 변환 전 화상으로부터 학습 모델을 사용하여 변환 후 화상으로 변환하는 화상 변환부와,

상기 변환 전 화상과, 상기 학습 모델이 부적합한지의 여부를 검출하는 부적합 검출부와,

검출된 부적합을 발보하는 부적합 발보부와,

상기 학습 모델의 학습 단계에서 사용된 학습용 화상의 평가값의 분포를 모델 적합 영역으로 하여, 상기 학습 모델에 대응지어 기억하는 기억부를 갖고 있고,

상기 부적합 검출부는, 상기 변환 전 화상의 평가값이 상기 모델 적합 영역의 범위 내에는 없을 때에, 상기 학습 모델이 부적합하다고 판정하는 것을 특징으로 하는

부적합 검출 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 부적합 검출 장치, 및, 부적합 검출 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 기계 학습을 사용하여 저품질 화상으로부터 고품질 화상으로 변환하는 시스템이 특허문헌 1에 기술되어 있다. 특허문헌 1에 기재된 시스템에서는, 저품질의 화상과 고품질의 화상을 사용하여 기계 학습의 학습 모델을 생성한다. 그리고, 특허문헌 1에 기재된 시스템에서는, 이 학습 모델을 사용하여, 기계 학습에 의해 저품질의 입력 화상을 고품질의 출력 화상으로 변환한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 국제공개 제2021/095256호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 특허문헌 1에 기재된 시스템에서는, 사전에 화질 개선의 목적마다, 학습 모델을 준비하고 있다. 예를 들면, 노이즈 제거가 목적이면 노이즈의 크기에 대응한 노이즈 제거용의 학습 모델이 준비된다. 또는, 수차(收差) 개선용이면, 수차의 크기에 대응한 학습 모델이 준비된다.

[0005] 유저는 화질 개선을 행하는 목적이나 저품질 화상의 화질의 상태(노이즈나 수차의 상황)를 기초로, 사용할 학습 모델을 선택한다. 그리고, 특허문헌 1에 기재된 시스템에서는, 유저가 시각적으로 노이즈 제거용의 학습 모델을 선택하고 있기 때문에, 선택한 학습 모델이 노이즈 제거에 유효한지의 여부를 판정하기 쉽다.

[0006] 또, 학습 모델을 사용한 화상 변환 처리는, 학습 모델의 학습 시에 사용한 교재 데이터의 화상에 가깝게 하도록, 입력 화상을 변환하는 성질이 있다. 그 때문에, 노이즈가 없는 교재 데이터로부터 학습된 학습 모델에, 노이즈가 있는 입력 화상을 입력하면, 교재 데이터에 가깝게 하도록, 입력 화상으로부터 노이즈 제거된 출력 화상이 얻어진다는 작용이 기대된다.

[0007] 한편, 학습 모델의 목적과는 다른, 예기치 않은 부작용적인 화상 변환 처리도, 함께 발생하는 경우도 있다. 예

를 들면, 교재 데이터에 찍힌 피사체 A의 형상이나 위치와, 입력 화상에 찍힌 피사체 B의 형상이나 위치가 크게 다를 경우, 출력 화상의 피사체 B는, 피사체 A에 가깝게 하도록, 변형되어 버린다. 이와 같은 예기치 않은 변형에 의해, 화상의 의미 내용이 바뀌 버리고, 예를 들면, 피사체가 정상품인지 불량품인지를 육안으로 검사하는 등의 변환 후의 화상의 활용 장면에도 영향을 끼치게 되어 버린다. 이 영향은, 원래 화상 변환 처리에 사용한 학습 모델이 입력 화상에는 부적합한 것이 원인이다.

[0008] 그래서, 본 발명은, 화상 변환 처리에 사용하는 학습 모델의 부적합을 검출하는 것을, 주된 과제로 한다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기 과제를 해결하기 위해, 본 발명의 부적합 검출 장치는, 이하의 특징을 갖는다.

[0010] 본 발명은, 입력되는 변환 전 화상으로부터 학습 모델을 사용하여 변환 후 화상으로 변환하는 화상 변환부와,

[0011] 상기 변환 전 화상과, 상기 학습 모델이 부적합한지의 여부를 검출하는 부적합 검출부와,

[0012] 검출된 부적합을 발보(發報)하는 부적합 발보부와,

[0013] 상기 학습 모델의 학습 단계에서 사용된 학습용 화상의 평가값의 분포를 모델 적합 영역으로 하여, 상기 학습 모델에 대응지어 기억하는 기억부를 갖고 있고,

[0014] 상기 부적합 검출부가, 상기 변환 전 화상의 평가값이 상기 모델 적합 영역의 범위 내에는 없을 때에, 상기 학습 모델이 부적합하다고 판정하는 것을 특징으로 한다.

[0015] 그 밖의 수단은, 후기한다.

발명의 효과

[0016] 본 발명에 따르면, 화상 변환 처리에 사용하는 학습 모델의 부적합을 검출할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은, 본 실시형태에 관한 상하 2층으로 형성된 반도체의 회로 패턴을 촬영하는 취지를 나타내는 외관도.

도 2는, 본 실시형태에 관한 도 1의 반도체 웨이퍼에 형성되는 회로 패턴의 설명도.

도 3은, 본 실시형태에 관한 도 2의 반도체 웨이퍼로부터 구하는 어긋남량을 나타내는 설명도.

도 4는, 본 실시형태에 관한 저품질 화질의 화상을 고품질 화상으로 변환하는 화상 변환 시스템에 사용되는 부적합 검출부의 구성도.

도 5는, 본 실시형태에 관한 부적합 검출부의 구성도.

도 6은, 본 실시형태에 관한 모델 학습부의 구성도.

도 7은, 본 실시형태에 관한 부적합 검출부의 처리의 흐름을 나타내는 플로우차트.

도 8은, 본 실시형태에 관한 모델 적합 영역의 구간 정의 방법을 나타내는 도면이고, 이하, 2종류의 정의 방법을 도시하고 있음.

도 9는, 본 실시형태에 관한 모델 적합 영역의 설정 방법의 일례를 나타내는 도면.

도 10은, 본 실시형태에 관한 영역 표현 방법의 제1 예를 나타내는 테이블.

도 11은, 본 실시형태에 관한 영역 표현 방법의 제2 예를 나타내는 테이블.

도 12는, 본 실시형태에 관한 도 11의 테이블을 2차원 요소로 확장한, 영역 표현 방법의 제3 예를 나타내는 테이블.

도 13은, 본 실시형태에 관한 도 12의 테이블의 셀값에, 학습용 페어 화상이 저장되어 있는 디렉토리명을 저장한 변형예를 나타내는 테이블.

도 14는, 본 실시형태에 관한 도 11의 테이블을 3차원 요소로 확장한, 영역 표현 방법의 제4 예를 나타내는 데이터 구조.

도 15는, 본 실시형태에 관한 부적합 대책부의 구성도.

도 16은, 본 실시형태에 관한 부적합의 대책 처리의 구체적인 처리를 나타내는 플로우차트.

도 17은, 본 실시형태에 관한 도 15의 부적합 대책부의 변형예를 나타내는 구성도.

도 18은, 본 실시형태에 관한 화상 변환 시스템의 하드웨어 구성도.

도 19는, 본 실시형태에 관한 도 11과 동일한 표현 방법인 모델 적합 영역의 테이블에 대해, 재학습에 의해 테이블 내의 수치가 변화되는 상태를 나타내는 설명도.

도 20은, 본 실시형태에 관한 화상 변환부의 처리 전(화질 개선 전)의 저품질 화상에 대한 오차(誤差)의 발생 상황을 나타낸 그래프.

도 21은, 본 실시형태에 관한 화상 변환부의 처리 후(화질 개선 후)의 고품질 상당 화상에 대한 오차의 발생 상황을 나타낸 그래프.

도 22는, 본 실시형태에 관한 학습용 페어 화상의 어긋남량을 모델 적합 영역[-5, 5)로 한 학습 모델을 사용하여 화상 변환했을 경우의 예측 오차의 상태를 나타내는 도면.

도 23은, 본 실시형태에 관한 학습 1회째의 결과를 기초로, 오차의 발생 상황을 나타낸 그래프.

도 24는, 본 실시형태에 관한 학습 2회째의 결과를 기초로, 오차의 발생 상황을 나타낸 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 도면을 참조하여, 본 실시형태에 따른 저품질 화질의 화상을 고품질 화상으로 변환하는 화상 변환 시스템에 대해 설명한다.

[0019] 실시예 1

[0020] 도 1은, 상하 2층으로 형성된 반도체의 회로 패턴을 촬영하는 취지를 나타내는 외관도이다.

[0021] 촬영 환경(31A)에서는, 상층 회로(101)와 하층 회로(102)가, 에칭이나 불순물 첨가나 박막 형성에 의해 다층 구조(여기에서는 상하 2층)로 형성되어 일체화된 반도체 웨이퍼가 촬영 대상이다. 전자 현미경(31)은, 반도체 웨이퍼를 상부로부터(상층 회로(101)에 가까운 측으로부터) 전자선(도시의 화살표)을 조사(照射)하여 촬영한다. 촬영 환경(31A)의 반도체 웨이퍼는, 상층 회로(101)와 하층 회로(102) 사이에 위치 어긋남이 발생하고 있지 않은 정상품(正常品)이다.

[0022] 촬영 환경(31B)에 있어서, 상층 회로(101)와 하층 회로(102)가 형성되어 일체화된 반도체 웨이퍼가 촬영 대상이다. 촬영 환경(31B)의 상층 회로(101)는, 하층 회로(102)에 대해 약간 좌측으로 위치 어긋난 상태에서 형성되었다. 따라서, 촬영 환경(31B)에서는, 전자 현미경(31)의 촬영 화상으로부터, 반도체 웨이퍼가 불량품임을 감지할 필요가 있다.

[0023] 촬영 환경(31C)에 있어서도, 상층 회로(101)는, 하층 회로(102)에 대해 약간 우측으로 위치 어긋난 상태에서 형성되었다. 따라서, 촬영 환경(31C)에서도, 전자 현미경(31)의 촬영 화상으로부터, 반도체 웨이퍼가 불량품임을 감지할 필요가 있다.

[0024] 도 2는, 도 1의 반도체 웨이퍼에 형성되는 회로 패턴의 설명도이다.

[0025] 상층 회로(101) 및 하층 회로(102)에는, 각 층마다 마스크를 사용함으로써 회로 패턴이 형성된다. 설명을 이해하기 쉽게 하기 위해, 상층 회로(101)의 회로 패턴(101p)은, 하층 회로(102)의 회로 패턴(102p)보다 약간 상하 방향으로 길게 했다.

[0026] 또, 실제로는, 1매의 반도체 웨이퍼에 형성되는 회로 패턴은 다수 존재하지만, 도 2에서는 설명을 위해 일부러 소수의 회로 패턴을 도시했다.

[0027] 도 3은, 도 2의 반도체 웨이퍼로부터 구하는 어긋남량을 나타내는 설명도이다.

[0028] 촬영 화상(111~114)은, 상층 회로(101)와 하층 회로(102)가 형성되어 일체화된 반도체 웨이퍼의 촬영 화상의 일부를 나타낸다(도 3은 대략적인 도면이며, 중첩시킨 후의 회로 패턴의 일부를 빼내 확대해 나타내고 있다). 도 1에서 나타낸 바와 같이, 전자 현미경(31)의 전자선은, 앞쪽의 상층 회로(101)와, 안쪽의 하층 회로(102)를 통

과하기 때문에, 촬영 화상에는 쌍방의 회로 패턴이 찍힌다.

- [0029] 예를 들면, 촬영 화상(111~114)에는, 각각 왼쪽으로부터 순서대로, 제1 회로 패턴(회로 패턴(102p)의 하나), 제2 회로 패턴(101p)(회로 패턴(101p)의 하나), 제3 회로 패턴(102p)(회로 패턴(102p)의 하나)이 좌우 방향으로 나열되어 촬영되어 있다.
- [0030] [0016]
- [0031] 촬영 화상(111, 112)은, 위치 어긋남이 발생하고 있지 않은 정상품의 촬영 화상이고, 제1, 제2, 제3 회로 패턴이 좌우 방향으로 동등한 거리(d)를 벌려 나열되어 있다. 즉, 이 거리(d)를 기준으로 했을 때의 어긋남량=0이다.
- [0032] 촬영 화상(111)은, 회로 패턴에 더해, 해상도가 거칠고 화이트 노이즈(노이즈 잡음)나 왜곡 등이 포함된 저품질 화상이다(도시에서는, 화이트 노이즈를 해칭으로 표현).
- [0033] 촬영 화상(112)은, 해상도가 높고 노이즈 잡음이나 왜곡이 적은 고품질 화상이며, 촬영 화상(111)과 동일한 회로 패턴의 배치이지만, 화이트 노이즈는 촬영되지 않는다.
- [0034] 여기에서, 학습용 페어 화상이란, 학습 모델(14)을 학습할 때의 교재가 되는 화상의 페어이며, 페어의 한쪽이 학습 모델(14)에의 입력 데이터가 되고, 페어의 다른 쪽이 학습 모델(14)에의 출력 데이터가 된다. 예를 들면, 노이즈 잡음이라는 화상 변환 처리를 행하는 학습 모델(14)은, 촬영 화상(111)과 같은 저품질 화상을 입력하면, 촬영 화상(112)과 같은 고품질 화상이 출력된다. 이때, 동일한 피사체를 찍은 촬영 화상(111)과 촬영 화상(112)의 페어를, 학습용 페어 화상으로 한다.
- [0035] 이하, 학습된 학습 모델(14)을 운용할 때에,
- [0036] 학습 모델(14)은, 화상 변환 전의 촬영 화상(113)을 입력 데이터로서 접수하고, 화상 변환 후의 촬영 화상(114)을 출력 데이터로 한다.
- [0037] 촬영 화상(113)은, 위치 어긋남이 발생한 불량품을 촬영한 저품질 화상이며, 불필요한 화이트 노이즈에 더해, 제2, 제3 회로 패턴 사이의 거리(d+10)가, 촬영 화상(111)의 거리(d)보다 크게 벌어져 있다(제2 회로 패턴이 좌측으로 어긋남량=+10 어긋나 있다).
- [0038] 촬영 화상(114)은, 촬영 화상(113)에 대해, 학습 모델(14)을 적용함으로써 화질 개선한 고품질 화상이다. 화질 개선의 작용으로서, 촬영 화상(114)은, 촬영 화상(113)에 포함되는 불필요한 화이트 노이즈가 깨끗하게 제거되어 있다. 그러나, 화질 개선의 부작용으로서, 촬영 화상(114)은, 촬영 화상(112)의 회로 패턴의 위치 관계에 가까워지도록, 촬영 화상(113) 내의 회로 패턴의 위치가 개변(改變)되어 버렸다(제2 회로 패턴이 좌측으로 어긋남량=+3 어긋나 있다).
- [0039] 즉, 학습용 페어 화상에서 나타낸 바와 같이, 본래는 화상 변환의 전후에서 어긋남량은 변환하지 않는(오차가 발생하지 않는) 것이 기대된다. 그러나, 촬영 화상(113) 내의 어긋남량=+10과, 촬영 화상(114) 내의 어긋남량=+3 사이에, 10-3=7의 오차가 발생하고 있다. 이것에 의해, 이하와 같이, 화상 판정의 결과도, 오차의 영향으로 이하의 오(誤)판정이 발생해 버린다.
- [0040] · 본래는, 촬영 화상(113) 내의 「+10」이라는 큰 어긋남량(문턱값=5 이상의 어긋남량)을 기초로, 촬영한 반도체 웨이퍼를 불량품이라고 올바르게 판정할 수 있었다.
- [0041] · 그러나, 촬영 화상(114) 내의 「+3」이라는 작은 어긋남량(문턱값=5 미만의 어긋남량)을 기초로, 촬영한 반도체 웨이퍼를 정상품이라고 오인식해 버린다.
- [0042] 이상 설명한 바와 같이, 학습 모델(14)의 작성 시에 어긋남량이 적은 촬영 화상(112)을 사용하여 학습했을 경우, 화상의 노이즈 제거 외에 회로 패턴의 배치 정보도 학습해 버린다. 그 때문에, 어긋남량이 큰 촬영 화상(113)이 입력되었을 경우, 학습 시에 학습한 촬영 화상(112)의 배치 정보에 가깝게 하는 처리가 행해져, 촬영 화상(114)이 출력된 것으로 생각된다.
- [0043] 화상의 노이즈 제거는 계측 정밀도 향상에 유효한 화상 변환이지만, 이와 같은 회로 패턴의 이동은 계측 정밀도를 저하시키는 부적절한 화상 변환이다. 이와 같은 부적절한 화상 변환을 행하는 학습 모델을 「학습 모델 부적합」이라고 한다.
- [0044] 학습 모델 부적합은, 촬영 화상(114)을 육안으로 확인해도 판별이 되지 않고, 화상의 노이즈 제거는 정상적으로

행해지고 있으며, 회로 패턴의 이동은 본래 이동(어긋남 발생)하고 있는지, 학습 모델 부적합 때문에 이동했는 지의 판별은 할 수 없다. 그 때문에 학습 모델 부적합인 것을 검출하여, 부적합하다는 것을 발보하는 구조가 필요하게 된다.

- [0045] 즉, 촬영 화상(114) 자체는, 화이트 노이즈의 제거에 의해 화질 개선이 이루어져 있고, 검사자는 육안으로, 촬영 화상(114)에 내포되는 어긋남량의 오차(회로 패턴의 위치 개변)를 알아차리는 것은 곤란하다. 그래서, 도 4 이후에서 설명하는 본 실시형태의 부적합 검출부(10)는, 어긋남량의 오차를 학습 모델(14)의 부적합으로서 검출하여, 그 검출 결과를 검사자에게 통지함으로써, 촬영 화상의 육안으로는 알아차리지 못하는 문제를 검사자에게 파악시킨다.
- [0046] 도 4는, 저품질 화질의 화상을 고품질 화상으로 변환하는 화상 변환 시스템의 구성도이다.
- [0047] 화상 변환 시스템은, 부적합 검출부(10)와, 부적합 대책부(20)와, 촬상 장치(30)와, 화상 이용부(40)와, 제어 표시부(50)를 갖는다.
- [0048] 부적합 검출부(10)는, 화질 개선 처리 등의 화상 변환 처리에 사용되는, 기계 학습에 있어서의 학습 모델(14)의 부적합을 검출한다. 부적합 검출부(10)의 화상 변환부(12)는, 학습 모델(14)을 사용하여 저품질 화상(11)을 고품질 화상으로 변환한다. 그 변환 후의 고품질 화상은, 화상 관찰이나 화상 계측에 사용된다. 일반적으로 고품질 화상을 촬상하기 위해서는, 이하와 같은 촬영 조건을 사용한다.
- [0049] · 촬영 시간을 길게 한다.
- [0050] · 단시간 노광 화상을 복수매 촬상하고, 그 적산 평균을 구한다.
- [0051] · 강한 조명광을 조사한다.
- [0052] 그런데 그와 같은 촬영 조건에서 촬상할 수 없는 촬상 장치(30)도 존재한다. 예를 들면, 촬상 장치(30)로서, 전자 현미경(31)이나 X선 단층 촬영 장치(32) 등을 들 수 있다. 전자 현미경(31)은 전자선을 관찰물(예를 들면 반도체 웨이퍼)에 조사하여, 웨이퍼 상에 형성된 회로 패턴의 상태를 관찰한다.
- [0053] 전자선 조사에 의해 회로 패턴에 대미지를 주어 버려, 회로 패턴이 줄어 버릴 경우가 있다(슈링크). 슈링크의 원인이 되는 것은 장시간 노광(단시간 노광 화상을 복수매 촬상도 포함)이나 높은 가속 전압이다. 따라서, 고품질 화상을 고빈도로 촬상할 수는 없다.
- [0054] X선 단층 촬영 장치(32)에 있어서도, 전자 현미경(31)과 마찬가지로 문제가 발생한다. X선 단층 촬영 장치(32)는 인체에 X선을 조사하여 촬상한다. 장시간의 조사나 X선 강도를 강하게 함으로써 고품질 화상을 촬상할 수 있다. 그런데, 이것은 X선 피폭량의 증가를 초래하게 되기 때문에 이러한 방법에 의한 고품질 화상의 촬상은 어렵다. 따라서, 피사체에의 대미지를 최소한으로 하기 위해서는, 저품질 화상(11)을 촬상하는 쪽이 좋다.
- [0055] 이와 같이 하여 촬상 장치(30)로부터 촬상된 저품질 화상(11)은 촬상 화상 축적부(33)에 축적된다. 그리고, 화상 변환부(12)는, 촬상 화상 축적부(33) 내의 저품질 화상(11)으로부터 고품질 상당 화상(13)(고품질의 화상 상당의 화질을 갖는 화상)으로 변환한다. 또, 촬상 화상 축적부(33)를 경유하여 부적합 검출부(10)에 저품질 화상(11)을 입력하는 구성으로 설명했지만, 촬상 장치(30)로부터 직접 부적합 검출부(10)에 입력해도 된다.
- [0056] 부적합 검출부(10)로부터 출력된 고품질 상당 화상(13)은, 화상 이용부(40)에 입력된다.
- [0057] 화상 이용부(40)는, 화상 관찰 처리부(41)와, 화상 계측 처리부(42)와, 화상 분류 처리부(43)를 갖는다.
- [0058] 화상 관찰 처리부(41)는, 입력 화상을 관찰하기 위해 확대 축소 등의 각종 화상 처리를 행한다.
- [0059] 화상 계측 처리부(42)는, 화상 처리를 사용하여 형상의 크기를 계측한다. 예를 들면, 화상 계측 처리부(42)는, 변환된 고품질 상당 화상(13)을 사용하여 화상 처리를 행하고, 도 2의 상층 회로(101)의 회로 패턴(101p)과, 하층 회로(102)의 회로 패턴(102p)에서, 각각 에지 부분을 추출한다. 그리고, 화상 계측 처리부(42)는, 도 3에 나타내는 에지 간의 거리(d)를 추출한다.
- [0060] 화상 분류 처리부(43)는, 입력 화상이 어떤 물체로 분류되는지를 처리한다. 또한, 화상 이용부(40)는, 그 외 도시하지 않지만, 화상의 영역을 분류하는 화상의 세그멘테이션 처리 등, 저품질 화상(11)에서는 처리 성능이 저하되는 바와 같은 처리 분야에의 화상 처리를 행한다.
- [0061] 제어 표시부(50)는, 화상 이용부(40)의 각종 제어나 처리 결과의 표시를 행한다.

- [0062] 도 5는, 부적합 검출부(10)의 구성도이다.
- [0063] 부적합 검출부(10)는, 화상 변환부(12)와, 부적합 검출부(15)를 갖는다. 부적합 검출부(10)는, 저품질 화상(11)(도 3에서는 촬영 화상(113))과, 고품질 상당 화상(13)(도 3에서는 촬영 화상(114))과, 학습 모델(14)을 기억한다.
- [0064] 화상 변환부(12)는, 입력되는 촬상 장치(30)에서 촬상된 저품질 화상(11)으로부터, 학습 모델(14)을 사용하여 고품질 상당 화상(13)을 출력한다. 학습 모델(14)은, CNN(Convolutional Neural Network : 컨벌루션 뉴럴 네트워크) 등의 기계 학습된 모델이다. CNN은 학습 모델(14)을 사용하여 저품질 화상(11)을 고품질 상당 화상(13)으로 변환하는 수단이다.
- [0065] 부적합 검출부(15)는, 화상 변환부(12)의 처리 대상으로서 입력되는 저품질 화상(11)과, 학습 모델(14)이 부적합한지의 여부를 검출한다. 또, 부적합 검출부(15)가 부적합을 검출하기 위한 정보로서, 학습 모델(14)의 학습 과정에서 사용한 학습용 페어 화상의 평가값(어긋남량 등)을 나타내는 모델 적합 영역의 정보가, 학습 모델(14)마다 대응지어 부적합 검출부(10)의 기억부에 등록되어 있다. 모델 적합 영역의 정보는, 예를 들면, 학습 시에 사용한 학습용 페어 화상의 어긋남량의 구간으로서 표현된다.
- [0066] 그리고, 부적합 검출부(15)가, 입력되는 저품질 화상(11)의 평가값이 모델 적합 영역의 범위 내에는 없을 때에, 학습 모델(14)이 부적합하다고 판정한다.
- [0067] 부적합 발보부(16)는, 부적합 검출부(15)의 검출 결과로서, 화상 변환부(12)의 처리 대상이 된 저품질 화상(11)이 변환 처리에 사용한 학습 모델(14)은 부적합하다는 취지를, 화면 표시나 음성 등의 제시 수단으로 검사자에게 발보한다.
- [0068] 도 6은, 모델 학습부(10B)의 구성도이다.
- [0069] 모델 학습부(10B)는, 화상 변환부(12)와, 가중치 보정부(12B)를 갖는다. 부적합 검출부(10)는, 저품질 화상(11)(도 3에서는 촬영 화상(111))과, 고품질 상당 화상(13)(도 3에서는 촬영 화상(112))과, 고품질 정해 화상(13B)과, 학습 모델(14)을 기억한다.
- [0070] 고품질 정해 화상(13B)은, 저품질 화상(11)에 있어서 화질 개선의 목표(정해)로 하는 고품질의 화상이다. 고품질 정해 화상(13B)은, 반도체 웨이퍼의 경우, 테스트용 웨이퍼를 사용하거나, X선의 경우 인체를 모의(模擬)한 X선 촬영 팬텀 등의 이용도 생각할 수 있다.
- [0071] 고품질 정해 화상(13B)은, 저품질 화상(11)과 페어가 되는 학습용 페어 화상이며, 저품질 화상(11)과 동일한 위치의 동일한 화각(畫角)의 화상이다.
- [0072] 또, 고품질 정해 화상(13B)의 촬영 조건은, 저품질 화상(11)의 촬영 조건보다 전자선이나 X선의 조사량이 늘어난다. 일단 학습 모델(14)을 생성하면, 다른 저품질 화상(11)의 화상 변환 시에는, 고품질 정해 화상(13B)은 불필요해진다.
- [0073] 가중치 보정부(12B)는, 고품질 상당 화상(13)의 화질이 고품질 정해 화상(13B)에 가까워지도록, 학습 모델(14)의 가중치를 보정한다. 학습 모델(14)의 가중치는, 예를 들면, CNN의 네트워크의 가중치 계수이다. 따라서, 초기 상태에서는 학습 모델(14)의 가중치는 전혀 설정되어 있지 않은 상태이다. 따라서, 저품질 화상(11)을 화상 변환부(12)에서 화상 변환된 고품질 상당 화상(13)과, 고품질 정해 화상(13B) 사이에는 어긋남이 발생하고 있다.
- [0074] 가중치 보정부(12B)는, 그 어긋남량을 어긋남 보정하기 위한 학습 모델(14)의 가중 계수를 보정하는 보정량을 산출하여 학습 모델(14)의 수정을 행한다.
- [0075] 모델 학습부(10B)는, 학습 모델(14)의 학습 단계에서 사용된 학습용 화상의 평가값의 분포를 모델 적합 영역으로 하여, 학습 모델(14)에 대응지어 기억부에 기억한다.
- [0076] 가중치 보정부(12B)에 의한 가중치 보정 처리는, 복수의 학습용 페어 화상을 사용하여 반복되어, 가중치 보정량이 적어진 시점에 종료한다. 가중치 보정 처리의 종료 시점에는, 고품질 상당 화상(13)과 고품질 정해 화상(13B)의 어긋남은 최소화된다. 화상 변환부(12)는, 가중치 보정 처리의 종료 시점의 학습 모델(14)을 사용함으로써, 저품질 화상(11)으로부터 고품질 정해 화상(13B)에 가까운 화질의 고품질 상당 화상(13)을 생성 가능하게 된다.

- [0077] 도 7은, 부적합 검출부(10)의 처리의 흐름을 나타내는 플로우차트이다.
- [0078] 화상 변환부(12)는, 처리 대상이 되는 저품질 화상(11)을 촬상 화상 축적부(33)(화상용 다차원 수취(收取) 데이터 DB)로부터 취득한다(S11). 또, 화상 변환부(12)는, 촬상 장치(30)로부터 직접 저품질 화상(11)을 입수해도 상관없다.
- [0079] 화상 변환부(12)는, 학습 모델(14)을 사용하여, 취득한 저품질 화상(11)으로부터 고품질 상당 화상(13)을 취득(화상 변환)한다(S12).
- [0080] 화상 계측 처리부(42)는, 취득한 저품질 화상(11)을 사용하여 도 4에서 설명한 화상 계측 처리를 행함으로써, 상하층의 어긋남량을 계산한다(S13).
- [0081] 부적합 검출부(15)는, 학습 모델(14)의 DB에 등록되어 있는 모델 적합 영역의 정보를 취득한다(S14).
- [0082] 부적합 검출부(15)는, S13에서 계산한 저품질 화상(11)의 어긋남량이, 학습 모델(14)의 모델 적합 영역의 구간 내인지의 여부를 판정함으로써(S15), 모델 적합 영역의 구간 외의 학습 모델(14)을 학습 모델 부적합하다고 간주한다.
- [0083] S15에서 Yes이면, 부적합 검출부(15)는, 부적합 발보부(16)를 통해, S15의 학습 모델(14)의 부적합을 발보한다(S16). 또한, 부적합 대책부(20)는, 부적합의 대책을 실행해도 된다(S17). 한편, S15에서 No이면 어긋남량을 출력한다(S18).
- [0084] 이하, 학습 모델 부적합의 판정 처리(S15)의 일례를 설명한다.
- [0085] 도 8은, 모델 적합 영역의 구간 정의 방법을 나타내는 도면이다. 이하, 2종류의 정의 방법을 도시하고 있다.
- [0086] 구간 정의 방법(121)은, 학습 시에 사용한 학습용 페어 화상의 어긋남량의 구간을 그대로 모델 적합 영역으로서 정의하고 있다. 도 8의 예에서는 모델 적합 영역은 어긋남량이 -5~+5인 제1 구간([-5, 5])과, 어긋남량이 +15~+20인 제2 구간([15, 20])의 합집합이 된다. 도 8에서는, 구간 내를 해칭한 막대 그래프로 표현하고 있다.
- [0087] 구간 정의 방법(122)은, 도 3에서 설명한 어긋남량끼리의 오차를 고려한 모델 적합 영역을 정의하고 있다.
- [0088] 모델 적합 영역의 신뢰성을 높이기 위해서는 이 오차를 고려하여, 구간마다(제1 구간과, 제2 구간에서), 구간의 양단을 구간의 내측을 향해 축소하는 것이 바람직하다. 축소하는 양으로서는 오차의 표준 편차 3σ 등을 사용해도 된다. 3σ 는 99.7%의 신뢰 구간이다. 즉, 구간 정의 방법(121)의 모델 적합 영역 중의 경계 부근의 값이, 구간 정의 방법(122)에서는 모델 적합 영역 외인 확률은 0.3%(=100-99.7)이다. 이와 같이 신뢰도를 높인 모델 적합 영역의 정의를 행해도 된다.
- [0089] 도 9는, 모델 적합 영역의 설정 방법의 일례를 나타내는 도면이다.
- [0090] 모델 적합 영역의 구간의 설정 방법을 설명한다. 각 그래프(131, 132)의 횡축은 어긋남량을 나타내고 있다.
- [0091] 그래프(131)는, 어느 학습용 페어 화상 중의 고품질 정해 화상(13B)의 어긋남량의 값을 검은 점으로 나타내고, 그 어긋남량의 영향 곡선을 산 모양 곡선으로 나타낸다. 영향 곡선의 계산에 이용하는 함수나 스커트부의 폭 등은 실험 등으로 구한다. 학습용 페어 화상은 복수 있으며 어긋남량에 대한 분포 밀도도 다르다.
- [0092] 그래프(131)의 종축에는, 학습용 페어 화상의 어긋남량의 영향을 판정하는 문턱값이 기재된다. 영향 곡선이 이 문턱값 이상이면 모델 적합 영역으로 판정된다. 도 9에서는, 제1 구간([-35, -25])과, 제2 구간([-20, +5])과, 제3 구간([+10, +25])이 각각 모델 적합 영역 내의 구간으로서 판정되었다.
- [0093] 그래프(132)는, 모델 적합 영역으로서 판정된 부분을 나타낸다. 신뢰성 등을 고려할 경우, 그래프(132)의 모델 적합 영역을 기초로 도 8의 구간 정의 방법(122)에서 설명한 방법을 사용하여, 모델 적합 영역의 축소 처리를 행하면 된다.
- [0094] 모델 적합 영역의 데이터 서식으로서의 표현 방법(영역 표현 방법)의 예를 설명한다.
- [0095] 도 10은, 영역 표현 방법의 제1 예를 나타내는 테이블이다.
- [0096] 이 테이블에서는, 도 9에서 구한 모델 적합 영역의 값을, 시점, 종점의 어긋남량으로 표현하고 있다. 이 경우, 부적합 검출부(15)의 학습 모델 부적합 판정 처리는, 저품질 화상(11)의 어긋남량이 모델 적합 영역 내에 들어가는지의 여부를 판정 처리(S15)를, 각 항번(項番)(#)마다 실행하면 된다.

- [0097] 도 11은, 영역 표현 방법의 제2 예를 나타내는 테이블이다.
- [0098] 이 테이블에서는, 모델 적합 영역의 식별자(테이블의 왼쪽 열)마다, 모델 적합 영역인지(=1) 아닌지(=0)의 플래그(오른쪽 열)를 세우고 있다.
- [0099] 모델 적합 영역의 식별자는, 하나의 값이지만, 폭을 가진 각 모델 적합 영역을 식별하는 식별자로서 취급한다. 예를 들면 테이블에 기재된 식별자 「-10」은, 모델 적합 영역은 [-10, -5)를 나타내고 있다. 기호 [는 경계를 포함하고, 기호)는 경계를 포함하지 않는다. 이 예에서는, 모델 적합 영역의 양자화를 5로 하여 개시점의 어긋남량을 그 식별자로 하고 있다. 또한, 모델 학습부(10B)는, 양자화 수(數)를 변경함에 의해, 모델 적합 영역의 분해능을 변경할 수 있다.
- [0100] 도 11의 테이블을 사용했을 경우, 부적합 검출부(15)의 학습 모델 부적합 판정 처리(S15)는, 저품질 화상(11)의 어긋남량이, 어느 모델 적합 영역 내(테이블의 왼쪽 열)에 속하는지를 판단하고, 속하는 테이블의 오른쪽 열의 플래그를 참조하면 되고, 플래그가 1이면 모델 적합 영역이고, 0이면 모델 적합 영역이 아니다.
- [0101] 예를 들면, 부적합 검출부(15)는, 저품질 화상(11)의 어긋남량이 16의 값인 경우, 모델 적합 영역[15, 20]에 포함되므로, 영역 식별자 「15」로 한다. 그리고, 부적합 검출부(15)는, 도 11의 테이블로부터, 영역 식별자 「15」→플래그 「0」을 참조함으로써, 모델 부적합이라고 판단한다.
- [0102] 또, 도 11의 표현 방법은 다차원화가 용이하다. 지금까지는, 횡방향의 어긋남량만을 모델 적합 영역의 대상으로 하고 있었다. 실제로는, 종방향의 어긋남량도 발생하고, 어긋남량과는 완전히 다른, 예를 들면 전자 현미경(31)의 가속 전압의 차이에 의한 화질의 변화 등도 발생한다. 각각의 요소마다 학습용 페어 화상을 사용한 학습을 행할 필요가 있다.
- [0103] 도 12는, 도 11의 테이블을 2차원 요소로 확장한, 영역 표현 방법의 제3 예를 나타내는 테이블이다. 또, 도 11의 테이블에서는 식별자의 범위를 -10에서 40까지로 했지만, 도 12의 테이블에서는, 식별자의 범위를 -20에서 30까지로 한다.
- [0104] 도 12의 테이블에서는, 횡방향의 항목이 횡방향의 어긋남량을 나타내는 모델 적합 영역의 식별자를 나타내고, 종방향의 항목이 종방향의 어긋남량을 나타내는 모델 적합 영역의 식별자를 나타낸다. 횡방향의 항목과 종방향의 항목이 교차하는 셀 내부의 수치는, 모델 적합 영역이 1, 모델 적합 영역이 아닌 경우를 0으로 나타내고 있다. 이 예에서는 횡방향의 어긋남량이 [0, 20)이 모델 적합 영역, 종방향의 어긋남량이 [0, 10)이 모델 적합 영역인 것을 나타내고 있다.
- [0105] 도 12의 테이블을 사용했을 경우, 부적합 검출부(15)의 학습 모델 부적합 판정 처리(S15)는, 저품질 화상(11)의 각 요소의 어긋남량이, 어느 테이블 내의 셀에 속하는지를 판단하고, 속하는 셀 내부의 수치를 참조하면 된다.
- [0106] 도 13은, 도 12의 테이블의 셀값에, 학습용 페어 화상이 저장되어 있는 디렉토리명을 저장한 변형예를 나타내는 테이블이다. 셀 내부의 문자열이, 모델 적합 영역이 아닌 경우가 0, 모델 적합 영역인 경우가 0 이외로 나타내고 있다.
- [0107] 도 14는, 도 11의 테이블을 3차원 요소로 확장한, 영역 표현 방법의 제4 예를 나타내는 데이터 구조이다.
- [0108] 도 14의 X축은 횡방향의 어긋남량을 나타내고, Y축은 종방향의 어긋남량을 나타내고, Z축은 가속 전압을 나타낸다. 또, 3차원 이상의 표현은 도시할 수 없지만, 영역 표현 방법은, n차원까지 확장 가능하다.
- [0109] 도 14의 데이터 구조를 사용했을 경우, 부적합 검출부(15)의 학습 모델 부적합 판정 처리(S15)는, 저품질 화상(11)의 횡방향의 어긋남량과, 종방향의 어긋남량과, 가속 전압의 조합이, 어느 테이블 내의 셀에 속하는지를 판단하고, 속하는 셀 내부의 수치(도시 생략)를 참조하면 된다.
- [0110] 실시예 1에 따르면, 학습 모델이 처리 대상 화상에 대해 부적합한 것을 검출 가능하게 되어 예측 결과의 오차가 큰 것을 발보할 수 있게 된다.
- [0111] 도 15는, 부적합 대책부(20)의 구성도이다.
- [0112] 부적합 대책부(20)는, 대책 방법 탐색부(22)와, 대책 방법 제시부(23)와, 재학습 데이터 입력부(24)와, 사용 모델 변경부(25)와, 기존 모델 재학습부(26)와, 신규 모델 학습부(27)를 갖는다. 부적합 대책부(20)는, 대책 수법 DB(21)를 기억한다. 이하, 부적합 대책부(20)의 상세에 대해, 도 16을 참조하여 설명한다.
- [0113] 도 16은, 부적합의 대책 처리(S17)의 구체적인 처리를 나타내는 플로우차트이다.

- [0114] 이 플로우차트에서는, 조작자를 개제시키지 않는 대책 처리를 설명하고, 그 후에 조작자를 개제시킨 변형예를 설명한다.
- [0115] 사용 모델 변경부(25)는, 어긋남량을 처리 가능한 다른 모델을 탐색한다(S171). 사용 모델 변경부(25)는, S171의 탐색에 성공하여, 다른 모델을 발견할 수 있었는지의 여부를 판정한다(S172). S172에서 Yes이면, 사용 모델 변경부(25)는, 현상(現狀)의 부적합 모델로부터 발견된 다른 모델로, 사용 모델을 변경한다(S173). 사용 모델이란, 화상 변환부(12)가 변환 처리에 사용하는 학습 모델(14)이다.
- [0116] 즉, 사용 모델 변경부(25)는, 부적합 검출부(15)가 부적합을 검출했을 경우, 입력되는 저품질 화상(11)의 평가값에 적합한 모델 적합 영역에 대응하는 다른 학습 모델(14)을 부적합 대책부(20)의 기억부로부터 탐색하고, 다른 학습 모델(14)을, 입력되는 저품질 화상(11)의 변환 처리에 사용하도록 화상 변환부(12)를 제어한다.
- [0117] 이것에 의해, 화상 변환부(12)는, S173에서 변경된, 처리 대상의 저품질 화상(11)에 적합한 학습 모델(14)을 기초로, 적절한(오차가 적은) 화상 변환 처리를 실행할 수 있다.
- [0118] S172에서 No이면, 대책 방법 탐색부(22)는, 재학습 가능한 기존의 학습 모델을 학습 모델(14)의 DB로부터 취득한다(S174). S174에서 취득하는 것은, 현상의 부적합 모델이어도 되고, 기존의 다른 학습 모델이어도 된다. 대책 방법 탐색부(22)는, S174의 기존의 학습 모델의 취득에 성공했는지의 여부를 판정한다(S175).
- [0119] S175에서 Yes이면, 기존 모델 재학습부(26)는, 기존 모델을 재학습한다(S176). 즉, 기존 모델 재학습부(26)는, 부적합 검출부(15)가 부적합을 검출했을 경우, 그 부적합이 된 학습 모델(14)에 대해, 추가의 고품질 정해 화상(13B)을 기초로 재학습함으로써, 학습 모델(14)의 모델 적합 영역을 확장한다.
- [0120] S175에서 No이면, 신규 모델 학습부(27)는, 신규 모델을 학습한다(S177).
- [0121] 그 때문에, 재학습 데이터 입력부(24)는, 기존 모델 재학습부(26)의 재학습 처리(S176)나, 신규 모델 학습부(27)의 학습 처리(S177)에 사용하는 교재 데이터의 고품질 화상을 입수한다. 또, 기존 모델이란, 1회 이상의 학습이 이루어진 모델이며, 그 모델 적합 영역도 1개 이상의 구간을 포함하는 것이다. 한편, 신규 모델이란, 학습이 이루어져 있지 않은 초기 상태의 모델이며, 그 모델 적합 영역도 구간을 포함하고 있지 않다.
- [0122] 도 17은, 도 15의 부적합 대책부(20)의 변형예를 나타내는 구성도이다.
- [0123] 도 17에서는, 재학습 데이터 입력부(24) 대신에, 재학습 데이터 수집부(24b)가 구비되어 있다. 재학습 데이터 수집부(24b)는, 프로그래밍된 촬상 장치(30)의 동작 순서에 따른 자동 운전을 실행함으로써, 조작자의 조작을 개재하지 않고 고품질 화상을 입수한다.
- [0124] 즉, 재학습 데이터 수집부(24b)는, 사전에 설정된 동작 순서에 따라 촬상 장치(30)를 동작시킴으로써, 촬영된 추가의 고품질 정해 화상(13B)의 입력을 접수한다. 또한, 재학습 데이터 수집부(24b)는, 도 16의 다른 처리도 마찬가지로, 자동 운전을 실행해도 된다.
- [0125] 또한, 대책 방법 제시부(23)는, 대책 방법 탐색부(22)가 대책 수법 DB(21)로부터 탐색한 이하의 3종류의 대책 수법이나, 그 대책 수법에 요하는 작업 순서를 유저에게 제시하여, 어느 대책 수법을 채용할지를 유저에게 선택 시켜도 된다. 그 때문에, 대책 수법 DB(21)에는, 부적합 발보부(16)에서 모델 부적합하다고 판단되었을 경우, 다음으로 어떠한 작업을 행하면 될지를 나타내는 정보가 등록되어 있다.
- [0126] (대책 방법 1) 사용 모델 변경부(25)에 의한, 사용 모델의 변경(S173). 대책 방법 제시부(23)는, 변경하는 사용 모델의 후보를 표시하고, 조작자가 확인 버튼 등을 눌러 확인이 취해진 사용 모델의 후보를, 확정해도 된다.
- [0127] (대책 방법 2) 기존 모델 재학습부(26)에 의한, 기존 모델의 재학습(S176, 실시예 2에서 상세를 설명). 또, 재학습을 행할 경우에는 학습 데이터로서 고품질 화상의 촬상이 필요하게 된다. 고품질 화상의 촬상은 통상의 촬상(저품질 화상(11)의 촬상)과는 다른 작업 순서로 행해져야만 한다. 그래서, 대책 방법 제시부(23)는, 이 작업 순서(레시피)를 작업자에게 이해하기 쉽게 화면에 표시시켜, 조작의 서포트를 행해도 된다. 그 때문에, 대책 수법 DB(21)에는, 예를 들면, 「고품질 화상을 촬영하기 위해, 피사체에 강한 빛을 비춰 주세요」 등의 재학습을 행하기 위한 추가의 고품질 정해 화상(13B)의 촬영 방법 등이 저장된다. 이 대책 수법 DB(21)의 저장 내용은, 작업자의 화면에 표시시키는 각종 메시지이다.
- [0128] (대책 방법 3) 신규 모델 학습부(27)에 의한, 신규 모델의 학습(S177). (대책 방법 2)와 마찬가지로, 대책 방법 제시부(23)는, 작업 순서(레시피)를 작업자에게 이해하기 쉽게 화면에 표시시켜도 된다.

- [0129] 도 18은, 화상 변환 시스템의 하드웨어 구성도이다.
- [0130] 화상 변환 시스템의 각 처리부(부적합 검출부(10), 부적합 발보부(16), 부적합 대책부(20), 화상 이용부(40), 및, 제어 표시부(50))는, CPU(901)와, RAM(902)과, ROM(903)과, HDD(904)와, 통신 I/F(905)와, 입출력 I/F(906)와, 미디어 I/F(907)를 갖는 컴퓨터(900)로서 구성된다. HDD(904)는, 예를 들면, 학습 모델(14)을 축적하는 기억 장치로 구성된다.
- [0131] 통신 I/F(905)는, 외부의 통신 장치(915)와 접속된다. 입출력 I/F(906)는, 입출력 장치(916)와 접속된다. 미디어 I/F(907)는, 기록 매체(917)로부터 데이터를 읽고 쓴다. 또한, CPU(901)는, RAM(902)에 읽어드린 프로그램(어플리케이션이나, 그 약칭인 앱이라고도 칭함)을 실행함에 의해, 각 처리부를 제어한다. 그리고, 이 프로그램은, 통신 회선을 통해 배포되거나, CD-ROM 등의 기록 매체(917)에 기록하여 배포하거나 하는 것도 가능하다.
- [0132] 또, 화상 변환 시스템의 각 처리부는 화상의 연산 처리를 할 수 있는 하드웨어이면 어떠한 기재(機材)여도 상관없다. 예를 들면, 컴퓨터 등과 같은 CPU나 GPU 등의 연산 처리 장치, HDD 등의 기억 장치를 탑재하여 연산 처리를 행하는 장치여도 상관없고, 로직 연산 회로를 프로그래밍할 수 있는 FPGA(field-programmable gate array) 등을 사용해도 되고, 전용 하드웨어를 제작해도 상관없다.
- [0133] **실시예 2**
- [0134] 실시예 2에서는, 기존 모델 재학습부(26)에 의한, 기존 모델의 재학습 처리(S176)의 상세를 설명한다. 재학습 처리의 일례로서, 일반적으로 사용되고 있는 파인 튜닝을 이용한 학습 모델의 조정 처리를 행하여, 학습 모델을 적합시키면서 모델 적합 영역을 확장하는 방법에 대해 기술한다. 파인 튜닝에서는, 기존 모델을 학습 전의 상태로 하여 이용한다. 학습에 사용하는 학습용 페어 화상은, 기존 모델의 작성 시에 사용한(모델 적합 영역에 등록 완료의) 학습용 페어 화상과, 모델 적합 영역을 확장하는 영역의(모델 적합 영역에 등록 전의) 학습용 페어의 양쪽이다.
- [0135] 양쪽의 학습용 페어 화상을 사용함에 의해, 초기 상태의 학습 모델이 커버하고 있었던 모델 적합 영역과 추가하는 모델 적합 영역의 양쪽에 적합한 학습 모델이 생성된다. 또, 확장 영역도 학습용 페어 화상이 필요하므로, 저품질 화상(11) 외에 고품질 정해 화상(13B)이 필요하게 된다. 그 때문에, 고품질 정해 화상(13B)의 촬상 작업이 발생한다. 파인 튜닝은, 아무것도 학습하고 있지 않은 학습 모델을 초기 상태로 하여 학습했을 경우와 비교하여, 매우 고속으로 모델 생성이 가능하며 처리의 스루풋 향상에 유효하다.
- [0136] 또한, 파인 튜닝은, 노이즈 제거를 목적으로 학습 완료의 학습 모델을 초기 상태로 하고, 수차 개선을 목적으로 한 학습용 페어 화상을 사용하여 학습하는 등, 복수의 목적이 복합된 학습 모델의 작성에도 적합하다. 즉, 재학습된 학습 모델은, 예를 들면, 노이즈 제거와 수차의 양쪽을 개선하는 화상 변환 처리를 실행할 수 있다.
- [0137] 도 19는, 도 11과 동일한 표현 방법인 모델 적합 영역의 테이블에 대해, 재학습에 의해 테이블 내의 수치가 변화되는 상태를 나타내는 설명도이다.
- [0138] 도 19의 테이블은, 초기 상태인 초기 학습 모델(제1열~제3열)과, 1회째의 재학습의 결과를 나타내는 모델(제4, 5열)과, 2회째의 재학습의 결과를 나타내는 모델(제6, 7열)을 하나의 테이블에 정리한 것이다. 3개의 모델 모두 모델 적합 영역의 식별자는 같기 때문에, 제1열에만 기재했다.
- [0139] 「판정」의 제2, 4, 6열은, 모델 적합 영역인지(=1) 아닌지(=0)의 플래그이다.
- [0140] 「저장처」의 제3, 5, 7열은, 파인 튜닝을 행하여 학습 모델의 조정을 행할 때에 사용한 학습용 페어 화상이 저장되어 있는 디렉토리명을 나타낸다. 이 디렉토리에 들어 있는 학습용 페어 화상을 재학습 시의 학습 데이터로서 이용한다.
- [0141] 초기 학습 모델은 모델 적합 영역[-5, 5]를 나타내고, 학습 1회째의 결과는 모델 적합 영역[-15, 5]으로 확장되고, 학습 2회째의 결과는, 모델 적합 영역[-40, 5]로 확장된다. 또한, 학습 1회째에 사용한 학습용 페어 화상은, 디렉토리명 「A003, A004」에 각각 저장된다. 학습 2회째에 사용한 학습용 페어 화상은, 디렉토리명 「A005~A009」에 각각 저장된다.
- [0142] 예를 들면, 새롭게 처리 대상이 된 저품질 화상(11)의 어긋남량의 크기가 영역[-15, -5]인 경우, 초기 학습 모델에서는 일부의 구간[-15, -5]이 구간 외로 부적합하지만, 학습 1회째의 결과를 이용하면 모두 구간 내의 적합이 된다.

- [0143] 도 20은, 화상 변환부(12)의 처리 전(화질 개선 전)의 저품질 화상(11)에 대한 오차의 발생 상황을 나타낸 그래프이다.
- [0144] 도 21은, 화상 변환부(12)의 처리 후(화질 개선 후)의 고품질 상당 화상(13)에 대한 오차의 발생 상황을 나타낸 그래프이다.
- [0145] 그래프의 횡축은, 고품질 상당 화상(13)을 사용하여 구한 어긋남량을 나타낸다. 그래프의 종축은, 저품질 화상(11) 또는 고품질 상당 화상(13)을 사용하여 구한 어긋남량과, 고품질 정해 화상(13B)을 사용하여 구한 어긋남량의 오차를 나타낸다. 또한, 학습 모델(14)은 상하층의 어긋남량이 -40~+5의 어긋남량의 학습용 페어 화상을 사용하여 작성하고 있다.
- [0146] 도 20 및 도 21의 그래프를 생성하기 위해 계측한 화상은, 각각 200매이다. 도 21은 도 20과 비교하여 오차의 편차가, 전체 어긋남량에서 작아지고 있음을 알 수 있다. 오차의 편차가 작다는 것은 정밀도가 향상되고 있다는 것이며, 화상 변환부(12)에 의해 계측 정밀도 향상이 도모되고 있음을 알 수 있다. 또, 횡축을 고품질 화상으로부터 구한 어긋남량이 아니라 고품질 상당 화상(13)을 사용하여 구한 어긋남량으로 한 것은, 학습 모델 부적합의 판정 처리에, 고품질 화상 취득의 문제로 기술한 이유에 의해 고품질 화상을 사용할 수 없기 때문이다.
- [0147] 도 21에서는 학습 모델을 상하층의 어긋남량이 -40~+5의 어긋남량의 학습용 페어 화상을 사용하여 작성했다. 상하층의 어긋남은, 어떠한 제조 공정 상의 문제로 발생하는 것이며, 실제의 운용 시에는 이와 같이 폭넓은 어긋남량이 있는 화상을 학습용 페어 화상으로서 준비하는 것은 어렵다.
- [0148] 도 22는, 학습용 페어 화상의 어긋남량을 모델 적합 영역[-5, 5)로 한 학습 모델을 사용하여 화상 변환했을 경우의 계측 오차의 상태를 나타내는 도면이다.
- [0149] 도 22의 모델 적합 영역의 구간에서는, 오차의 편차가 도 21과 거의 동일한 정도의 값이 되어 있으며 계측 정밀도 향상이 확인된다. 그런데, 모델 적합 영역보다 음의 측으로 어긋난 화상의 경우, 모델 적합 영역으로부터 멀어짐에 따라 오차가 커지고 있다. 이와 같이, 저품질 화상(11)의 어긋남량이 모델 적합 영역에 포함되어 있으면, 오차의 편차가 적고, 회로 패턴의 부적절한 이동도 적다. 저품질 화상(11)의 어긋남량이 모델 적합 영역에 포함되어 있지 않으면, 오차의 편차가 많고, 회로 패턴의 부적절한 이동도 많다.
- [0150] 도 23은, 학습 1회째의 결과를 기초로, 오차의 발생 상황을 나타낸 그래프이다.
- [0151] 파인 튜닝으로부터 모델 적합 영역은 [-15, 5)의 구간으로 확장되어 있고, 이 구간 내의 오차(종축)가 작아지고 있음을 알 수 있다. 이 학습 모델(14)의 모델 적합 영역[-15, 5)를 기초로, 부적합 검출부(15)는 이후의 모델 적합을 판정한다.
- [0152] 도 24는, 학습 2회째의 결과를 기초로, 오차의 발생 상황을 나타낸 그래프이다.
- [0153] 파인 튜닝으로부터 모델 적합 영역은 [-40, 5)의 구간으로 확장되어 있고, 거의 전체 구간 내의 오차(종축)가 작아지고 있음을 알 수 있다. 이 학습 모델(14)의 모델 적합 영역[-40, 5)를 기초로, 부적합 검출부(15)는 이후의 모델 적합을 판정한다.
- [0154] 또, 도 9에 나타낸 바와 같이, 입수하는 학습용 페어 화상의 어긋남량은 어느 일 개소에 집중하거나, 거칠어지거나 한다. 어떤 모델 적합 영역의 식별자의 영역에 많은 화상이 집중되면, 그 영역의 가중치가 커져 언밸런스한 재학습이 되어 버릴 경우가 있다.
- [0155] 그래서, 도 11 등의 모델 적합 영역을 표현하는 테이블의 모델 적합 영역의 양자화의 폭은 일정하게 하는 것이 바람직하다. 이것에 의해, 각 모델 적합 영역의 학습용 페어 화상의 화상 수를 일정하게 함으로써, 이와 같은 언밸런스의 발생을 방지할 수 있다.
- [0156] 이상 설명한 본 실시형태의 부적합 검출부(10)는, 저품질 화상(11)으로부터 고품질 상당 화상(13)으로의 변환에 이용한 학습 모델(14)이, 저품질 화상(11)에 적합한지 아닌지의 판단을 부적합 검출부(15)가 행한다. 부적합 발보부(16)는, 부적합 검출부(15)의 판단에 의해, 학습 모델(14)이 입력 데이터의 저품질 화상(11)에는 부적합하기 때문에, 고품질 상당 화상(13)이 목적으로 하는 고품질 화상으로 되어 있지 않음을 통지한다.
- [0157] 이것에 의해, 유저는, 고품질 상당 화상(13)이 화상 개선되어 있어도, 모델 부적합을 파악할 수 있기 때문에, 고품질 상당 화상(13)에 기초하는 화상 내용의 오판단을 방지할 수 있다.
- [0158] 또한, 부적합 대책부(20)는, 학습 모델(14)이 부적합하다고 판단된 입력 데이터의 저품질 화상(11)에 상당하는

학습 대상 화상을 학습 데이터에 추가하여 재학습을 행하는 등의 대책을 행한다. 이것에 의해, 저품질 화상(11)이 적합한 학습 모델(14)을 작성한다.

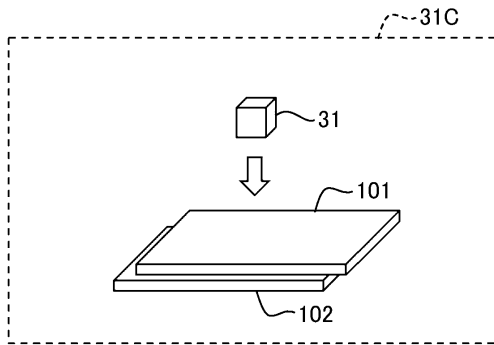
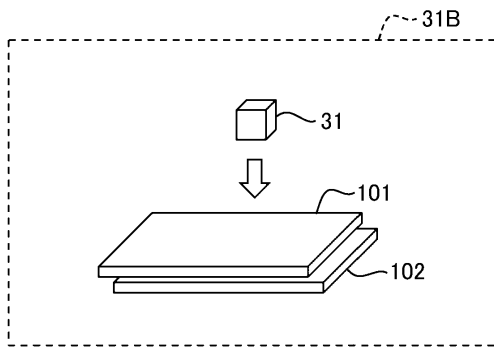
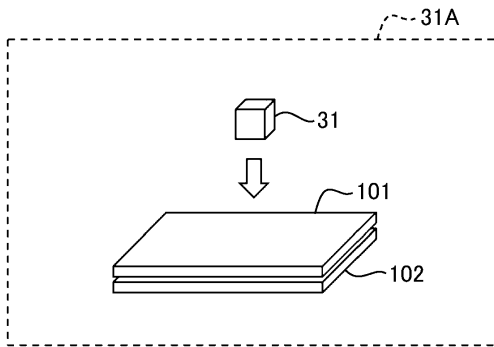
- [0159] 이와 같이, 학습 모델(14)을 재학습함에 의해, 그 학습 모델(14)에 대응하는 모델 적합 영역을 순차 확장할 수 있다. 예를 들면, 노이즈에 관해서는 학습 모델이 적합하지만, 수차에 관해서 적합하지 않을 경우, 기존 모델 재학습부(26)는, 노이즈 화상과 수차 화상의 양쪽을 사용하여 재학습함으로써, 이 양쪽에 적합한 학습 모델(14)을 생성할 수 있다.
- [0160] 또, 본 발명은 상기한 실시예에 한정되는 것이 아니고, 다양한 변형예가 포함된다. 예를 들면, 상기한 실시예는 본 발명을 이해하기 쉽게 설명하기 위해 상세하게 설명한 것이며, 반드시 설명한 모든 구성을 구비하는 것에 한정되는 것은 아니다.
- [0161] 또한, 어떤 실시예의 구성의 일부를 다른 실시예의 구성으로 치환하는 것이 가능하며, 또한, 어떤 실시예의 구성에 다른 실시예의 구성을 더하는 것도 가능하다.
- [0162] 또한, 각 실시형태의 구성의 일부에 대해, 다른 구성의 추가·삭제·치환을 하는 것이 가능하다. 또한, 상기 각 구성, 기능, 처리부, 처리 수단 등은, 그들의 일부 또는 전부를, 예를 들면 집적 회로로 설계하는 등에 의해 하드웨어로 실현해도 된다.
- [0163] 또한, 상기 각 구성, 기능 등은, 프로세서가 각각의 기능을 실현하는 프로그램을 해석하여, 실행함에 의해 소프트웨어로 실현해도 된다.
- [0164] 각 기능을 실현하는 프로그램, 테이블, 파일 등의 정보는, 메모리나, 하드디스크, SSD(Solid State Drive) 등의 기록 장치, 또는, IC(Integrated Circuit) 카드, SD 카드, DVD(Digital Versatile Disc) 등의 기록 매체에 둘 수 있다. 또한, 클라우드를 활용할 수도 있다.
- [0165] 또한, 제어선이나 정보선은 설명상 필요하다고 생각되는 것을 나타내고 있으며, 제품상 반드시 모든 제어선이나 정보선을 나타내고 있는 것은 아니다. 실제로는 거의 모든 구성이 상호 접속되어 있다고 생각해도 된다.
- [0166] 또한, 각 장치를 잇는 통신 수단은, 무선 LAN에 한정되지 않고, 유선 LAN이나 그 밖의 통신 수단으로 변경해도 된다.

부호의 설명

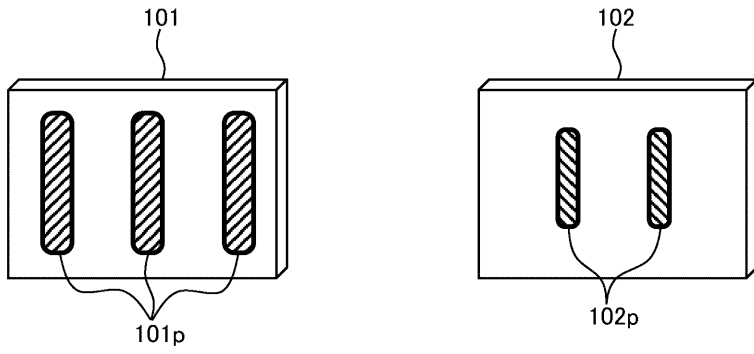
- [0167] 10 부적합 검출부(부적합 검출 장치) 10B 모델 학습부
- 11 저품질 화상(변환 전 화상) 12 화상 변환부
- 12B 가중치 보정부
- 13 고품질 상당 화상(변환 후 화상)
- 13B 고품질 정해 화상(학습용 화상) 14 학습 모델
- 15 부적합 검출부 16 부적합 발보부
- 20 부적합 대책부(부적합 검출 장치) 21 대책 수법 DB
- 22 대책 방법 탐색부 23 대책 방법 제시부
- 24 재학습 데이터 입력부 24b 재학습 데이터 수집부
- 25 사용 모델 변경부 26 기존 모델 재학습부
- 27 신규 모델 학습부 30 촬상 장치
- 31 전자 현미경 32 X선 단층 촬영 장치
- 33 촬상 화상 축적부 40 화상 이용부
- 41 화상 관찰 처리부 42 화상 계측 처리부
- 43 화상 분류 처리부 50 제어 표시부

도면

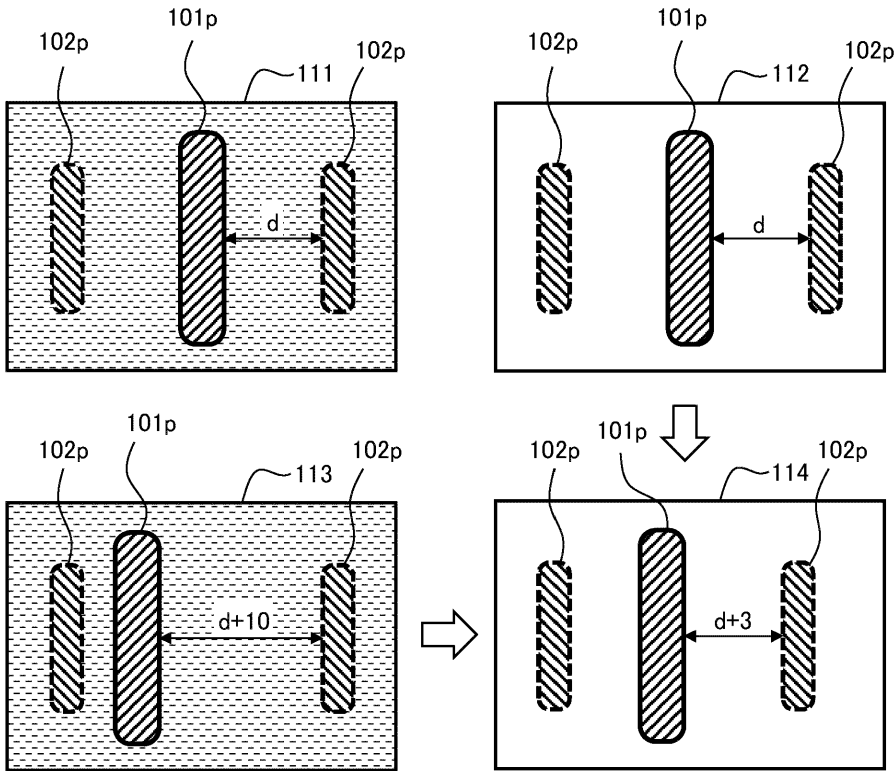
도면1



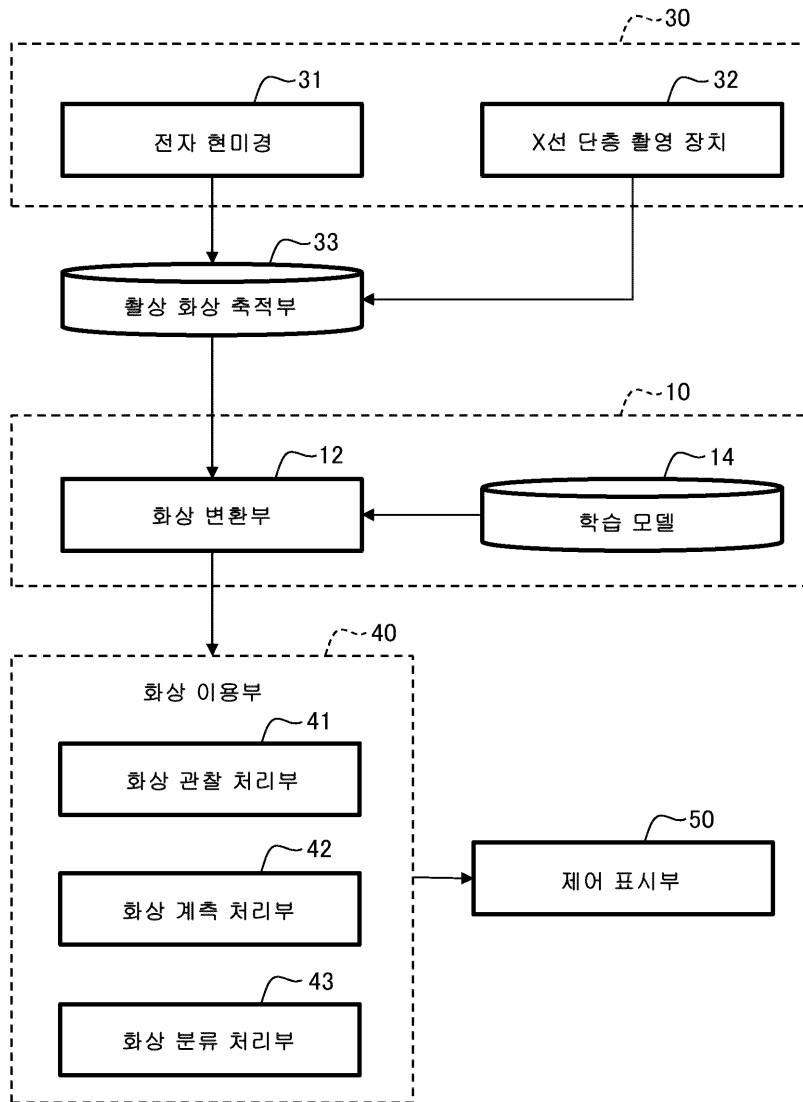
도면2



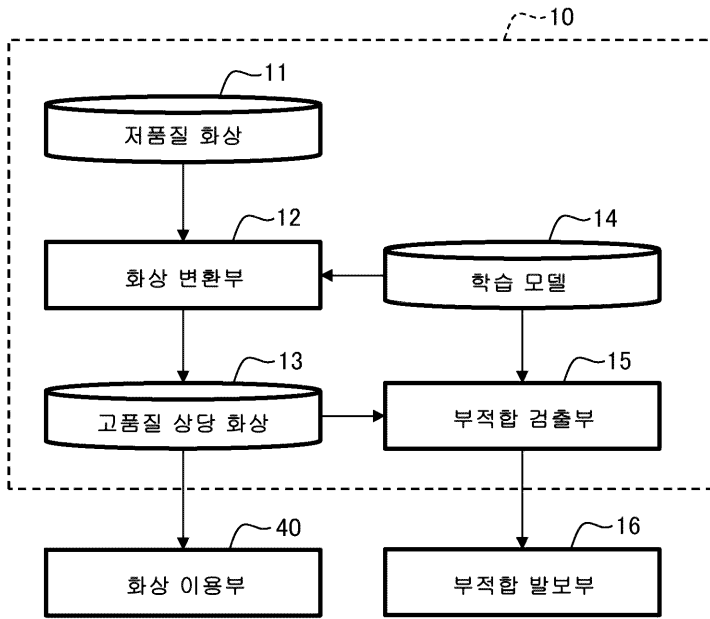
도면3



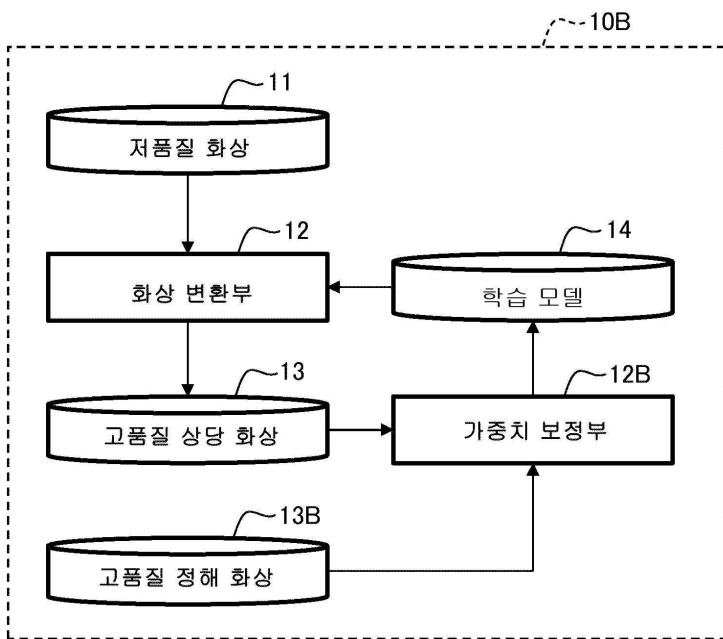
도면4



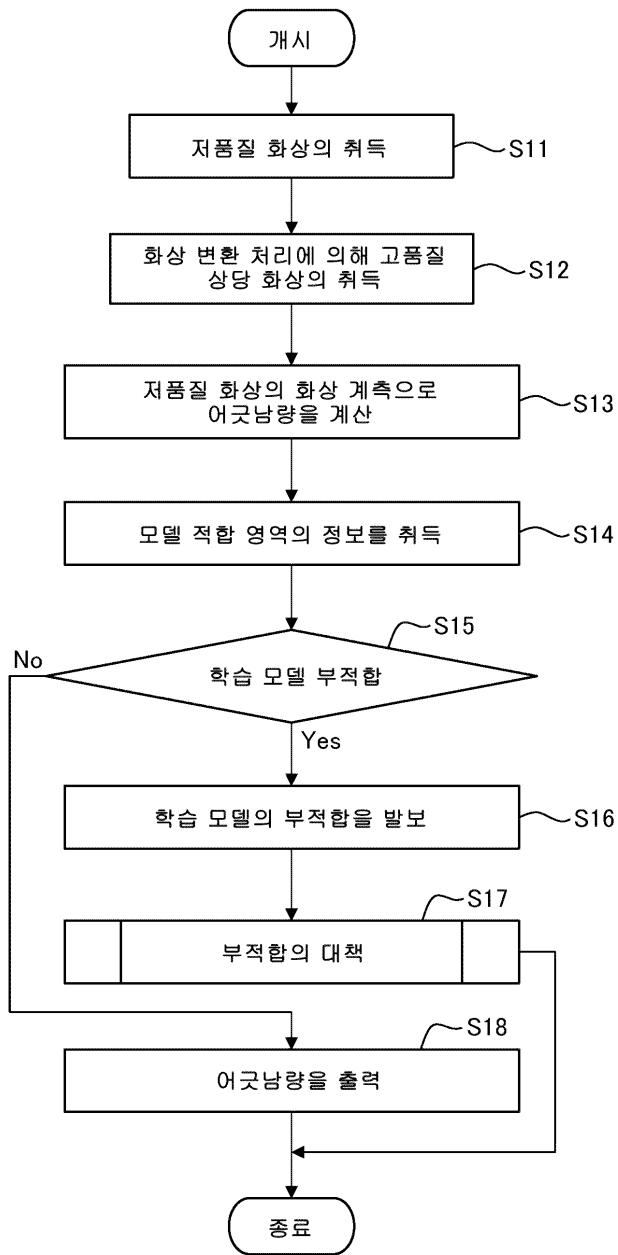
도면5



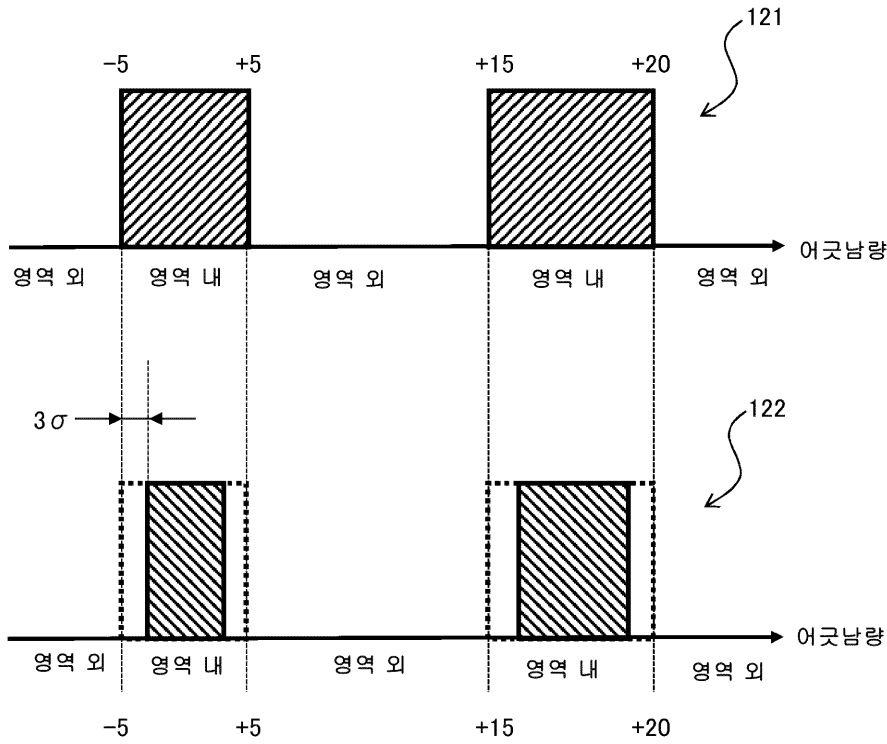
도면6



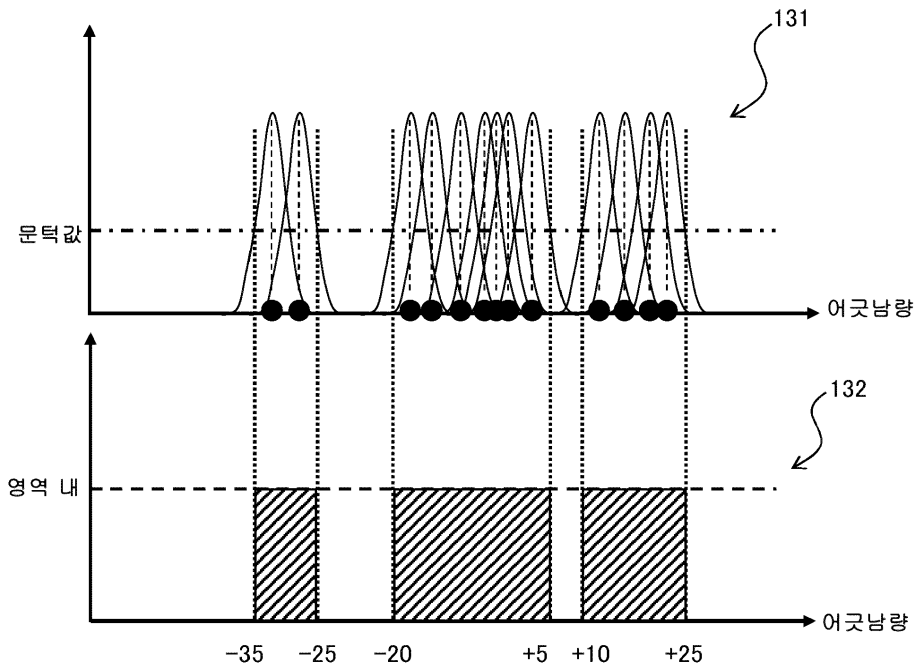
도면7



도면8



도면9



도면10

어긋남량의 모델 영역		
#	시점	종점
1	-35	-25
2	-20	+5
3	+10	+25

도면11

식별자	판정
-10	0
-5	1
0	1
5	0
10	0
15	0
20	0
25	1
30	1
35	0
40	0

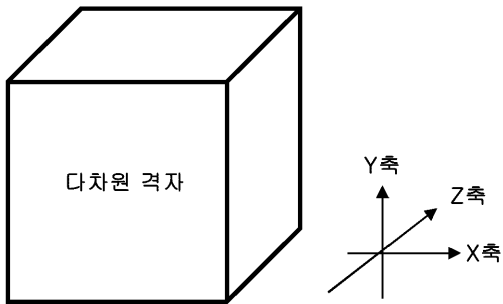
도면12

	-10	0	10	20	30
-20	0	0	0	0	0
-10	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0
10	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	

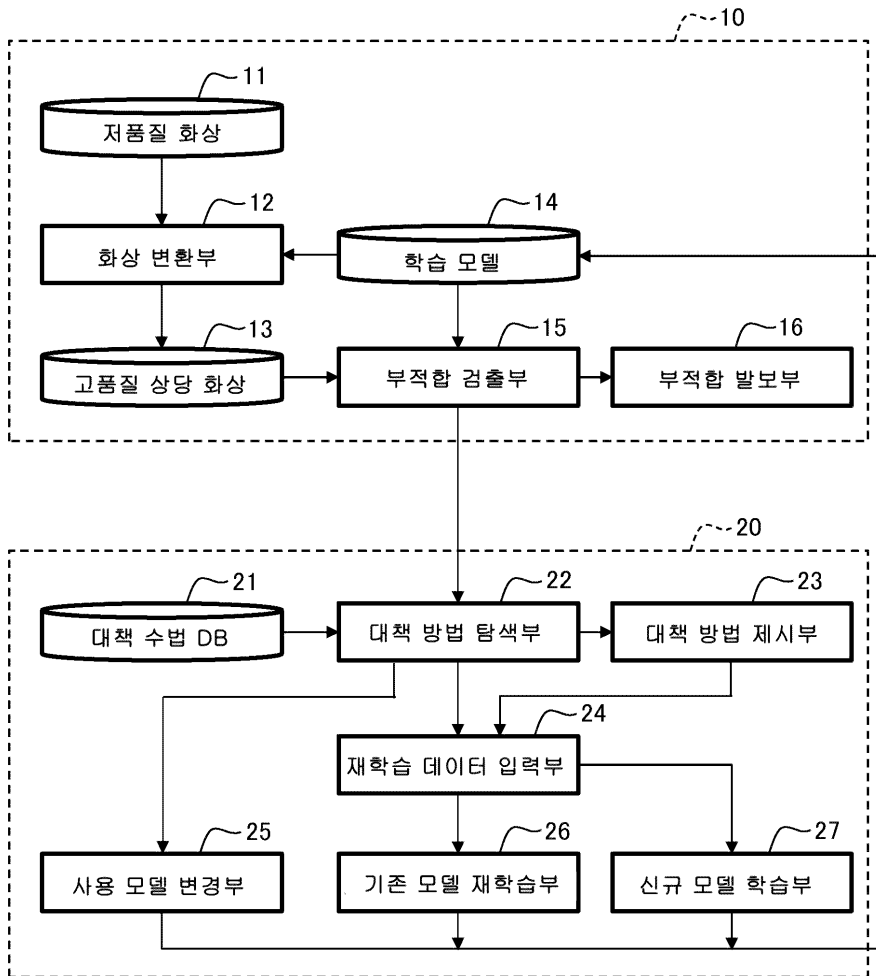
도면13

	-10	0	10	20	30
-20	0	0	0	0	0
-10	0	0	B004	0	0
0	0	B001	B002	0	0
10	0	0	B003	0	0
20	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	

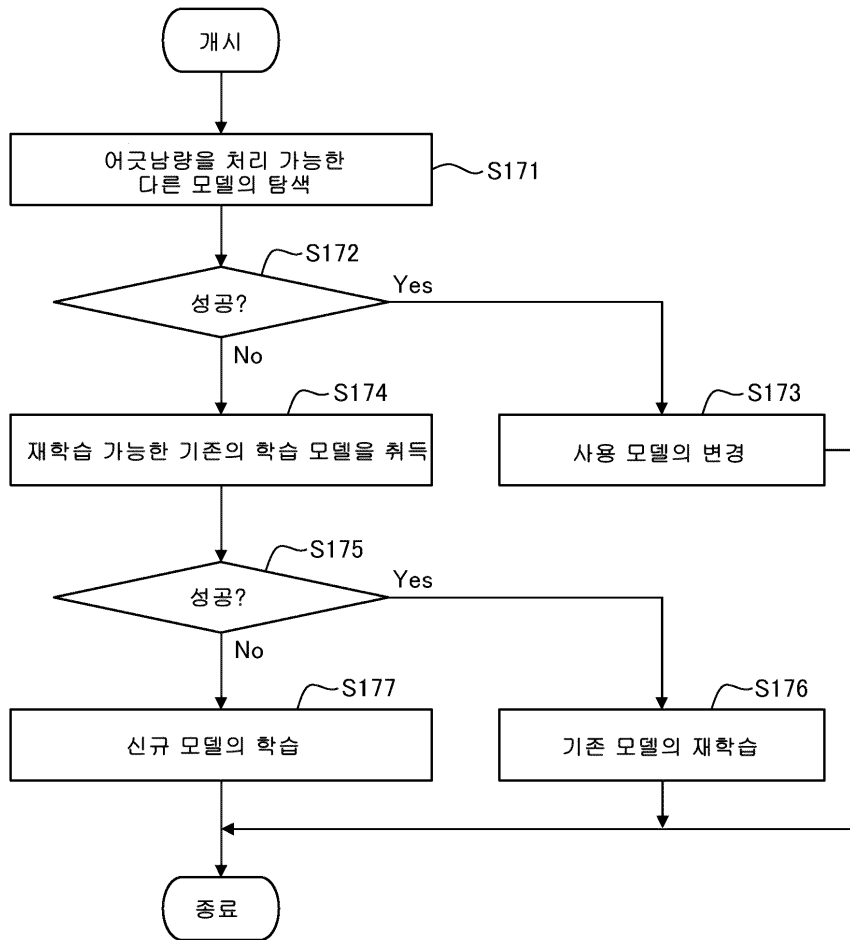
도면14



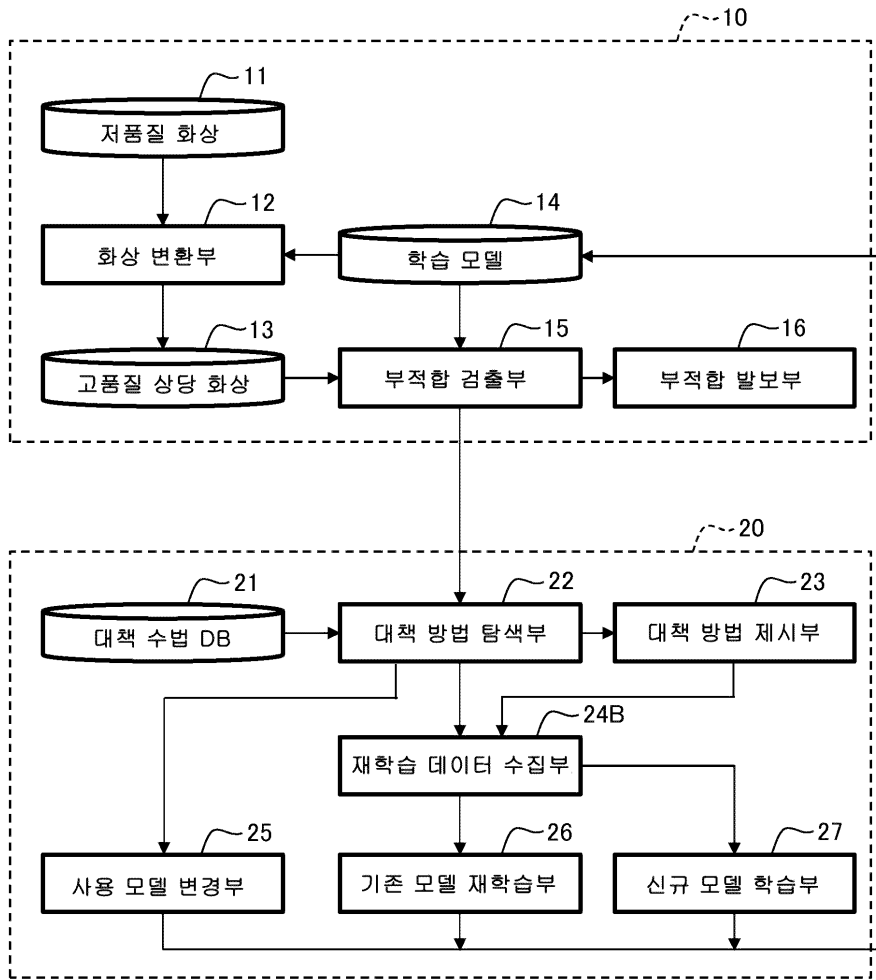
도면15



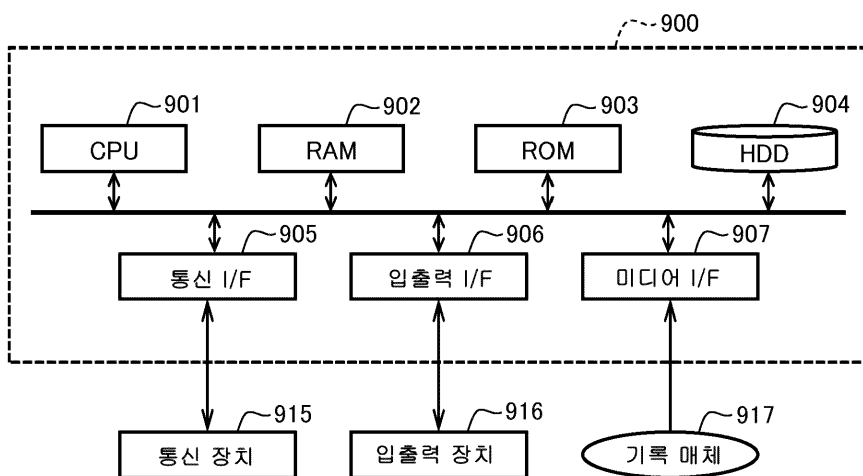
도면16



도면17



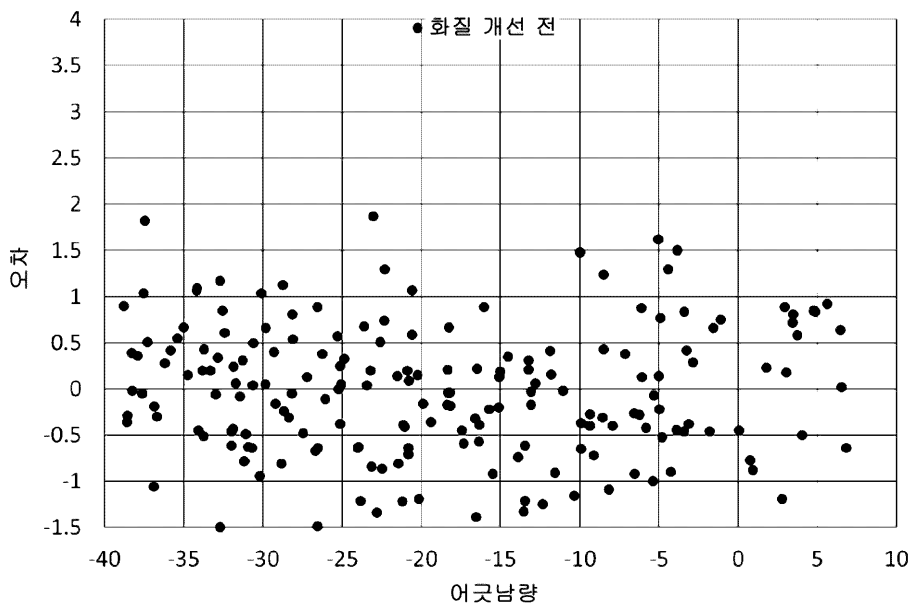
도면18



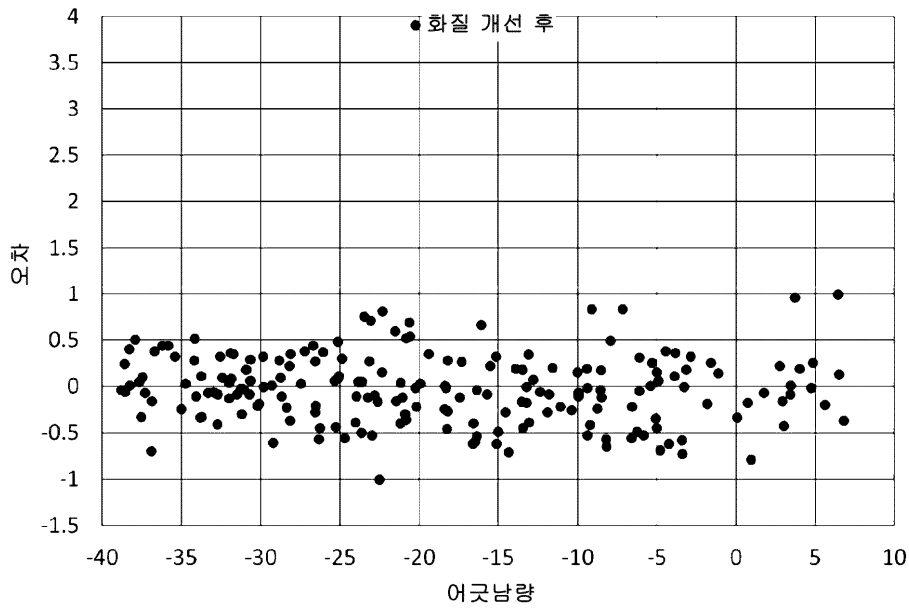
도면19

초기 학습 모델			학습 1회째		학습 2회째	
식별자	판정	저장처	판정	저장처	판정	저장처
-40	0		0		1	A005
-35	0		0		1	A006
-30	0		0		1	A007
-25	0		0		1	A008
-20	0		0		1	A009
-15	0		1	A003	1	A003
-10	0		1	A004	1	A004
-5	1	A001	1	A001	1	A001
0	1	A002	1	A002	1	A002
5	0		0		0	
10	0		0		0	

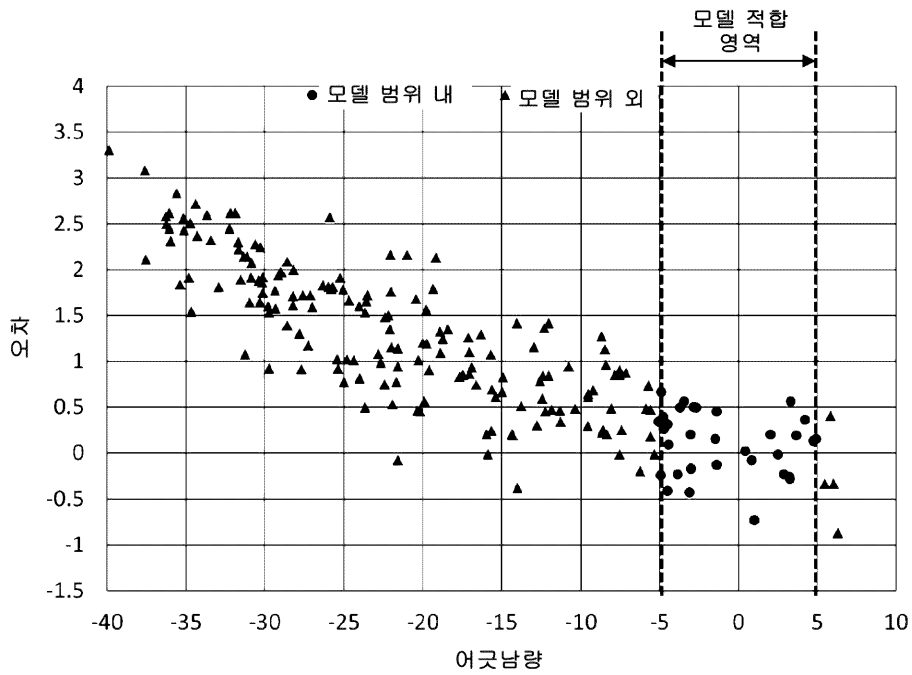
도면20



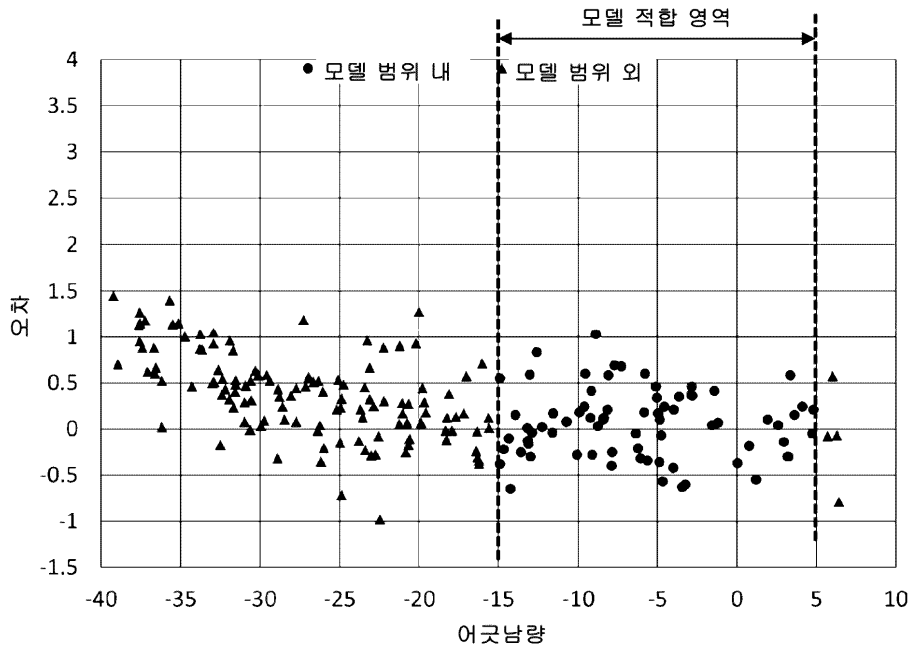
도면21



도면22



도면23



도면24

