(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년01월28일
(11) 등록번호 10-1942759
(24) 등록일자 2019년01월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06K 9/00 (2006.01) *G06K 9/48* (2006.01)
G06K 9/62 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G06K 9/00604 (2013.01)
G06K 9/00617 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0096547
(22) 출원일자 2017년07월28일
심사청구일자 2017년07월28일
(56) 선행기술조사문헌
Amine Kacete et. al., Real-time eye pupil localization using Hough regression forest, Applications of Computer Vision (WACV) 2016 IEEE Winter Conference on 1부*
Li Bai et. al., A Novel Eye Location Algorithm based on Radial Symmetry Transform, Pattern Recognition 2006 ICPR 2006. 18th International Conference on, (2006.11.18.) 1부*
NenadMarkus et. al., Eye pupil localization with an ensemble of randomized trees , Pattern Recognition 47 (2014) 578-587 1부*
Qiong Huang et. al., TabletGaze: Unconstrained Appearance-based Gaze Estimation in Mobile Tablets, Cornell University Library (2016.07.16.) 1부*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
계명대학교 산학협력단
대구광역시 달서구 달구벌대로 1095, 계명대학교 산학협력관 201호(신당동)
(72) 발명자
고병철
대구광역시 수성구 범어천로 107 (범어동, 범어 STX KAN) 103동 701호
남재열
대구광역시 수성구 수성로 412 수성보성타운 107동 503호
정미라
대구광역시 달서구 호산로 125 삼성명가타운 220동 1207호
(74) 대리인
김건우

전체 청구항 수 : 총 16 항 심사관 : 강현일

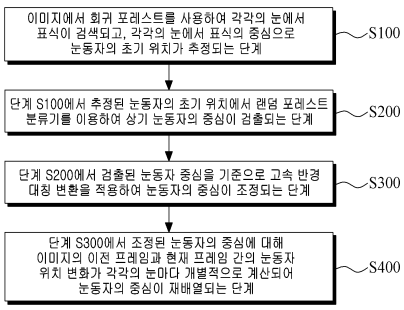
(54) 발명의 명칭 **근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법 및 시스템**

(57) 요 약

본 발명은 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 근적외선 카메라를 통해 촬영한 이미지에서 사용자의 눈동자를 검출하는 눈동자 검출 방법에 있어서, (1) 상기 이미지에서 회귀 포레스트를 사용하여 각각의 눈에서 표식이 검색되고, 상기 각각의

(뒷면에 계속)

대 표 도



눈에서 상기 표식의 중심으로 눈동자의 초기 위치가 추정되는 단계; (2) 상기 단계 (1)에서 추정된 눈동자의 초기 위치에서 랜덤 포레스트 분류기를 이용하여 상기 눈동자의 중심이 검출되는 단계; 및 (3) 상기 단계 (2)에서 검출된 눈동자 중심을 기준으로 고속 반경 대칭 변환을 적용하여 상기 눈동자의 중심이 조정되는 단계를 포함하는 것을 그 구성상의 특징으로 한다.

또한, 본 발명은 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 시스템에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 근적외선 카메라를 통해 촬영한 이미지에서 사용자의 눈동자를 검출하는 눈동자 검출 시스템에 있어서, 상기 이미지에서 회귀 포레스트를 사용하여 각각의 눈에서 표식이 검색되고, 상기 각각의 눈에서 상기 표식의 중심으로 눈동자의 초기 위치를 추정하는 추정부; 상기 초기 위치 추정부에서 추정한 눈동자의 초기 위치에서 랜덤 포레스트 분류기를 이용하여 상기 눈동자의 중심을 검출하는 검출부; 및 상기 검출부에서 검출한 눈동자 중심을 기준으로 고속 반경 대칭 변환을 적용하여 상기 눈동자의 중심을 조정하는 조정부를 포함하는 것을 그 구성상의 특징으로 한다.

본 발명에서 제안하고 있는 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법 및 시스템에 따르면, 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트 및 고속 반경 대칭 변환을 조합함으로써, 사용자의 안경에서 발생하는 조명, 노이즈 및 반사의 다양한 변화에 따른 눈동자 탐지와 관련된 한계를 극복할 수 있다.

또한, 본 발명에서 제안하고 있는 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법 및 시스템에 따르면, 이전 프레임과 현재 프레임간의 눈동자 위치 변화가 각각의 눈에 대해 개별적으로 계산됨으로써, 단일 프레임에서 발생하는 잘못된 위치 측정 결과에 대해 높은 정확도를 유지할 수 있다.

(52) CPC특허분류
G06K 9/481 (2013.01)
G06K 9/6202 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2016R1D1A1A09916581
부처명 교육부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 기본연구지원사업(후속연구지원)
연구과제명 자동차용 CCD 카메라를 이용한 주행중 보행자 경로 예측 및 사전 행동 예측 기술 개발
기 여 율 1/1
주관기관 계명대학교 산학협력단
연구기간 2016.11.01 ~ 2017.10.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

근적외선 카메라를 통해 촬영한 이미지에서 사용자의 눈동자를 검출하는, 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법에 있어서,

(1) 상기 이미지에서 회귀 포레스트를 사용하여 각각의 눈에서 표식이 검색되고, 상기 각각의 눈에서 상기 표식의 중심으로 눈동자의 초기 위치가 추정되는 단계;

(2) 상기 단계 (1)에서 추정된 눈동자의 초기 위치에서 랜덤 포레스트 분류기를 이용하여 상기 눈동자의 중심이 검출되는 단계; 및

(3) 상기 단계 (2)에서 검출된 눈동자 중심을 기준으로 고속 반경 대칭 변환을 적용하여 상기 눈동자의 중심이 조정되는 단계를 포함하며,

상기 단계 (3)은,

(3-1) 상기 단계 (2)에서 검출된 눈동자 중심을 기준으로 픽셀 패치가 생성되는 단계; 및

(3-2) 상기 픽셀 패치 내의 각각의 픽셀에서 그라디언트가 생성되고, 음의 방향으로 영향을 받은 픽셀을 이용하여 방향 투영 이미지 및 크기 프로젝션 이미지가 계산되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는, 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

(4) 상기 단계 (3)에서 조정된 눈동자의 중심에 대해 상기 이미지의 이전 프레임과 현재 프레임 간의 눈동자 위치 변화가 상기 각각의 눈마다 개별적으로 계산되어 상기 눈동자의 중심이 재배열되는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는, 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 단계 (4)는,

상기 이전 프레임과 현재 프레임에서 눈동자의 중심 위치가 다른 경우, 상기 이전 프레임의 눈동자의 중심 위치를 이용하여 상기 눈동자의 중심이 업데이트 되는 것을 특징으로 하는, 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 단계 (1)은,

7개의 안정 표식과 12개의 불안정 표식을 포함하는 표식에 의해 사용자의 얼굴이 검출되는 것을 특징으로 하는, 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 단계 (1)은,

상기 표식 중 상기 각각의 눈 주위에 4개의 표식이 추출되고, 상기 각각의 눈에서 상기 4개의 표식의 중심 위치

로 상기 눈동자의 초기 위치가 추정되는 것을 특징으로 하는, 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 단계 (2)는,

학습 샘플로 학습된 랜덤 포레스트 분류기로부터 출력되는 판별 트리의 2D 오프셋 벡터로부터 눈동자의 중심이 검출되는 것을 특징으로 하는, 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 단계 (2)는,

상기 판별 트리의 각각의 리프 노드에서 리프 노드의 모든 학습 샘플을 평균하여 2D 오프셋 벡터가 추정되는 것을 특징으로 하는, 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법.

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 단계 (3)은,

(3-3) 가우시안 필터 및 방향 기반 반경 대칭 사이의 컨볼루션을 이용하여 반경 대칭 기여도가 계산되고, 최대 반경 대칭 기여도를 갖는 픽셀이 상기 눈동자의 중심으로 조정되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는, 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법.

청구항 11

근적외선 카메라를 통해 촬영한 이미지에서 사용자의 눈동자를 검출하는, 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 시스템에 있어서,

상기 이미지에서 회귀 포레스트를 사용하여 각각의 눈에서 표식이 검색되고, 상기 각각의 눈에서 상기 표식의 중심으로 눈동자의 초기 위치를 추정하는 추정부;

상기 초기 위치 추정부에서 추정한 눈동자의 초기 위치에서 랜덤 포레스트 분류기를 이용하여 상기 눈동자의 중심을 검출하는 검출부; 및

상기 검출부에서 검출한 눈동자 중심을 기준으로 고속 반경 대칭 변환을 적용하여 상기 눈동자의 중심을 조정하는 조정부를 포함하며,

상기 조정부는,

상기 검출부에서 검출한 눈동자 중심을 기준으로 픽셀 패치를 생성하는 픽셀 패치 생성 모듈; 및

상기 픽셀 패치 내의 각각의 픽셀에서 그라디언트를 생성하고, 음의 방향으로 영향을 받은 픽셀을 이용하여 방향 투영 이미지 및 크기 프로젝션 이미지를 계산하는 이미지 계산 모듈을 포함하는 것을 특징으로 하는, 근적외

선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 시스템.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 조정부에서 조정된 눈동자의 중심에 대해 상기 이미지의 이전 프레임과 현재 프레임 간의 눈동자 위치 변화를 상기 각각의 눈마다 개별적으로 계산하여 상기 눈동자의 중심을 재배열하는 재배열부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는, 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 시스템.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 재배열부는,

상기 이전 프레임과 현재 프레임에서 눈동자의 중심 위치가 다른 경우, 상기 이전 프레임의 눈동자의 중심 위치를 이용하여 상기 눈동자의 중심을 업데이트하는 것을 특징으로 하는, 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 시스템.

청구항 14

제11항에 있어서, 상기 추정부는,

7개의 안정 표식과 12개의 불안정 표식을 포함하는 표식에 의해 사용자의 얼굴을 검출하는 것을 특징으로 하는, 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 시스템.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 추정부는,

상기 표식 중 상기 각각의 눈 주위에 4개의 표식을 추출하고, 상기 각각의 눈에서 상기 4개의 표식의 중심 위치로 상기 눈동자의 초기 위치를 추정하는 것을 특징으로 하는, 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 시스템.

청구항 16

제11항에 있어서, 상기 검출부는,

학습 샘플로 학습된 랜덤 포레스트 분류기로부터 출력되는 판별 트리의 2D 오프셋 벡터로부터 눈동자의 중심을 검출하는 것을 특징으로 하는, 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 시스템.

청구항 17

제16항에 있어서, 상기 검출부는,

상기 판별 트리의 각각의 리프 노드에서 리프 노드의 모든 학습 샘플을 평균하여 2D 오프셋 벡터를 추정하는 것을 특징으로 하는, 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 시스템.

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

제11항에 있어서, 상기 조정부는,

가우시안 필터 및 방향 기반 반경 대칭 사이의 컨볼루션을 이용하여 반경 대칭 기여도를 계산하고, 최대 반경 대칭 기여도를 갖는 픽셀을 상기 눈동자의 중심으로 조정하는 조정 모듈을 포함하는 것을 특징으로 하는, 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 눈동자 검출 방법 및 시스템에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 근적외선 영상에서 눈동자를 검출하고, 눈동자의 움직임을 추적하는 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 인간의 눈에 대한 눈동자 검출은 홍채 인식에 사용되는 게임 및 엔터테인먼트 생체 인식 시스템의 인간-기계 상호 작용(Human-Machine Interaction, HCI) 및 운전자 상태 모니터링(Driver State Monitoring, DSM) 시스템을 사용하는 운전자의 졸음 추정을 포함한 다양한 사업 분야에서 엄청난 수의 응용 분야를 가지고 있다. 눈동자 검출과 관련된 몇 가지 응용 분야의 연구는 운전자 상태 모니터링(DSM)에 중점을 두고 있다. 치명적인 충돌 사고의 2.4%가 졸음 운전자에 의한 것으로 보고되었으며, 눈동자 탐지는 실제 운전 중 운전자의 부주의 또는 졸음을 추정하는 가장 좋은 솔루션이기 때문이다.

[0003] 눈동자 검출은 카메라 디바이스에 따라 단안(Monocular) 및 적외선(Infra-Red, IR) 카메라 기반 검출의 2가지 카테고리로 분류될 수 있다. 단안 카메라 기반 방법은 단안 카메라가 헤드-마운트 디바이스와 달리 거슬리지 않으므로(Non-intrusive) 별도의 조명 장치가 필요하지 않아 특히 HCI 및 생체 인식 응용 분야에서 연구되었다. Sippl 등(et al.)은 편재형(Pervasive) 광고 시나리오에서 시각적 관심의 초점을 추정하기 위해 퍼블릭 디스플레이용 실시간 시선 추적 알고리즘을 제시했다. Markus 등은 랜덤 회귀(Randomized Regression)의 결합에 기초하여 눈동자 위치를 추정한다. 이 알고리즘을 사용하면, 얼굴 경계 박스가 먼저 감지되고, 눈 영역은 간단한 인체측정학적(Anthropometric) 관계를 이용하여 추정된다. 각각의 눈 영역은 멀티 스케일 트리 앙상블 체인(Chain of multi scale tree ensembles)을 사용하여 추정된다. Zhang 등은 시선 방향 추정을 위해 정규화된 공간에서 시선 각도로 검출된 2D 얼굴 각도와 눈 이미지로부터 맵핑을 학습하기 위해 회선 신경망(Convolutional Neural Network, CNN)을 사용한다. Vr등은 적분 및 에지 영상 투영 함수를 사용하여 눈 경계 박스를 결정한다. 눈 구성요소가 검색되고, 홍채의 상대 위치가 매칭 매커니즘을 통해 추출된다. Kacete 등은 병합 과정을 통해 피라미드 방식으로 허프(Hough) 공간에 투영된 랜덤 포레스트 출력으로부터 이미지 공간에서 2D 눈동자 위치를 추정한다. 이러한 접근법은 특정 응용 분야에 대해 강력한 결과를 보여주지만, 일부 접근법은 머리 자세와 대략적인 눈동자 위치 모두를 기반으로 시선 방향을 추정한다. 또한, 야간이나 균일하지 않은 광원 아래에서처럼 조명이 부족한 환경에서는 이러한 접근법이 효과적이지 않다.

[0004] 또 다른 접근법은 하나 이상의 조명기를 갖는 레인지 적외선 카메라를 채택한다. 몇 가지 연구가 각막과 눈동자 사이의 정반사(Specular Reflection)의 차이를 분석하여 눈동자 위치를 추정하는 데 집중되어 왔다. Yan 등은 반경 대칭 변환에 기반한 눈동자 중심 검출 알고리즘을 제안하였고, 적외선 이미지에서 제안된 알고리즘이 비대칭 휘도, 속눈썹, 머리카락 또는 안경으로 인해 추정을 감소시킬 수 있음을 증명했다. Gwon 등은 4개의 조명기와 근적외선(Near IR, NIR) 카메라를 사용하여 시선 추적 시스템을 제시했다. 초기 단계에서, 제안된 시스템은 사용자의 안경으로부터 반사되어 발생하는 모든 노이즈를 감소시키기 위해 저-노출 카메라를 사용하여 촬영한 이미지의 픽셀 수를 계산하고 순차적으로 조명기를 켜거나 끄도록 하여 사용자가 안경을 착용하고 있는지

여부를 결정한다. Vicente 등은 운전 환경에서 사용하기 위한 운전자 시선 추적 시스템을 제안했다. 이 시스템은 추적된 표식과 3D 얼굴 모델을 사용하여 머리 자세와 시선 방향을 계산한다. 이 시스템은 3D 지오메트릭 분석을 사용하여 운전자의 눈이 도로를 벗어났을 때를 감지한다. 정 등은 5단계로 구성된 가중 랜덤 포레스트 분류기(Weighted Random Forest Regressor, WRFR)를 사용하여 운전자의 머리 자세와 시선 방향을 추정한다. 이 가중 랜덤 포레스트 분류기를 사용하면 반복 단계가 증가함에 따라 각각 눈동자의 초기 위치가 목표 위치로 이동한다.

[0005] 이러한 알고리즘은 적외선 카메라의 한계를 극복하기 위해 여러 개의 조명기와 저-노출 카메라를 사용하지만, 주변 조명이나 조명기로 인한 사용자의 안경 표면의 반사 및 노이즈로 인해 시선 또는 눈동자 검출의 정확도가 낮아지는 문제점이 있었다.

[0006] 관련된 선행 기술로서, 한국 공개특허 제10-2005-0076893호 '졸음운전 경고 장치에서 운전자의 눈 영상 검출 장치 및 방법' 등이 제안된 바 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 기존에 제안된 방법들의 상기와 같은 문제점들을 해결하기 위해 제안된 것으로서, 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트 및 고속 반경 대칭 변환(Fast Radial Symmetry Transform, FRST)을 조합함으로써, 사용자의 안경에서 발생하는 조명, 노이즈 및 반사의 다양한 변화에 따른 눈동자 탐지와 관련된 한계를 극복할 수 있는, 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법 및 시스템을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0008] 또한, 본 발명은, 이전 프레임과 현재 프레임간의 눈동자 위치 변화가 각각의 눈에 대해 개별적으로 계산됨으로써, 단일 프레임에서 발생하는 잘못된 위치 측정 결과에 대해 높은 정확도를 유지할 수 있는, 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법 및 시스템을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 특징에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법은,

[0010] 근적외선 카메라를 통해 촬영한 이미지에서 사용자의 눈동자를 검출하는 눈동자 검출 방법에 있어서,

[0011] (1) 상기 이미지에서 회귀 포레스트를 사용하여 각각의 눈에서 표식이 검색되고, 상기 각각의 눈에서 상기 표식의 중심으로 눈동자의 초기 위치가 추정되는 단계;

[0012] (2) 상기 단계 (1)에서 추정된 눈동자의 초기 위치에서 랜덤 포레스트 분류기를 이용하여 상기 눈동자의 중심이 검출되는 단계; 및

[0013] (3) 상기 단계 (2)에서 검출된 눈동자 중심을 기준으로 고속 반경 대칭 변환을 적용하여 상기 눈동자의 중심이 조정되는 단계를 포함하는 것을 그 구성상의 특징으로 한다.

[0014] 바람직하게는,

[0015] (4) 상기 단계 (3)에서 조정된 눈동자의 중심에 대해 상기 이미지의 이전 프레임과 현재 프레임 간의 눈동자 위치 변화가 상기 각각의 눈마다 개별적으로 계산되어 상기 눈동자의 중심이 재배열되는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0016] 더욱 바람직하게는, 상기 단계 (4)는,

[0017] 상기 이전 프레임과 현재 프레임에서 눈동자의 중심 위치가 다른 경우, 상기 이전 프레임의 눈동자의 중심 위치를 이용하여 상기 눈동자의 중심이 업데이트 될 수 있다.

[0018] 바람직하게는, 상기 단계 (1)은,

[0019] 7개의 안정 표식과 12개의 불안정 표식을 포함하는 표식에 의해 사용자의 얼굴이 검출될 수 있다.

[0020] 더욱 바람직하게는, 상기 단계 (1)은,

[0021] 상기 표식 중 상기 각각의 눈 주위에 4개의 표식이 추출되고, 상기 각각의 눈에서 상기 4개의 표식의 중심 위치로 상기 눈동자의 초기 위치가 추정될 수 있다.

[0022] 바람직하게는, 상기 단계 (2)는,

[0023] 학습 샘플로 학습된 랜덤 포레스트 분류기로부터 출력되는 판별 트리의 2D 오프셋 벡터로부터 눈동자의 중심이 검출될 수 있다.

[0024] 더욱 바람직하게는, 상기 단계 (2)는,

[0025] 상기 판별 트리의 각각의 리프 노드에서 리프 노드의 모든 학습 샘플을 평균하여 2D 오프셋 벡터가 추정될 수 있다.

[0026] 바람직하게는, 상기 단계 (3)은,

[0027] (3-1) 상기 단계 (2)에서 검출된 눈동자 중심을 기준으로 픽셀 패치가 생성되는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0028] 더욱 바람직하게는, 상기 단계 (3)은,

[0029] (3-2) 상기 픽셀 패치 내의 각각의 픽셀에서 그라디언트가 생성되고, 음의 방향으로 영향을 받은 픽셀을 이용하여 방향 투영 이미지 및 크기 프로젝션 이미지가 계산될 수 있다.

[0030] 더욱더 바람직하게는, 상기 단계 (3)은,

[0031] (3-3) 가우시안 필터 및 방향 기반 반경 대칭 사이의 컨볼루션을 이용하여 반경 대칭 기여도가 계산되고, 최대 반경 대칭 기여도를 갖는 픽셀이 상기 눈동자의 중심으로 조정되는 단계를 포함할 수 있다.

[0032] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 특징에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 시스템은,

[0033] 근적외선 카메라를 통해 촬영한 이미지에서 사용자의 눈동자를 검출하는 눈동자 검출 시스템에 있어서,

[0034] 상기 이미지에서 회귀 포레스트를 사용하여 각각의 눈에서 표식이 검색되고, 상기 각각의 눈에서 상기 표식의 중심으로 눈동자의 초기 위치를 추정하는 추정부;

[0035] 상기 초기 위치 추정부에서 추정한 눈동자의 초기 위치에서 랜덤 포레스트 분류기를 이용하여 상기 눈동자의 중심을 검출하는 검출부; 및

[0036] 상기 검출부에서 검출한 눈동자 중심을 기준으로 고속 반경 대칭 변환을 적용하여 상기 눈동자의 중심을 조정하는 조정부를 포함하는 것을 그 구성상의 특징으로 한다.

[0037] 바람직하게는,

[0038] 상기 조정부에서 조정된 눈동자의 중심에 대해 상기 이미지의 이전 프레임과 현재 프레임 간의 눈동자 위치 변화를 상기 각각의 눈마다 개별적으로 계산하여 상기 눈동자의 중심을 재배열하는 재배열부를 더 포함할 수 있다.

[0039] 더욱 바람직하게는, 상기 재배열부는,

[0040] 상기 이전 프레임과 현재 프레임에서 눈동자의 중심 위치가 다른 경우, 상기 이전 프레임의 눈동자의 중심 위치를 이용하여 상기 눈동자의 중심을 업데이트할 수 있다.

[0041] 바람직하게는, 상기 추정부는,

[0042] 7개의 안정 표식과 12개의 불안정 표식을 포함하는 표식에 의해 사용자의 얼굴을 검출할 수 있다.

[0043] 더욱 바람직하게는, 상기 추정부는,

[0044] 상기 표식 중 상기 각각의 눈 주위에 4개의 표식을 추출하고, 상기 각각의 눈에서 상기 4개의 표식의 중심 위치로 상기 눈동자의 초기 위치를 추정할 수 있다.

[0045] 바람직하게는, 상기 검출부는,

[0046] 학습 샘플로 학습된 랜덤 포레스트 분류기로부터 출력되는 판별 트리의 2D 오프셋 벡터로부터 눈동자의 중심을 검출할 수 있다.

[0047] 더욱 바람직하게는, 상기 검출부는,

[0048] 상기 판별 트리의 각각의 리프 노드에서 리프 노드의 모든 학습 샘플을 평균하여 2D 오프셋 벡터를 추정할 수 있다.

[0049] 바람직하게는, 상기 조정부는,

[0050] 상기 검출부에서 검출한 눈동자 중심을 기준으로 픽셀 패치를 생성하는 픽셀 패치 생성 모듈을 더 포함할 수 있다.

[0051] 더욱 바람직하게는, 상기 조정부는,

[0052] 상기 픽셀 패치 내의 각각의 픽셀에서 그라디언트를 생성하고, 음의 방향으로 영향을 받은 픽셀을 이용하여 방향 투영 이미지 및 크기 프로젝션 이미지를 계산하는 이미지 계산 모듈을 포함할 수 있다.

[0053] 더욱더 바람직하게는, 상기 조정부는,

[0054] 가우시안 필터 및 방향 기반 반경 대칭 사이의 컨볼루션을 이용하여 반경 대칭 기여도를 계산하고, 최대 반경 대칭 기여도를 갖는 픽셀을 상기 눈동자의 중심으로 조정하는 조정 모듈을 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0055] 본 발명에서 제안하고 있는 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자

검출 방법 및 시스템에 따르면, 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트 및 고속 반경 대칭 변환(Fast Radial Symmetry Transform, FRST)을 조합함으로써, 사용자의 안경에서 발생하는 조명, 노이즈 및 반사의 다양한 변화에 따른 눈동자 탐지와 관련된 한계를 극복할 수 있다.

[0056] 또한, 본 발명에서 제안하고 있는 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법 및 시스템에 따르면, 이전 프레임과 현재 프레임간의 눈동자 위치 변화가 각각의 눈에 대해 개별적으로 계산됨으로써, 단일 프레임에서 발생하는 잘못된 위치 측정 결과에 대해 높은 정확도를 유지할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0057] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법의 구성을 도시한 도면.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법의 개요를 나타낸 도면.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법에서 눈동자의 초기 위치가 추정되는 예시를 도시한 도면.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법에서 단계 S300의 구성을 나타낸 도면.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법에서 눈동자의 중심이 조정되는 모습을 도시한 도면.

도 6은 종래의 데이터 세트 및 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법이 적용되는 KMUPD 데이터 세트를 도시한 도면.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법에서 데이터 세트의 반복에 대한 지점간 거리 및 처리 속도를 도시한 그래프.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법의 성능을 비교한 도면.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법의 성능을 비교한 그래프.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법의 검출 결과를 도시한 도면.

도 11은 본 발명의 다른 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 시스템의 구성을 도시한 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0058] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명을 용이하게 실시할 수 있도록 바람직한 실시예를 상세히 설명한다. 다만, 본 발명의 바람직한 실시예를 상세하게 설명함에 있어, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략한다. 또한, 유사한 기능 및 작용을 하는 부분에 대해서는 도면 전체에 걸쳐 동일 또는 유사한 부호를 사용한다.

[0059] 덧붙여, 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 '연결' 되어 있다고 할 때, 이는 '직접적으로 연결' 되어 있는 경우뿐만 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 '간접적으로 연결' 되어 있는 경우도 포함한다. 또한, 어떤 구성요소를 '포함' 한다는 것은, 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있다는 것을 의미한다.

[0060] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법의 구성을 도시한 도면이다. 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법은, 근적외선 카메라를 통해 촬영한 이미지에서 사용자의 눈동자를 검출하는 눈동자 검출 방법에 있어서, 이미지에서 회귀 포레스트를 사용하여 각각의 눈에서 표식이 검색되고, 각각의 눈에서 표식의 중심으로 눈동자의 초기 위치가 추정되는 단계(S100), 단계 S100에서 추정된 눈동자의 초기 위치에서 랜덤 포레스트 분류기를 이용하여 상기 눈동자의 중심이 검출되는 단계(S200), 및 단계 S200에서 검출된 눈동자 중심을 기준으로 고속 반경 대칭 변환을 적용하여 눈동자의 중심이 조정되는 단계(S300)를 포함할 수 있으며, 단계 S300에서 조정된 눈동자의 중심에 대해 이미지의 이전 프레임과 현재 프레임 간의 눈동자 위치 변화가 각각의 눈마다 개별적으로 계산되어 눈동자의 중심이 재배열되는 단계(S400)를 더 포함할 수 있다.

[0061] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법의 개요를 나타낸 도면이다. 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법은, 눈동자 탐지 시 사용자의 안경에서 발생하는 다양한 조명, 노이즈 및 반사 변화에 따른 한계를 극복하기 위해, 캐스케이드 회귀 포레스트(Cascade Regression Forest) 및 고속 반경 대칭 변환(Fast Radial Symmetry Transform, FRST)의 결합에 의해 눈동자를 검출할 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법은, 근적외선 카메라를 이용하여 조명의 변화에 영향을 받지 않을 수 있다.

[0062] 먼저 도 2의 (a)를 참조하면, 회귀 포레스트(Regression Forest) 방법을 이용하여 각각의 눈에서 표식이 검색될 수 있다. 여기서, 2개의 눈동자의 초기 위치는 눈 주위에 4개의 표식의 중심으로 추정될 수 있다. 도 2의 (b)를 참조하면, 눈동자의 초기 위치가 추정된 후, 가중 랜덤 포레스트 분류기(WRFR)를 이용하여 눈동자의 중심이 검출될 수 있다. 이때, 눈동자의 중심은 대략적인 중심이며, 실제 눈동자의 중심을 찾기 위해 조정이 필요하다. 또한, 노이즈가 많은 저-해상도 이미지에서 눈동자의 중심을 보다 정확하게 검출하기 위해, FRST가 적용되어 눈동자의 중심이 조정될 수 있다. 그리고 도 2의 (c)를 참조하면, 이전 프레임과 현재의 프레임의 눈동자 위치 변화를 이용하여 안정화가 수행된다. 마지막으로 도 2의 (d)를 참조하면, 최종적인 눈동자의 중심이 검출될 수 있다. 이하에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법의 각각의 구성에 대해 상세히 설명하기로 한다.

[0063] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법에서 눈동자의 초기 위치가 추정되는 예시를 도시한 도면이다. 도 3에 도시된 바와 같이, 단계 S100에서는, 이미지에서 회귀 포레스트를 사용하여 각각의 눈에서 표식이 검색되고, 각각의 눈에서 표식의 중심으로 눈동자의 초기 위치가 추정될 수 있다. 종래의 눈 검출기(Eye Detector)는 머리 자세나 조명 변화에 민감하기 때문에, 얼굴 영역에서 눈 영역을 정확하게 검출하기 어렵다. 따라서 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법은, 눈 영역을 보다 정확하게 검출하기 위해 GFM(Global Face Model)을 사용하는 로컬 가중 랜덤 포레스트 분류기(Local Weighted Random Forest Regressor)를 기반으로 한 표식 검색 방법을 사용한다.

[0064] 도 3의 (a)를 참조하면, 단계 S100에서는, 7개의 안정 표식과 12개의 불안정 표식을 포함하는 표식에 의해 사용자의 얼굴이 검출될 수 있다. 여기서, 안정 표식은 그 위치가 얼굴 표정에 의해 변화하지 않으며, 불안정 표식은 얼굴의 표정에 따라 바뀔 수 있다. 표식이 얼굴 검출 및 평균 얼굴 매칭에 기초하여 결정된 후에, 가중 랜덤 포레스트 분류기가 표식을 얼굴에 위치시키는 데 사용될 수 있다. 여기서, 랜덤 포레스트 분류기를 학습시키기 위해, 학습 샘플은 IOB(In-Of-Bag) 및 OOB(Out-Of-Bag)의 서브 세트로 구분될 수 있다. IOB 서브 세트는 각각의 판별 트리를 생성하기 위해 배깅(Bagging) 방법을 이용하여 선택되는 반면, OOB 서브 세트는 IOB 서브 세트에서 판별 트리 학습의 분류 성능을 평가하는 데 사용될 수 있으며, 정확도를 기반으로 각각의 판별 트리의

가중치를 생성할 수 있다. IOB 및 OOB를 사용하여 가중 포레스트 분류기를 학습시키는 방법은 [알고리즘 1]에서 후술하여 설명한다.

[0065] 가중 랜덤 포레스트 분류기를 학습시킨 후, 판별 트리의 각각의 리프 노드는 리프 노드의 모든 학습 샘플을 이용하여 2D 오프셋 벡터를 추정하고 저장할 수 있다. 회귀가 각각의 표식에 적용된 후, 표식은 얼굴 변화를 설명하는 서로 다른 표식의 공간 관계를 기반으로 구성된 GFM을 사용하여 조정될 수 있다. 도 3의 (b)를 참조하면, 단계 S100에서는, 표식 중 각각의 눈 주위에 4개의 표식이 추출될 수 있다. 그리고 도 3의 (c)를 참조하면, 단계 S100에서는, 각각의 눈에서 4개의 표식의 중심 위치로 눈동자의 초기 위치가 추정될 수 있다.

[0066] 2개의 눈동자에 대한 초기 위치가 추정된 후, 눈동자의 중심을 정확하고 간결하게 검출하기 위해, 2개의 방법이 순차적으로 결합될 수 있다. 먼저, 눈동자의 초기 위치에 랜덤 포레스트 분류기를 적용하여 눈동자의 중심을 대략적으로 검출하고, 이후 고속 반경 대칭 변환을 적용하여 눈동자의 중심을 조정할 수 있다.

[0067] 단계 S200에서는, 단계 S100에서 추정된 눈동자의 초기 위치에서 랜덤 포레스트 분류기를 이용하여 눈동자의 중심이 검출될 수 있다. 보다 구체적으로, 단계 S200에서는, 눈동자의 초기 위치를 중심으로 로컬 패치(Local Patch)가 생성될 수 있다. 실시예에 따라서는, 이 로컬 패치의 크기는 계산 시간을 줄이기 위해 0 단계에서 2 단계까지 점차 감소할 수 있다. 각각의 모든 단계에서, 로컬 패치는 4 x 4 크기의 겹치지 않는 블록으로 나뉠 수 있다. 단계 0에서 로컬 패치의 크기는 90 픽셀 x 90 픽셀이고, 단계 1에서는 60 픽셀 x 60 픽셀, 단계 2에서는 40 픽셀 x 40 픽셀일 수 있다. 로컬 패치의 각각의 블록으로부터 8차원 중심 대칭 로컬 바이너리 패턴(OCS-LBP)이 추출되고, 각각의 단계의 특징이 연결되어 가중 랜덤 포레스트 분류기에 대한 판별 트리의 분할 함수(Spliting Function)가 생성될 수 있다. 또한, 학습 샘플 생성 시 포함된 아웃라이어(Outlier)를 제거하기 위해, RANSAC(Random Sampling Consensus)가 판별 트리 생성 도중 적용된다. 눈동자의 중심을 검출하기 위한 가중 포레스트 분류기를 학습시키는 방법은 다음의 [알고리즘 1]과 같이 수행될 수 있다.

[0068] [알고리즘 1]

[0069] P: 랜덤 포레스트 분류기에서 성장하기를 원하는 판별 트리의 수

[0070] Q: 학습 세트

[0071] IOB: In-Of-Bag

[0072] OOB: Out-Of-Bag

[0073] 제1 루프(Loop) 시작: p가 1부터 1단위로 증가하여 P가 될 때까지 반복된다.

[0074] 배깅을 사용하여 80%의 학습 세트 Q에서 IOB를 선택한다.

[0075] 나머지 학습 세트를 OOB에 할당한다.

[0076] IOB를 사용하여 판별 트리를 성장시킨다.

[0077] 1. 판별 트리는 깊이 R까지 성장한다.

[0078] 2. RANSAC을 수행한다.

[0079] 인라이어(Inlier) 샘플을 선택한다.

[0080] 3. p번째 판별 트리의 오프셋을 추정한다.

[0081] 인라이어 샘플만을 사용하여 2D 오프셋 벡터를 예측한다.

[0082] 제1 루프 종료

[0083] 4. 트리 제거

[0084] 제2 루프 시작: p가 1부터 1단위로 증가하여 P가 될 때까지 반복된다.

[0085] 가중 랜덤 포레스트를 수행한다.

[0086] 제2 루프 종료

[0087] 5. 판별 트리 가중

[0088] 판별 트리의 정확도(가중치)를 조정한다.

[0089] 6. 가중 랜덤 포레스트 분류기의 출력

[0090] 눈동자 중심에 대한 가중 포레스트 분류기는 가중된 판별 트리와 각각의 판별 트리의 2D 오프셋 벡터로 구성된다.

[0091] 가중 포레스트 분류기를 학습시킨 후, 단계 S200에서는, 학습 샘플로 학습된 랜덤 포레스트 분류기로부터 출력되는 판별 트리의 2D 오프셋 벡터로부터 눈동자의 중심이 검출될 수 있다. 또한, 단계 S200에서는, 판별 트리의 각각의 리프 노드에서 리프 노드의 모든 학습 샘플을 평균하여 2D 오프셋 벡터가 추정될 수 있다. 테스트 시간 동안, 눈 영역 E의 테스트 샘플은 각각의 판별 트리의 하나의 리프 노드에 도달하고, 모든 판별 트리의 리프 노드에서 2D 오프셋의 가중 합이 계산될 수 있다. 단계 t에서 가중 랜덤 포레스트 분류기에 기초하여 추정된 2D 오프셋 벡터 $r^t(E, p^{t-1})$로부터, 새로운 눈동자의 중심 p^t는 다음의 수학식 1에 의해 캐스케이드 방식으로 업데이트될 수 있다.

수학식 1

[0092] $$p^t = p^{t-1} + r^t(E, p^t), \quad t = 0, \ldots, 2$$

[0093] 여기서, p^t는 눈동자의 중심, t는 각각의 단계, $r^t(E, p^t)$는 2D 오프셋 벡터, E는 눈 영역이다. 따라서 도 2의 (b)를 참조하면, 단계가 증가함에 따라 p^t가 업데이트되면서 눈동자의 중심이 검출될 수 있다.

[0094] 단계 S300에서는, 단계 S200에서 검출된 눈동자 중심을 기준으로 고속 반경 대칭 변환을 적용하여 눈동자의 중심이 조정될 수 있다. 고속 반경 대칭 변환은 반경 대칭이 높은 포인트를 검출하는 간단하고 빠른 그라디언트(Gradient) 기반 연산자이다. 고속 반경 대칭 변환은 반경 대칭 영역 검출에 효율적일 수 있다. 특히, 눈동자 영역은 어두운 점과 밝은 점으로 구성되기 때문에, 회색 그라디언트의 방향을 조정함으로써 눈동자의 중심을 쉽게 검출할 수 있다. 그러나 고속 반경 대칭 변환은 영상의 해상도가 낮거나, 빛의 반사가 있거나, 노이즈가 있는 경우 그라디언트를 정확하게 검출할 수 없는 문제점이 있다. 따라서 먼저 가중 랜덤 포레스트 분류기를 사용하여 눈동자의 중심을 검출한 후, 고속 반경 대칭 변환이 적용되어 눈동자의 중심을 조정할 수 있다.

[0095] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법에서 단계 S300의 구성을 나타낸 도면이다. 도 4에 도시된 바와 같이, 단계 S300은, 단계 S200에서 검출된 눈동자 중심을 기준으로 픽셀 패치가 생성되는 단계(S310), 픽셀 패치 내의 각각의 픽셀에서 그라디언트가 생성되고, 음의 방향으로 영향을 받은 픽셀을 이용하여 방향 투영 이미지 및 크기 프로젝션 이미지가 계산되는 단계(S320), 및 가우시안 필터 및 방향 기반 반경 대칭 사이의 컨볼루션을 이용하여 반경 대칭 기여도가 계산되고, 최대 반경 대칭 기여도를 갖는 픽셀이 눈동자의 중심으로 조정되는 단계(S330)를 포함할 수 있다. 이하에서는, 각각의 구성에 대해 상세히 설명하기로 한다.

[0096] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법에서 눈동자의 중심이 조정되는 모습을 도시한 도면이다. 도 5에 도시된 바와 같이, 단계

S310에서는, 단계 S200에서 검출된 눈동자 중심을 기준으로 픽셀 패치가 생성될 수 있다. 여기서, 픽셀 패치의 크기는 20 픽셀 x 20 픽셀일 수 있다. 이때, 눈동자의 그라디언트 방향은 어두운 안쪽과 밝은 바깥쪽으로 구성되기 때문에 음의 방향을 가지게 된다.

[0097] 단계 S320에서는, 픽셀 패치 내의 각각의 픽셀에서 그라디언트가 생성되고, 음의 방향으로 영향을 받은 픽셀을 이용하여 방향 투영 이미지 및 크기 투영 이미지가 계산될 수 있다. 도 5를 참조하면, 단계 S320에서는, 먼저 픽셀 패치의 각각의 픽셀에서 그라디언트 g를 생성하고, 음의 방향으로 영향을 받은 픽셀 P_{-ve}를 이용하여 방향 투영 이미지 On 및 크기 투영 이미지 Mn을 계산할 수 있다. 이러한 과정은 n<N을 만족하는 n에서 수행될 수 있다. 여기서, N은 검출될 대칭 특징(Symmetric Feature)의 반지름의 집합이다.

[0098] 단계 S330에서는, 가우시안 필터 및 방향 기반 반경 대칭 사이의 컨볼루션을 이용하여 반경 대칭 기여도가 계산되고, 최대 반경 대칭 기여도를 갖는 픽셀이 눈동자의 중심으로 조정될 수 있다. n의 모든 반경에서 반경 대칭 기여도 S_n은 가우시안 필터 A_n과 방향 기반 반경 대칭 $F_n(p)$ 사이의 컨볼루션(Convolution)을 이용하여 계산될 수 있다. 도 5를 참조하면, 반경 n이 3일 때 고속 반경 대칭 변환의 프로세스가 도시되어 있다. 단계 S300에서 수행되는 전체 변환은 다음의 수학식 2와 같이 모든 반경에 대한 대칭 기여도의 평균으로 정의될 수 있다.

수학식 2

[0099] $$S = \frac{1}{|N|}\sum_{n \in N} S_n$$

[0100] 여기서, S는 대칭 기여도의 평균, N은 검출될 대칭 특징의 반지름의 집합, S_n은 반경 대칭 기여도이다. 단계 S330에서는, 몇몇 상위 S들 중에서 눈동자의 중심으로서 최대 기여도를 갖는 픽셀이 눈동자의 중심으로 조정될 수 있다.

[0101] 단계 S400에서는, 단계 S300에서 조정된 눈동자의 중심에 대해 이미지의 이전 프레임과 현재 프레임 간의 눈동자 위치 변화가 각각의 눈마다 개별적으로 계산되어 눈동자의 중심이 재배열될 수 있다. 보다 구체적으로, 단계 S400에서는, 이전 프레임과 현재 프레임에서 눈동자의 중심 위치가 다른 경우, 이전 프레임의 눈동자의 중심 위치를 이용하여 눈동자의 중심이 업데이트될 수 있다. 단계 S300에서, 각각의 눈동자에 대한 최대 기여도를 선택한 후, 다음의 알고리즘 2의 매칭 규칙에 따라 각각의 눈동자의 위치가 재배열될 수 있다.

[0102] [알고리즘 2]

[0103] S_L: 왼쪽 눈동자 중심의 최대 기여도

[0104] S_R: 오른쪽 눈동자 중심의 최대 기여도

[0105] T: 기여의 임계값

[0106] 1. S_L이 T보다 크고 S_R이 T보다 큰 경우 // 정상적인 기여

[0107] 재배열 없이 S_L 및 S_R를 눈동자의 중심으로 사용한다.

[0108] 2. SL이 T보다 작은 경우 // 왼쪽 눈의 비정상적인 기여

[0109] 2.1. 이전 (t-1) 프레임의 눈동자 중심과 오른쪽 눈의 최대 기여도 S_r 위치 사이의 변위 벡터 $d_r=[dx_r, dy_r]$를 계산한다.

[0110] 2.2. 이전 (t-1) 프레임의 눈동자의 중심과 왼쪽 눈의 상위 5개의 기여도 위치 사이의 후보 변위 벡터의 세트를

D_l={d_{l1}, d_{l2}, ..., d_{l5}}로 만든다.

[0111] 2.3. d_r 및 D_l 사이의 가장 작은 중첩 오류를 찾는다.

[0112] $$dist = \min_{D_{li}} \| d_r - d_{li} \|_2^2$$

[0113] 2.4. (t-1)의 왼쪽 눈동자의 중심+dist를 왼쪽 눈의 눈동자의 중심으로 설정한다.

[0114] 3. S_r이 T보다 작은 경우 // 오른쪽 눈의 비정상적인 기여

[0115] 오른쪽 눈에 단계 2와 동일한 규칙을 적용한다.

[0116] 4. SL이 T보다 작고 SR이 T보다 작은 경우 // 2개의 눈의 비정상적인 기여

[0117] 고속 반경 대칭 변환을 사용하지 않고 가중 랜덤 포레스트 분류기에서 검출한 눈동자의 중심을 사용한다.

[0118] 도 6은 종래의 데이터 세트 및 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법이 적용되는 KMUPD 데이터 세트를 도시한 도면이다. 도 6의 (a)를 참조하면, BioID, MPIIGaze 데이터 세트, Columbia Gaze 세트, Gi4e 및 PoG와 같이 정지 이미지에서 시선 또는 눈동자 검출을 위해 개발된 많은 데이터 세트가 있다. 그러나 이러한 데이터 세트로는 머리 자세와 조명 조건의 변화에 관계없이 실제 환경에서 눈동자 검출 방법을 평가할 수 없으므로, 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법을 평가하기 위한 새로운 데이터 세트가 필요하다. 이때, 새로운 데이터 세트는 저가의 하드웨어를 사용하고 다양한 시선 방향이 수집된 비디오 시퀀스를 포함해야 하며, 전면을 바라보는 대상을 포함하는 다른 데이터 세트와 달라야 한다. 따라서 도 6의 (b)에 도시된 바와 같이, 저가형 근적외선 카메라를 기반으로 계명대학교 눈동자 검출(KeiMyung University Pupil Detection, KMUPD) 데이터 세트가 생성되었다. KMUPD는 웹사이트(http://cvpr.kmu.ac.kr/KMUPD.htm)에서 다운로드할 수 있다. 여기서, 지점간 거리(Point-to-Point Distance Metric) e에 대한 수학식 3에 의해 눈동자의 중심 위치의 정확도가 측정될 수 있다.

수학식 3

[0119] $$e = \frac{\max\{D_L, D_R\}}{D}$$

[0120] 여기서, D_L 및 D_R은 검출된 눈동자의 중심에서 왼쪽 눈과 오른쪽 눈의 지상 검증 자료(Ground Truth)까지의 유클리드 거리를 나타내며, D는 눈동자의 중심의 검증 자료 사이의 유클리드 거리이다.

[0121] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법에서 데이터 세트의 반복에 대한 지점간 거리 및 처리 속도를 도시한 그래프이다. 캐스케이드 회기 기반 접근법에서, 정확도 및 처리 속도는 회귀 수에 크게 의존한다. 따라서 정확도와 처리 속도를 향상시키기 위해 반복 횟수를 결정하는 것이 중요하다. 최적의 반복 수 T를 추정하기 위해 로컬 패치의 크기를 10에서 20으로 늘림으로써, T를 1에서 6으로 증가시켰다. 여기서 1은 눈금 크기 {10}을 의미하고, 2는 {10, 30}, 3은 {10, 30, 50}, 4는 {10, 30, 50, 70}이고, 5는 {10, 30, 50 , 70, 90} 및 6은 {10, 30, 50, 70, 90, 110}이다. 도 7에 도시된 바와 같이, 평균 거리 M-e는 반복 횟수가 증가함에 따라 감소한다. 그러나 반복 횟수 T가 5를 넘으면, 평균 거리 M-e에 대해 6가지 경우 중 가장 낮은 성능을 보인다. 대조적으로, 처리 시간은 반복 횟수와 반대로 T가 증가하면 선형적으로 증가하는 경향을 보인다. 따라서 T의 반복 회수를 3으로 선택함으로써, 정확도와 속도 측면에서 최상의 효율성을 가질 수 있다.

[0122] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법의 성능을 비교한 도면이다. 눈동자 검출 성능을 비교하기 위해, 평균 M-e, 표준 편차 Sd-e,

중앙값(Median) Md-e가 이용될 수 있다. 도 8의 (a)를 참조하면, 고속 반경 대칭 변환(FRST)에 기반한 접근법, 랜덤 트리의 조합에 기반한 접근법, 방향 히스토그램을 이용한 에지 필터링을 사용하는 ExCuSe, 및 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법의 Me, Sd-e 및 Md-e가 도시되어 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법의 M-e, Sd-e, Md-e는 각각 0.024, 0.016, 0.022이며, 시간 보정과 함께 가중 랜덤 포레스트 분류기와 고속 반경 대칭 변환의 결합이 눈동자의 중심에 대한 오차를 줄이는 데 중요한 요소임을 추론할 수 있다. 도 8의 (b)를 참조하면, 세 가지 다른 픽셀 오류에 대한 평균적인 눈동자의 중심 검출 비율이 추정된다. 도 8의 (b)에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법에서 M-e가 0.05보다 작을 때 평균 탐지율이 95.4%로 다른 방법을 사용할 때 얻은 결과와 비교하여 가장 좋은 결과를 가진다.

[0123] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법의 성능을 비교한 그래프이다. 도 9에 도시된 바와 같이, 가중 랜덤 포레스트 분류기(WRFR), 고속 반경 대칭 변환(FRST) 및 시간적 변위(Temporal Displacement, TD)가 결합된 방법은 M-e의 관점에서 다른 경우보다 낮은 오차를 가진다. 여기서, 시간적 변위는 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법에서 단계 S400에 따른 재배열 과정을 의미한다. 단계 S400까지 포함하는 눈동자 검출 방법(WRFR+FRST+TD)은, 단계 S300까지 포함하는 눈동자 검출 방법(WRFR+FRST)보다 0.0069ms 낮은 속도를 보여주지만, 처리 속도의 차이가 심각하지 않은 경우 정확한 눈동자 검출이 처리 속도보다 중요할 수 있다.

[0124] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법의 검출 결과를 도시한 도면이다. 도 10에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법은 머리 자세 또는 조명의 변화에 관계없이 눈동자의 중심이 검출될 수 있다.

[0125] 도 11은 본 발명의 다른 실시예에 따른 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 시스템의 구성을 도시한 도면이다. 도 11에 도시된 바와 같이, 근적외선 카메라를 통해 촬영한 이미지에서 사용자의 눈동자를 검출하는 눈동자 검출 시스템에 있어서, 이미지에서 회귀 포레스트를 사용하여 각각의 눈에서 표식이 검색되고, 각각의 눈에서 표식의 중심으로 눈동자의 초기 위치를 추정하는 추정부(100); 추정부(100)에서 추정한 눈동자의 초기 위치에서 랜덤 포레스트 분류기를 이용하여 눈동자의 중심을 검출하는 검출부(200); 및 검출부(200)에서 검출한 눈동자 중심을 기준으로 고속 반경 대칭 변환을 적용하여 눈동자의 중심을 조정하는 조정부(300)를 포함하고, 조정부(300)에서 조정된 눈동자의 중심에 대해 이미지의 이전 프레임과 현재 프레임 간의 눈동자 위치 변화를 상기 각각의 눈마다 개별적으로 계산하여 눈동자의 중심을 재배열하는 재배열부(400)를 더 포함할 수 있다.

[0126] 추정부(100)는, 7개의 안정 표식과 12개의 불안정 표식을 포함하는 표식에 의해 사용자의 얼굴을 검출할 수 있으며, 표식 중 각각의 눈 주위에 4개의 표식을 추출하고, 각각의 눈에서 상기 4개의 표식의 중심 위치로 상기 눈동자의 초기 위치를 추정할 수 있다.

[0127] 검출부(200)는, 학습 샘플로 학습된 랜덤 포레스트 분류기로부터 출력되는 판별 트리의 2D 오프셋 벡터로부터 눈동자의 중심을 검출하고, 판별 트리의 각각의 리프 노드에서 리프 노드의 모든 학습 샘플을 평균하여 2D 오프셋 벡터를 추정할 수 있다.

[0128] 조정부(300)는, 검출부(200)에서 검출한 눈동자 중심을 기준으로 픽셀 패치를 생성하는 픽셀 패치 생성 모듈(310), 픽셀 패치 내의 각각의 픽셀에서 그라디언트를 생성하고, 음의 방향으로 영향을 받은 픽셀을 이용하여 방향 투영 이미지 및 크기 투영 이미지를 계산하는 이미지 계산 모듈(320), 및 가우시안 필터 및 방향 기반 반

경 대칭 사이의 컨볼루션을 이용하여 반경 대칭 기여도를 계산하고, 최대 반경 대칭 기여도를 갖는 픽셀을 상기 눈동자의 중심으로 조정하는 조정 모듈(330)을 더 포함할 수 있다.

[0129] 재배열부(400)는, 이전 프레임과 현재 프레임에서 눈동자의 중심 위치가 다른 경우, 이전 프레임의 눈동자의 중심 위치를 이용하여 상기 눈동자의 중심을 업데이트할 수 있다.

[0130] 전술한 바와 같이, 본 발명에서 제안하고 있는 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법 및 시스템에 따르면, 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트 및 고속 반경 대칭 변환을 조합함으로써, 사용자의 안경에서 발생하는 조명, 노이즈 및 반사의 다양한 변화에 따른 눈동자 탐지와 관련된 한계를 극복할 수 있다. 또한, 본 발명에서 제안하고 있는 근적외선 영상에서 랜덤 포레스트와 고속 반경 대칭 변환의 결합을 이용한 눈동자 검출 방법 및 시스템에 따르면, 이전 프레임과 현재 프레임간의 눈동자 위치 변화가 각각의 눈에 대해 개별적으로 계산됨으로써, 단일 프레임에서 발생하는 잘못된 위치 측정 결과에 대해 높은 정확도를 유지할 수 있다.

[0131] 이상 설명한 본 발명은 본 발명이 속한 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의하여 다양한 변형이나 응용이 가능하며, 본 발명에 따른 기술적 사상의 범위는 아래의 청구범위에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0132] 100: 추정부

200: 검출부

300: 조정부

310: 픽셀 패치 생성 모듈

320: 이미지 계산 모듈

330: 조정 모듈

400: 재배열부

S100: 이미지에서 회귀 포레스트를 사용하여 각각의 눈에서 표식이 검색되고, 각각의 눈에서 표식의 중심으로 눈동자의 초기 위치가 추정되는 단계

S200: 단계 S100에서 추정된 눈동자의 초기 위치에서 랜덤 포레스트 분류기를 이용하여 상기 눈동자의 중심이 검출되는 단계; 및

S300: 단계 S200에서 검출된 눈동자 중심을 기준으로 고속 반경 대칭 변환을 적용하여 눈동자의 중심이 조정되는 단계

S310: 단계 S200에서 검출된 눈동자 중심을 기준으로 픽셀 패치가 생성되는 단계

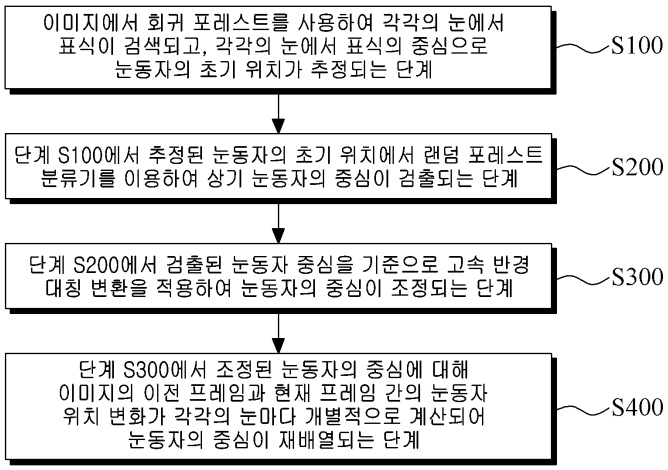
S320: 픽셀 패치 내의 각각의 픽셀에서 그라디언트가 생성되고, 음의 방향으로 영향을 받은 픽셀을 이용하여 방향 투영 이미지 및 크기 투영 이미지가 계산되는 단계

S330: 가우시안 필터 및 방향 기반 반경 대칭 사이의 컨볼루션을 이용하여 반경 대칭 기여도가 계산되고, 최대 반경 대칭 기여도를 갖는 픽셀이 눈동자의 중심으로 조정되는 단계

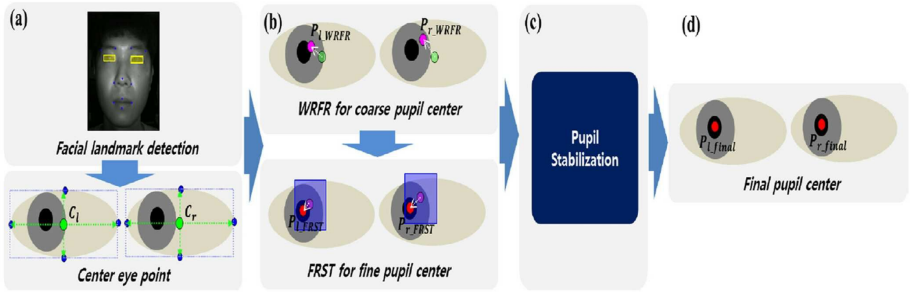
S400: 단계 S300에서 조정된 눈동자의 중심에 대해 이미지의 이전 프레임과 현재 프레임 간의 눈동자 위치 변화가 각각의 눈마다 개별적으로 계산되어 눈동자의 중심이 재배열되는 단계

도면

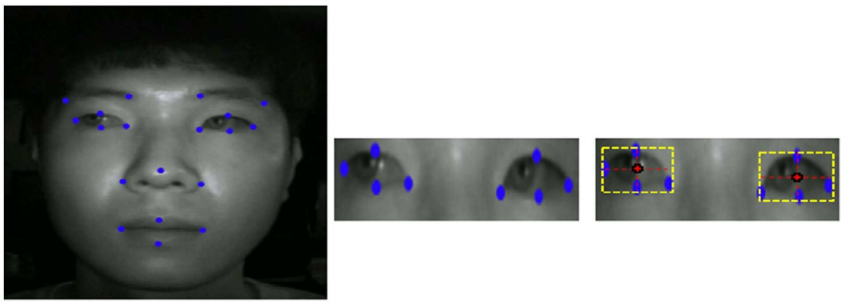
도면1



도면2

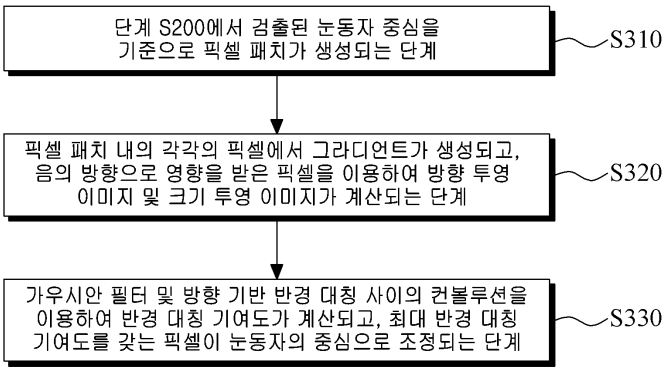


도면3

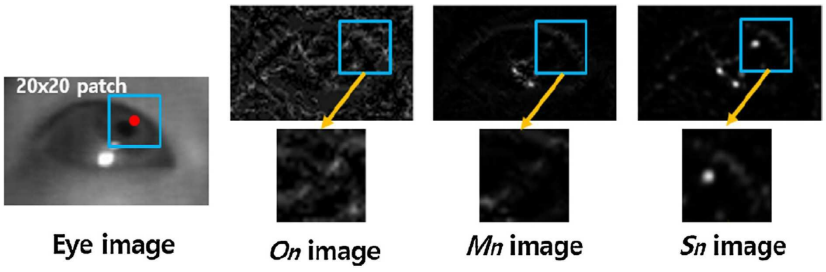


(a) (b) (c)

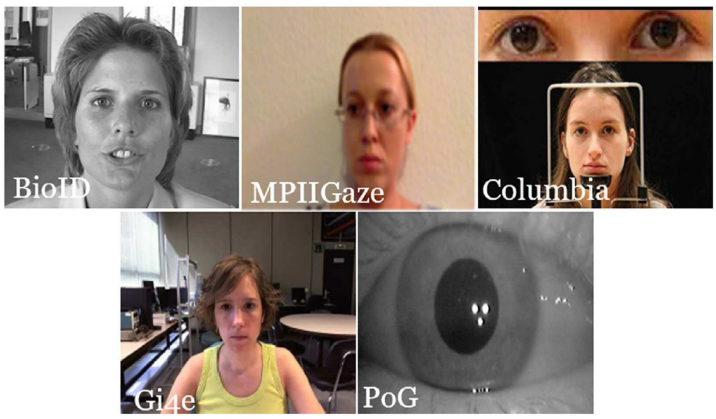
도면4



도면5



도면6



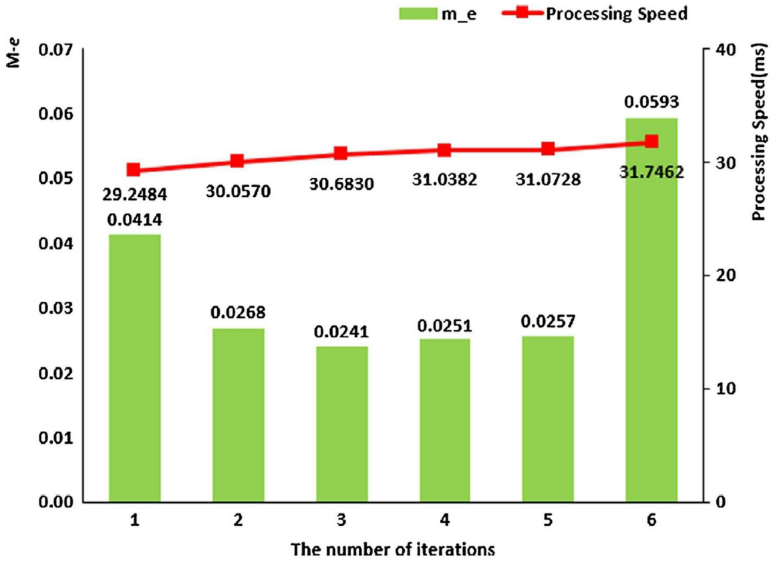
(a)

Condition	Video No.	Total frames	User	Gaze direction
(Indoor, various lightening)	1	5197	Female	Front: 9 Gaze position Yaw (−15, +15): 9 Gaze position Roll (−15, +15): 9 Gaze position Pitch (−15, +15): 9 Gaze position
	2	5200	Male	
	3	5525	Male, Glasses	
	4	5737	Male	
	5	5180	Male	
	6	6145	Male, Glasses	

KMUPD

(b)

도면7



도면8

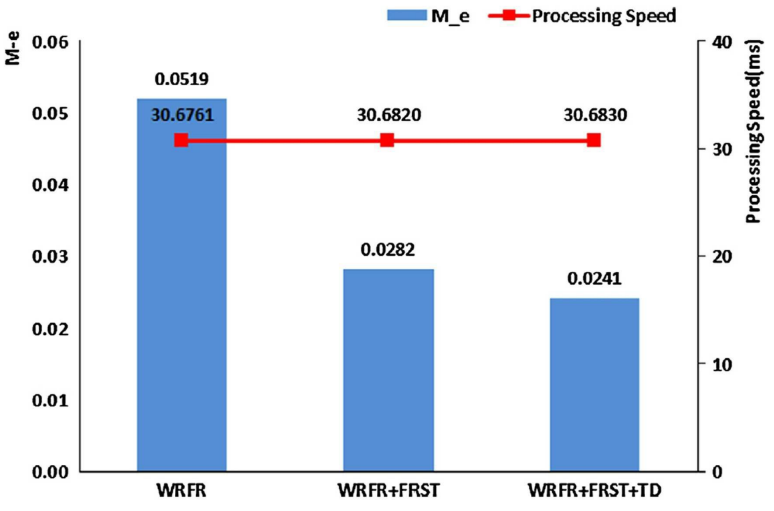
Algorithm	M-*e*	Sd-*e*	Md-*e*
FRST	0.064	0.059	0.042
ERT	0.059	0.028	0.0571
ExCuSe	0.197	0.110	0.195
Proposed Method	0.024	0.016	0.022

(a)

Algorithm	M-e ⩽ 0.05	M-e ⩽ 0.10	M-e ⩽ 0.15
FRST	60.9%	75.7%	83.6%
ERT	67.4%	90.0%	93.5% 1
ExCuSe	59.1%	65.4%	71.2%
Proposed Method	95.4%	99.8%	99.9%

(b)

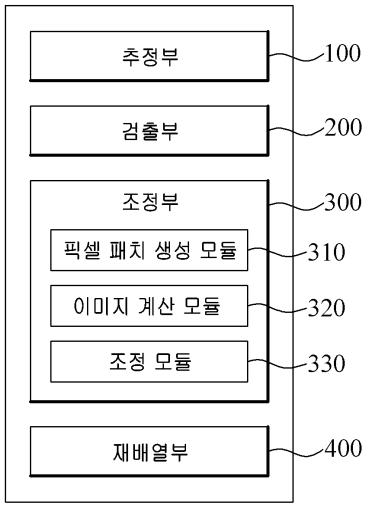
도면9



도면10



도면11


추정부
100
검출부
200
조정부
300
픽셀 패치 생성 모듈
310
이미지 계산 모듈
320
조정 모듈
330
재배열부
400