



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년05월28일
(11) 등록번호 10-2258578
(24) 등록일자 2021년05월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06T 7/00 (2017.01) G06T 3/40 (2006.01)
G06T 7/11 (2017.01)
(52) CPC특허분류
G06T 7/001 (2013.01)
G06T 3/40 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0131505
(22) 출원일자 2019년10월22일
심사청구일자 2019년10월22일
(65) 공개번호 10-2021-0047646
(43) 공개일자 2021년04월30일
(56) 선행기술조사문헌
"Digital Image Correlation with Dynamic Subset Selection", Optics and Lasers in Engineering, Volume 84, 2016.09.
"Study on subset size selection in digital image correlation for speckle patterns", Optics Express Vol. 16, Issue 10, 2008.05.

(73) 특허권자
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
안윤규
서울특별시 동대문구 장안벚꽃로 167, 217동 1302호 (장안동, 래미안장안2차아파트)
강명수
서울특별시 성동구 왕십리로 36, 106동 1301호 (성수동1가, 강변 건영아파트)
(74) 대리인
특허법인엠에이피에스

전체 청구항 수 : 총 8 항

심사관 : 신재철

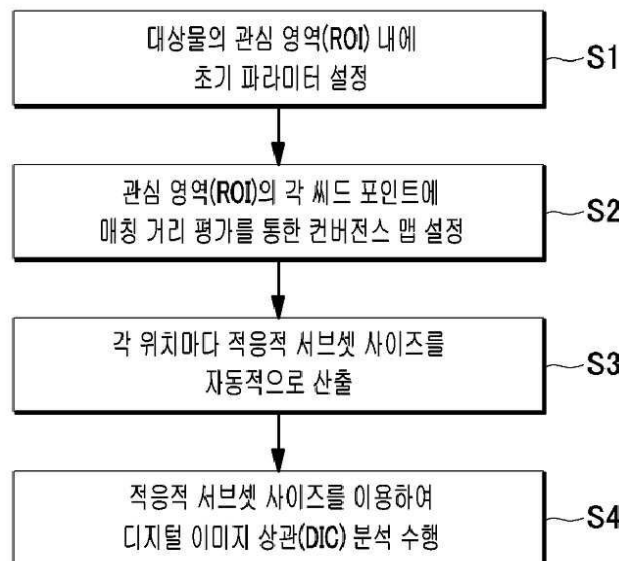
(54) 발명의 명칭 데이터 분석 시스템 및 적응적 서브셋 크기를 이용한 디지털 이미지 상관 해석 방법

(57) 요약

본 발명은 데이터 분석 시스템 및 이를 이용한 적응적 서브셋 크기를 이용한 디지털 이미지 상관 해석 방법에 관한 것으로서, 대상물의 변형을 해석하기 위한 데이터 분석 시스템에 의해 수행되는 디지털 이미지 상관 해석 방법은, a) 스펙클 패턴(speckle pattern)이 형성된 대상물의 표면에서 기설정된 시간 간격으로 하나 이상의 기준

(뒷면에 계속)

대표도 - 도3



이미지를 획득하고, 상기 기준 이미지들을 이용하여 중복없이 2장의 이미지를 선택하는 경우의 수를 산출하고, 상기 2장의 이미지 중 어느 하나의 기준 이미지 상에 설정된 관심 영역에 기설정된 간격으로 씨드 포인트(Seed point)를 설정하고, 각 씨드 포인트를 중심으로 기설정된 크기의 기준 서브셋(Subset)을 설정하는 단계; b) 대상 이미지의 관심 영역을 상기 기준 서브셋에 대응되는 대상 서브셋으로 분할하고, 상기 대상 서브셋과 상기 기준 서브셋과의 서브셋 매칭 알고리즘을 수행하여 매칭된 서브셋과 기준 서브셋 간의 매칭 거리를 계산하고, 상기 매칭 거리가 수렴하는 시점의 컨버징 사이즈를 각 씨드 포인트별로 반복적으로 결정하여 컨버전스 맵(Convergence map)을 생성하는 단계; c) 상기 산출된 경우의 수에 따라 다수의 컨버전스 맵을 산출하고, 상기 산출된 컨버전스 맵에 대해 각 씨드 포인트 별 컨버징 사이즈의 평균에 표준 편차를 더하여 적응적 서브셋 크기를 결정하는 단계; 및 d) 상기 적응적 서브셋 크기를 이용하여 상기 기준 이미지와 대상 이미지간의 디지털 이미지 상관(Digital Image Correlation, DIC) 해석을 수행하여 대상물의 변형으로 인해 발생한 서브셋의 변위를 추적하는 단계를 포함하되, 상기 서브셋 매칭 알고리즘은, 상기 기준 서브셋의 크기를 단계적으로 증가시키면서 상기 기준 서브셋과 대상 이미지 간의 상호 상관성을 계산하여 상관 계수로 표현하고, 최대 상관 계수를 가지는 픽셀의 위치가 상기 기준 서브셋과 매칭되는 대상 서브셋의 위치로 판단하는 것이다.

(52) CPC특허분류

G06T 7/11 (2017.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711085792
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	구조물 손상 진단을 위한 Deep Learning 기반의 Laser Speckle Photography 기법
기 여 율	1/1
과제수행기관명	세종대학교
연구기간	2019.03.01 ~ 2020.02.29

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

대상물의 변형을 해석하기 위한 데이터 분석 시스템에 의해 수행되는 적응적 서브셋 크기를 이용한 디지털 이미지 상관 해석 방법에 있어서,

- a) 스펙클 패턴(speckle pattern)이 형성된 대상물의 표면에서 기설정된 시간 간격으로 하나 이상의 기준 이미지를 획득하고, 상기 기준 이미지들을 이용하여 중복없이 2장의 이미지를 선택하는 경우의 수를 산출하고, 상기 2장의 이미지 중 어느 하나의 기준 이미지 상에 설정된 관심 영역에 기설정된 간격으로 씨드 포인트(Seed point)를 설정하고, 각 씨드 포인트를 중심으로 기설정된 크기의 기준 서브셋(Subset)을 설정하는 단계;
- b) 대상 이미지의 관심 영역을 상기 기준 서브셋에 대응되는 대상 서브셋으로 분할하고, 상기 대상 서브셋과 상기 기준 서브셋과의 서브셋 매칭 알고리즘을 수행하여 매칭된 서브셋과 기준 서브셋 간의 매칭 거리를 계산하고, 상기 매칭 거리가 수렴하는 시점의 컨버전스 사이즈를 각 씨드 포인트별로 반복적으로 결정하여 컨버전스 맵(Convergence map)을 생성하는 단계;
- c) 상기 산출된 경우의 수에 따라 다수의 컨버전스 맵을 산출하고, 상기 산출된 컨버전스 맵에 대해 각 씨드 포인트 별 컨버전스 사이즈의 평균에 표준 편차를 더하여 적응적 서브셋 크기를 결정하는 단계; 및
- d) 상기 적응적 서브셋 크기를 이용하여 상기 기준 이미지와 대상 이미지간의 디지털 이미지 상관(Digital Image Correlation, DIC) 해석을 수행하여 대상물의 변형으로 인해 발생한 서브셋의 변위를 추적하는 단계를 포함하되,

상기 서브셋 매칭 알고리즘은,

상기 기준 서브셋의 크기를 단계적으로 증가시키면서 상기 기준 서브셋과 대상 이미지 간의 상호 상관성을 계산하여 상관 계수로 표현하고, 최대 상관 계수를 가지는 픽셀의 위치가 상기 기준 서브셋과 매칭되는 대상 서브셋의 위치로 판단하는 것인, 적응적 서브셋 크기를 이용한 디지털 이미지 상관 해석 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 기준 서브셋(S_i)은 하기 수학적 식 1에 의해 크기를 결정하고, 상기 씨드 포인트 간의 간격은 상기 기준 서브셋 크기의 최소값보다 작게 설정되는 것인, 적응적 서브셋 크기를 이용한 디지털 이미지 상관 해석 방법.

[수학적 식 1]

$$S_i = (2M_j + 1) \times (2M_j + 1)$$

M_j

: 크기 파라미터, $j=1, 2, 3, \dots, m$

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 서브셋 매칭 알고리즘은,

하기 수학적 식 2로 표현되는 정규 상호 상관(Normalized Cross Correlation, NCC) 알고리즘을 사용하여 상관 계수(C_{NCC})를 산출하는 것인, 적응적 서브셋 크기를 이용한 디지털 이미지 상관 해석 방법.

[수학식 2]

$$C_{NCC} = \sum_{a=-M_j}^{M_j} \sum_{b=-M_j}^{M_j} \left[\frac{f(x_a, y_b) - f_m \times (g(x'_a, y'_b) - g_m)}{\Delta f \Delta g} \right]$$

$$f_m = \frac{1}{(2M_j + 1)^2} \sum_{a=-M_j}^{M_j} \sum_{b=-M_j}^{M_j} f(x_a, y_b)$$

$$g_m = \frac{1}{(2M_j + 1)^2} \sum_{a=-M_j}^{M_j} \sum_{b=-M_j}^{M_j} g(x'_a, y'_b)$$

$$\Delta f = \sqrt{\sum_{a=-M_j}^{M_j} \sum_{b=-M_j}^{M_j} [f(x_a, y_b) - f_m]^2}$$

$$\Delta g = \sqrt{\sum_{a=-M_j}^{M_j} \sum_{b=-M_j}^{M_j} [g(x'_a, y'_b) - g_m]^2}$$

M_j

: 크기 파라미터, $j=1, 2, 3, \dots, m$

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 서브셋 매칭 알고리즘은,

상기 기준 서브셋의 크기를 단계적으로 증가시키면서 상기 NCC 알고리즘을 수행하는 반복적인 연산 과정을 통해 상기 최대 상관 계수를 가지는 픽셀의 위치가 일정하면 상기 매칭 거리가 수렴하게 되어 적응적 서브셋의 컨버징 사이즈로 결정하는 것인, 적응적 서브셋 크기를 이용한 디지털 이미지 상관 해석 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 매칭 거리(D_i)는 하기 수학식 3에 의해 계산되는 것인, 적응적 서브셋 크기를 이용한 디지털 이미지 상관 해석 방법.

[수학식 3]

$$D_i = \sqrt{(x_i - x'_i)^2 + (y_i - y'_i)^2}$$

x_i, y_i

(,) : 기준 서브셋(S_i)의 씨드 포인트(O_i)의 픽셀 위치 좌표

x'_i, y'_i

(,) : 매칭된 대상 서브셋(S'_i)의 씨드 포인트(O'_i)의 픽셀 위치 좌표

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 서브셋 매칭 알고리즘은,

상기 매칭 거리(D_i)의 기울기가 '0'이 되는 시작 지점을 기준으로 컨버징 사이즈를 결정하고, 각 씨드 포인트마

다 매칭 거리에 기초하여 컨버징 사이즈를 결정하여 상기 컨버전스 맵을 산출하는 것인, 디지털 이미지 상관 해석 방법.

청구항 7

대상물의 변형을 해석하기 위한 데이터 분석 시스템에 있어서,

대상물의 관심 영역(Region Of Interest, ROI) 내 모든 영역에 대하여 위치마다 적응적 서브셋 크기를 이용한 디지털 이미지 상관 해석 방법을 수행하기 위한 프로그램이 기록된 메모리; 및

상기 프로그램을 실행하기 위한 프로세서를 포함하며,

상기 프로세서는, 상기 프로그램의 실행에 의해,

스펙클 패턴(speckle pattern)이 형성된 대상물의 표면에서 기설정된 시간 간격으로 하나 이상의 기준 이미지를 획득하고, 상기 기준 이미지들을 이용하여 중복없이 2장의 이미지를 선택하는 경우의 수를 산출하고, 상기 2장의 이미지 중 어느 하나의 기준 이미지 상에 설정된 관심 영역에 기설정된 간격으로 씨드 포인트(Seed point)를 설정하고, 각 씨드 포인트를 중심으로 기설정된 크기의 기준 서브셋(Subset)을 설정하고,

대상 이미지의 관심 영역을 상기 기준 서브셋에 대응되는 대상 서브셋으로 분할하고, 상기 대상 서브셋과 상기 기준 서브셋과의 서브셋 매칭 알고리즘을 수행하여 매칭된 서브셋과 기준 서브셋 간의 매칭 거리를 계산하고, 상기 매칭 거리가 수렴하는 시점의 컨버징 사이즈를 각 씨드 포인트별로 반복적으로 결정하여 컨버전스 맵(Convergence map)을 생성하고,

상기 산출된 경우의 수에 따라 다수의 컨버전스 맵을 산출하고, 상기 산출된 컨버전스 맵에 대해 각 씨드 포인트 별 컨버징 사이즈의 평균에 표준 편차를 더하여 적응적 서브셋 크기를 결정하고,

상기 적응적 서브셋 크기를 이용하여 상기 기준 이미지와 대상 이미지간의 디지털 이미지 상관(Digital Image Correlation, DIC) 해석을 수행하여 대상물의 변형으로 인해 발생한 서브셋의 변위를 추적하되,

상기 서브셋 매칭 알고리즘은, 상기 기준 서브셋의 크기를 단계적으로 증가시키면서 상기 기준 서브셋과 대상 이미지 간의 상호 상관성을 계산하여 상관 계수로 표현하고, 최대 상관 계수를 가지는 픽셀의 위치가 상기 기준 서브셋과 매칭되는 대상 서브셋의 위치로 판단하는 것인, 데이터 분석 시스템.

청구항 8

제 1 항에 따른 적응적 서브셋 크기를 이용한 디지털 이미지 상관 해석 방법을 수행하는 프로그램이 기록된 컴퓨터 판독가능 기록매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 디지털 이미지 상관 해석을 위한 서브셋 크기를 자동으로 최적화할 수 있는 데이터 분석 시스템 및 적응적 서브셋 크기를 이용한 디지털 이미지 상관 해석 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근에는 대상 구조물의 재료 및 균열을 측정하는 비파괴 검사 방식으로, 디지털 이미지 상관법(Digital Image Correlation, DIC)이 확대되고 있다. DIC는 주변 환경의 제약이 적고 비접촉적인 방법으로 평가 대상물의 전체 영역에 대하여 변형 및 운동을 평가하는 기법으로서, 변위와 변형의 구배장을 얻기 위하여 디지털 이미지 프로세싱 기법을 사용하는 것이다.

[0003] 구체적으로, DIC는 대상물의 표면에서의 변형을 영상으로 획득된 이미지에서의 측정 표면에 대한 그레이 세기(grey intensity) 변화를 비교하여 평가하는 것이다. 이를 위해, 측정하고자 하는 대상물 표면의 변형은 평가 알고리즘을 충분히 반영할 수 있도록 그레이 강도의 변화 정보가 주어져야 하므로, 일반적으로 대상물의 해석하고자 하는 영역에 인공적인 랜덤한 패턴, 즉 스펙클 패턴을 형성한다. 스펙클 패턴(speckle pattern)은 에어 스프레이 건을 이용하여 해석 평가 표면에 임의의 크고 작은 형상을 페인팅하여 형성한다.

[0004] DIC의 평가 알고리즘들에는 SSSIG, 서브셋 엔트로피, 명암도 동시 발생 행렬을 이용하는 기법들이 있다.

- [0005] 서브셋 강도 그래디언트의 제곱근의 합(Sum of square of subset intensity gradient, SSSIG) 기법은 서브셋 내의 스펙클 패턴 그래디언트(Speckle pattern gradients)를 계산한 후 임의의 임계값을 설정하여 관심 영역(Region Of Interest, ROI)내 균일한 단일 서브셋 크기를 결정하는 방법이다.
- [0006] 서브셋 엔트로피(Subset entropy) 기법은 설정된 기준점을 중심으로 8개의 이웃 픽셀들의 그레이 강도(Gray intensity)의 편차의 절대값 합으로 엔트로피를 계산하여 ROI내 균일한 단일 서브셋 크기를 결정하는 방법이다.
- [0007] 명암도 동시발생 행렬(Gray-level co-occurrence matrix) 기법은 이미지 내의 특정 거리의 두 서브셋의 픽셀 회색 강도의 조합을 이용하여 오프셋(Offset)이라고 하는 파라미터를 계산하여 ROI내 균일한 단일 서브셋 크기를 결정하는 방법이다.
- [0008] 이와 같이, 종래 기술에 따른 DIC의 평가 알고리즘들은 공통적으로 이미지 내의 특정 위치에서 스펙클 패턴을 평가하여 모든 영역에 일괄적으로 적용할 단일 서브셋 크기를 산출한다. 특히 스펙클 패턴이 모든 영역에서 균일하게 분포되어 있다고 가정하기 때문에 스펙클 패턴이 공간적으로 편향될 경우, 산출된 서브셋 크기를 적용하여 DIC 수행을 하더라도 오류가 발생할 수 있다는 한계점이 있다. 또한 서브셋 크기를 결정하기 위한 임계값을 설정하는 데에 있어 사용자의 주관적인 개입이 필수적이기 때문에 결과의 신뢰도를 하락시키는 요인으로 작용한다는 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0009] (특허문헌 0001) 미국 공개 특허 제 20160154926 호(발명의 명칭 : DIGITAL IMAGE CORRELATION SYSTEM AND METHOD, 디지털 이미지 상관 시스템과 방법)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명은 전술한 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따라 스펙클 패턴의 편향 정도에 상관없이 ROI 내의 모든 위치마다 디지털 이미지 상관 해석에 적합한 각기 다른 적응적 서브셋 크기를 산출함으로써 전문가의 주관적 개입 없이 디지털 이미지 상관 해석을 수행하는 위치마다 필요한 서브셋 크기를 최적화할 수 있고, 미세한 변형에 대한 디지털 이미지 상관 해석의 정확도를 높일 수 있도록 하는 것에 목적이 있다.
- [0011] 다만, 본 실시예가 이루고자 하는 기술적 과제는 상기된 바와 같은 기술적 과제로 한정되지 않으며, 또 다른 기술적 과제들이 존재할 수 있다.

과제의 해결 수단

- [0012] 상기한 기술적 과제를 달성하기 위한 기술적 수단으로서 본 발명의 일 실시예에 따른 대상물의 변형을 해석하기 위한 데이터 분석 시스템에 의해 수행되는 적응적 서브셋 크기를 이용한 디지털 이미지 상관 해석 방법에 있어서, a) 스펙클 패턴(speckle pattern)이 형성된 대상물의 표면에서 기설정된 시간 간격으로 하나 이상의 기준 이미지를 획득하고, 상기 기준 이미지들을 이용하여 중복없이 2장의 이미지를 선택하는 경우의 수를 산출하고, 상기 2장의 이미지 중 어느 하나의 기준 이미지 상에 설정된 관심 영역에 기설정된 간격으로 씨드 포인트(Seed point)를 설정하고, 각 씨드 포인트를 중심으로 기설정된 크기의 기준 서브셋(Subset)을 설정하는 단계; b) 대상 이미지의 관심 영역을 상기 기준 서브셋에 대응되는 대상 서브셋으로 분할하고, 상기 대상 서브셋과 상기 기준 서브셋과의 서브셋 매칭 알고리즘을 수행하여 매칭된 서브셋과 기준 서브셋 간의 매칭 거리를 계산하고, 상기 매칭 거리가 수렴하는 시점의 컨버전 사이즈를 각 씨드 포인트별로 반복적으로 결정하여 컨버전스 맵(Convergence map)을 생성하는 단계; c) 상기 산출된 경우의 수에 따라 다수의 컨버전스 맵을 산출하고, 상기 산출된 컨버전스 맵에 대해 각 씨드 포인트 별 컨버전 사이즈의 평균에 표준 편차를 더하여 적응적 서브셋 크기를 결정하는 단계; 및 d) 상기 적응적 서브셋 크기를 이용하여 상기 기준 이미지와 대상 이미지간의 디지털 이미지 상관(Digital Image Correlation, DIC) 해석을 수행하여 대상물의 변형으로 인해 발생한 서브셋의 변위를 추적하는 단계를 포함하되, 상기 서브셋 매칭 알고리즘은, 상기 기준 서브셋의 크기를 단계적으로 증가시키면서 상기 기준 서브셋과 대상 이미지 간의 상호 상관성을 계산하여 상관 계수로 표현하고, 최대 상관 계수를 가지는

픽셀의 위치가 상기 기준 서브셋과 매칭되는 대상 서브셋의 위치로 판단하는 것이다.

[0013] 또한, 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 대상물의 변형을 해석하기 위한 데이터 분석 시스템은, 대상물의 관심 영역(Region Of Interest, ROI) 내 모든 영역에 대하여 위치마다 적응적 서브셋 크기를 이용한 디지털 이미지 상관 해석 방법을 수행하기 위한 프로그램이 기록된 메모리; 및 상기 프로그램을 실행하기 위한 프로세서를 포함하며, 상기 프로세서는, 상기 프로그램의 실행에 의해, 스펙클 패턴(speckle pattern)이 형성된 대상물의 표면에서 기설정된 시간 간격으로 하나 이상의 이미지를 획득하여 기준 이미지를 설정하고, 상기 기준 이미지 별로 설정된 관심 영역에 기설정된 간격으로 씨드 포인트(Seed point)를 설정하고, 각 씨드 포인트를 중심으로 기설정된 크기의 기준 서브셋(Subset)을 설정하고, 대상 이미지의 관심 영역을 상기 기준 서브셋에 대응되는 대상 서브셋으로 분할하고, 상기 대상 서브셋과 상기 기준 서브셋과의 서브셋 매칭 알고리즘을 수행하여 매칭된 서브셋과 기준 서브셋 간의 매칭 거리를 계산하고, 상기 매칭 거리가 수렴하는 시점의 컨버전스 사이즈를 각 씨드 포인트별로 반복적으로 결정하여 컨버전스 맵(Convergence map)을 생성하고, 상기 컨버전스 맵에 대해 각 씨드 포인트 별 컨버전스 사이즈의 평균에 표준 편차를 더하여 적응적 서브셋 크기를 결정하고, 상기 적응적 서브셋 크기를 이용하여 상기 기준 이미지와 대상 이미지간의 디지털 이미지 상관(Digital Image Correlation, DIC) 해석을 수행하여 대상물의 변형으로 인해 발생한 서브셋의 변위를 추적하되, 상기 서브셋 매칭 알고리즘은, 상기 기준 서브셋의 크기를 단계적으로 증가시키면서 상기 기준 서브셋과 대상 이미지 간의 상호 상관성을 계산하여 상관 계수로 표현하고, 최대 상관 계수를 가지는 픽셀의 위치가 상기 기준 서브셋과 매칭되는 대상 서브셋의 위치로 판단하는 것이다.

발명의 효과

[0014] 진술한 본 발명의 과제 해결 수단에 의하면, 대상물의 ROI 내 모든 영역에서 DIC 해석에 필요한 최적화된 서브셋 크기를 자동으로 산출할 수 있고, 그로 인해 다양한 형태 및 크기의 스펙클 패턴에 적용 가능하며, 대상물의 형태 및 재료와 무관하게 적용할 수 있다.

[0015] 또한, 본 발명은 사용자의 개입 없이 적응적 서브셋 크기를 자동으로 산출하고 최적화할 수 있기 때문에 높은 신뢰도에 기반하여 DIC 해석이 가능하고, 다수의 기준 이미지를 이용하여 적응적 서브셋 크기를 산출함으로써 랜덤 노이즈로 인한 에러를 줄이면서 서브셋 크기가 과도하게 크거나 작게 산출되는 것을 방지하여 DIC 해석의 정밀도 및 정확도를 높일 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0016] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 디지털 이미지 상관 해석을 위한 데이터 분석 시스템의 구성을 나타낸 도면이다.
- 도 2는 도 1의 제어 장치를 설명하는 블록도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 적응적 서브셋 크기를 이용한 디지털 이미지 상관 해석 방법을 설명하는 순서도이다.
- 도 4는 도 3의 ROI 내에 초기 파라미터 설정 과정을 설명하는 도면이다.
- 도 5는 도 3의 컨버전스 맵을 설정하는 과정을 설명하는 도면이다.
- 도 6은 도 3의 적응적 서브셋 크기를 결정하는 과정을 설명하는 도면이다.
- 도 7은 도 6의 적응적 서브셋 크기를 적용하여 DIC 해석을 수행하는 과정을 설명하는 도면이다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터 분석 시스템의 DIC 해석 검증을 위한 실험 환경을 구성한 도면이다.
- 도 9는 도 8의 데이터 분석 시스템에서 산출된 적응적 서브셋 크기의 크기별 산출량 및 위치별 분포를 설명하는 도면이다.
- 도 10은 테스트 이미지를 이용하여 적응적 서브셋 크기의 검증 결과를 설명하는 도면이다.
- 도 11은 ROI 내에서 랜덤하게 선택된 씨드 포인트를 설명하는 도면이다.
- 도 12는 도 11의 각 씨드 포인트에서의 SSSIG 기법을 이용하여 산출된 단일 서브셋 크기를 설명하는 도면이다.
- 도 13은 도 12의 SSSIG 기법을 이용하여 산출된 단일 서브셋 크기의 검증 결과를 설명하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0017] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0018] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미하며, 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.
- [0019] 본 명세서에서 '단말'은 휴대성 및 이동성이 보장된 무선 통신 장치일 수 있으며, 예를 들어 스마트폰, 태블릿 PC 또는 노트북 등과 같은 모든 종류의 핸드헬드(Handheld) 기반의 무선 통신 장치일 수 있다. 또한, '단말'은 네트워크를 통해 다른 단말 또는 서버 등에 접속할 수 있는 PC 등의 유선 통신 장치인 것도 가능하다. 또한, 네트워크는 단말들 및 서버들과 같은 각각의 노드 상호 간에 정보 교환이 가능한 연결 구조를 의미하는 것으로, 근거리 통신망(LAN: Local Area Network), 광역 통신망(WAN: Wide Area Network), 인터넷(WWW: World Wide Web), 유무선 데이터 통신망, 전화망, 유무선 텔레비전 통신망 등을 포함한다.
- [0020] 무선 데이터 통신망의 일례에는 3G, 4G, 5G, 3GPP(3rd Generation Partnership Project), LTE(Long Term Evolution), WIMAX(World Interoperability for Microwave Access), 와이파이(Wi-Fi), 블루투스 통신, 적외선 통신, 초음파 통신, 가시광 통신(VLC: Visible Light Communication), 라이파이(LiFi) 등이 포함되나 이에 한정되지는 않는다.
- [0021] 이하의 실시예는 본 발명의 이해를 돕기 위한 상세한 설명이며, 본 발명의 권리 범위를 제한하는 것이 아니다. 따라서 본 발명과 동일한 기능을 수행하는 동일 범위의 발명 역시 본 발명의 권리 범위에 속할 것이다.
- [0023] 이하 첨부된 도면을 참고하여 본 발명의 일 실시예를 상세히 설명하기로 한다.
- [0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 디지털 이미지 상관 해석을 위한 데이터 분석 시스템의 구성을 나타낸 도면이고, 도 2는 도 1의 제어 장치를 설명하는 블록도이다.
- [0025] 도 1를 참조하면, 데이터 분석 시스템은 스펙클 패턴 처리한 대상물을 촬영하는 카메라(10) 및 카메라(10)로부터 대상물의 표면에 대한 하나 이상의 이미지를 획득하고, 획득한 이미지들을 이용하여 디지털 이미지 상관(Digital Image Correlation, DIC) 해석을 수행하는 제어 장치(100)를 포함한다. 이때, 제어 장치(100)는 일정한 시간 간격을 두고 동일한 카메라 위치와 설정으로 복수 개의 이미지를 획득한다.
- [0026] 도 2에 도시된 바와 같이, 제어 장치(100)는 통신 모듈(110), 메모리(120), 프로세서(130) 및 데이터베이스(140)를 포함한다.
- [0027] 상세히, 통신 모듈(110)은 카메라(10)와 동기화되어 실시간 대상물 표면에 대한 이미지를 획득하는 데 필요한 통신 인터페이스를 제공한다. 나아가, 통신 모듈(110)은 사용자 단말로부터 데이터 요청을 수신하고, 이에 대한 응답으로서 데이터를 송신하는 역할을 수행할 수 있다.
- [0028] 여기서, 통신 모듈(110)은 다른 네트워크 장치와 유무선 연결을 통해 제어 신호 또는 데이터 신호와 같은 신호를 송수신하기 위해 필요한 하드웨어 및 소프트웨어를 포함하는 장치일 수 있다.
- [0029] 메모리(120)는 대상물의 ROI 내 모든 위치마다 DIC 해석에 적합한 각기 다른 적응적 서브셋 크기를 최적화할 수 있는 적응적 서브셋 크기를 이용한 디지털 이미지 상관 해석 방법을 수행하기 위한 프로그램이 기록된다. 또한, 프로세서(130)가 처리하는 데이터를 일시적 또는 영구적으로 저장하는 기능을 수행한다. 여기서, 메모리(120)는 휘발성 저장 매체(volatile storage media) 또는 비휘발성 저장 매체(non-volatile storage media)를 포함할 수 있으나, 본 발명의 범위가 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0030] 프로세서(130)는 적응적 서브셋 크기를 이용한 디지털 이미지 상관 해석 방법을 제공하는 전체 과정을 제어하는 것으로서, 대상물의 표면에 획득한 스펙클 이미지를 서브셋으로 분할한 후 스펙클 이미지 간의 서브셋의 이동 변위를 추적하여 대상물의 변형을 해석한다. 이때, 프로세서(130)는 서브셋 내의 스펙클 특징이 충분해야 정확

한 변위 추적이 가능하므로 스펙클 이미지 내에 랜덤하게 분포되어 있는 스펙클 패턴에 따라 각각의 위치에 적절한 크기의 적응적 서브셋을 적용하여 디지털 이미지 상관 해석의 정확도를 높이도록 한다. 이러한 프로세서(130)가 수행하는 각각의 동작에 대해서는 추후 보다 상세히 살펴보기로 한다.

[0031] 여기서, 프로세서(130)는 프로세서(processor)와 같이 데이터를 처리할 수 있는 모든 종류의 장치를 포함할 수 있다. 여기서, '프로세서(processor)'는, 예를 들어 프로그램 내에 포함된 코드 또는 명령으로 표현된 기능을 수행하기 위해 물리적으로 구조화된 회로를 갖는, 하드웨어에 내장된 데이터 처리 장치를 의미할 수 있다. 이와 같이 하드웨어에 내장된 데이터 처리 장치의 일 예로써, 마이크로프로세서(microprocessor), 중앙처리장치(central processing unit: CPU), 프로세서 코어(processor core), 멀티프로세서(multiprocessor), ASIC(application-specific integrated circuit), FPGA(field programmable gate array) 등의 처리 장치를 망라할 수 있으나, 본 발명의 범위가 이에 한정되는 것은 아니다.

[0032] 데이터베이스(140)는 적응적 서브셋 크기를 이용한 디지털 이미지 상관 해석 방법을 수행하면서 누적되는 데이터가 저장된다. 예컨대, 데이터베이스(140)에는 카메라로부터 획득한 이미지 정보, 서브셋 크기 정보, DIC 해석 정보 등이 저장될 수 있다.

[0033] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 적응적 서브셋 크기를 이용한 디지털 이미지 상관 해석 방법을 설명하는 순서도이고, 도 4는 도 3의 ROI 내에 초기 파라미터 설정 과정을 설명하는 도면이며, 도 5는 도 3의 컨버전스 맵을 설정하는 과정을 설명하는 도면이고, 도 6은 도 3의 적응적 서브셋 크기를 결정하는 과정을 설명하는 도면이며, 도 7은 도 6의 적응적 서브셋 크기를 적용하여 DIC 해석을 수행하는 과정을 설명하는 도면이다.

[0034] 도 3을 참조하면, 제어 장치(100)는 일정한 시간 간격을 두고 동일한 카메라 위치와 동일한 카메라 설정으로 스펙클 패턴 처리된 대상물 표면에 대한 다수의 이미지를 획득한다. 이때, 스펙클 패턴은 이미지 내에서 랜덤하게 분포되어 있어 크기, 밀도, 픽셀에서의 회색 강도가 표면 위치마다 다양하게 나타난다.

[0035] 따라서, 제어 장치(100)는 ROI 내 각 위치에 따라 서브셋 크기를 최적화기 위해 ROI를 세분화하여 ROI 내에서 초기 파라미터 설정한다(S1). 즉, 도 4에 도시된 바와 같이, ROI 내에 일정한 간격으로 씨드 포인트(0_i)를 배열하

$$M_j$$

고, 각 씨드 포인트(0_i)를 중심으로 기본 서브셋(S_i) 크기를 결정하는 크기 파라미터(, j=1, 2, 3, ..., m)를 설정한다. 기준 서브셋(S_i) 크기는 다음 수학적 식 1과 같다.

[0036] [수학적 식 1]

$$S_i = (2M_j + 1) \times (2M_j + 1)$$

[0037] 수학적 식 1에서, 0_i의 위치를 정수 픽셀 단위로 설정하기 위해 S_i의 한번의 길이를 홀수로 설정한다. 또한, 모든 ROI 영역을 고려하기 위해 0_i의 간격은 S_i 크기의 최소값보다 작게 설정된다.

[0039] 또한, 제어 장치(100)는 카메라로부터 획득한 다수의 이미지들을 기준 이미지(R)로 정의하고, 이 기준 이미지들을 이용하여 중복없이 2장의 이미지를 선택하는 모든 경우의 수를 산출한다.

[0040] 도 5에 도시된 바와 같이, 제어 장치(100)는 2장의 이미지중 제1 기준 이미지(R₁)에 ROI가 설정된 경우, 기준 서브셋(S_i)과 제2 기준 이미지(R₂)와의 하기 수학적 식 2로 표현되는 정규 상호 상관(Normalized Cross Correlation, NCC) 알고리즘을 사용하여 매칭 거리를 평가한 후 각 씨드 포인트마다 매칭 거리를 이용하여 컨버전스 맵을 설정한다(S2).

[0041] [수학적 식 2]

$$C_{NCC} = \sum_{a=-M_j}^{M_j} \sum_{b=-M_j}^{M_j} \left[\frac{f(x_a, y_b) - f_m \times (g(x'_a, y'_b) - g_m)}{\Delta f \Delta g} \right]$$

$$f_m = \frac{1}{(2M_j + 1)^2} \sum_{a=-M_j}^{M_j} \sum_{b=-M_j}^{M_j} f(x_a, y_b)$$

[0043]

[0044]

$$g_m = \frac{1}{(2M_j + 1)^2} \sum_{a=-M_j}^{M_j} \sum_{b=-M_j}^{M_j} g(x'_a, y'_b)$$

[0045]

$$\Delta f = \sqrt{\sum_{a=-M_j}^{M_j} \sum_{b=-M_j}^{M_j} [f(x_a, y_b) - f_m]^2}$$

[0046]

$$\Delta g = \sqrt{\sum_{a=-M_j}^{M_j} \sum_{b=-M_j}^{M_j} [g(x'_a, y'_b) - g_m]^2}$$

[0047]

NCC 알고리즘은 기준 서브셋(S_i)과 제2 기준 이미지(R₂) 간의 상호 상관성을 계산하는 것으로서, 제2 기준 이미지(R₂)를 기준 서브셋(S_i)과 동일한 크기의 서브셋들로 분할하고, 각 분할된 서브셋들이 기준 서브셋(S_i)과 얼마나 일치하는지를 정량적으로 나타낸 것이다. 이때, NCC 알고리즘은 일치성의 정도를 상관 계수(C_{NCC})라는 실수로 표현하며, 제2 기준 이미지 내에서 최대 상관 계수를 가지는 픽셀 위치를 기준 서브셋(S_i)과 가장 일치하는 대상 서브셋의 위치로 결정하는 서브셋 매칭 알고리즘을 수행한다.

[0048]

기준 서브셋(S_i)의 크기가 작은 경우, 서브셋 내의 스펙클 패턴의 특징이 부족하여 다른 서브셋들과 확연히 구분되지 않기 때문에 NCC 알고리즘을 이용한 서브셋 매칭이 정확히 이루어지지 않아 제2 기준 이미지 내에서 최대 상관 계수의 위치가 다양하게 나타난다. 그러나, 기준 서브셋(S_i)의 크기가 특정 크기 이상으로 커지면 서브셋 매칭이 정확히 이루어져 대상 서브셋(S_i')의 위치가 일정하게 나타나고, 이미지만 변형이 없기 때문에 최대 상관 계수의 위치가 일정하게 나타난다. 따라서, 기준 서브셋(S_i)의 크기를 단계적으로 증가시켜가며 NCC 알고리즘을 수행하는 반복적인 연산 과정을 통해 최대 상관 계수의 위치가 일정한지를 확인함으로써 서브셋의 크기가 충분할지를 판단할 수 있다.

[0049]

기준 서브셋(S_i)과 매칭되는 대상 서브셋(S_i')의 씨드 포인트를 O_i', 매칭 거리를 D_i라고 할 경우, 매칭 거리(D_i)는 하기 수학식 3에 의해 계산된다.

[0050]

[수학식 3]

[0051]

$$D_i = \sqrt{(x_i - x'_i)^2 + (y_i - y'_i)^2}$$

[0052]

수학식 3에서 (x_i, y_i)는 기준 서브셋(S_i)의 씨드 포인트(O_i)의 픽셀 위치 좌표이고, (x'_i, y'_i)는 매칭된 대상 서브셋(S_i')의 씨드 포인트(O_i')의 픽셀 위치 좌표를 각각 나타낸다. 제어 장치(100)는 매칭 거리의 기울이가 '0'이 되는 시작 지점을 기준으로 컨버징 사이즈를 결정할 수 있으며, 각 씨드 포인트(O_i)마다 동일한 서브셋 매칭 알고리즘을 반복적으로 수행하여 컨버전스 맵을 산출한다.

[0053]

도 6에 도시된 바와 같이, 제어 장치(100)는 기준 이미지 획득시 조명, 샷 노이즈, 카메라의 미세 진동 등으로 발생하는 랜덤 노이즈의 영향을 고려하기 위해, 중복없이 2장의 기준 이미지를 선택하는 모든 경우의 수를 적용하여 다수의 컨버전스 맵을 산출하고, 각 씨드 포인트마다 컨버징 사이즈의 평균에 표준 편차를 더하여 적응적 서브셋 크기를 자동 결정한다(S3). 따라서, ROI 내 모든 영역에 대해 적응적 서브셋 크기를 최적화할 수 있다.

[0054]

도 7에 도시된 바와 같이, 제어 장치(100)는 적응적 서브셋 크기를 이용하여 기준 이미지와 변형된 이미지간 NCC 알고리즘을 수행하여 대상물의 변형으로 인해 발생한 서브셋의 변위를 추적함으로써 대상물의 변위와 변형률을 계산하는 DIC 해석을 수행한다(S4).

[0055]

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터 분석 시스템의 DIC 해석 검증을 위한 실험 환경을 구성한 도면이고, 도 9는 도 8의 데이터 분석 시스템에서 산출된 적응적 서브셋 크기의 크기별 산출량 및 위치별 분포를 설명하는 도면이며, 도 10은 테스트 이미지를 이용하여 적응적 서브셋 크기의 검증 결과를 설명하는 도면이다.

[0056] 도 8에 도시된 바와 같이, 데이터 분석 시스템은 카메라(10), 제어 장치, 스페클 표면 처리된 알루미늄 플레이트 시편(21)이 놓여지는 스캐닝 스테이지(20)를 포함하되, 스캐닝 스테이지(20)는 시편(21)을 x와 y 방향으로 0.5 μm 단위로 이동시킨다. 데이터 분석 시스템은 미세한 스페클 패턴을 관찰하기 위해 매크로 렌즈를 사용할 수도 있다.

[0057] 또한, 스페클 표면 처리된 알루미늄 플레이트 시편(21)은 500x500x3mm³의 크기를 가지고, 스페클 패턴은 스톤 스프레이를 이용하여 표면 처리하며, ROI는 공간적으로 편향된 스페클 패턴의 영향을 관찰하기 위해 스페클 패턴이 조밀하지 않은 위치에 300x300 pixels 크기로 임의 설정한다. 또한, 기준 서브셋(S_i)의 크기는 최소 7 x 7 pixels에서 최대 55 x 55 pixels 범위를 가지며, 이에 따라 씨드 포인트(O_i)의 간격은 6 pixel로, 총 2500개가 설정된다.

[0058] 이러한 데이터 분석 시스템은 카메라(10)로부터 15 장의 기준 이미지를 획득하고, 스캐닝 스테이지(20)를 이용하여 200μm, 500 μm, 1mm의 일정한 간격으로 이동시킨 3 장의 테스트 이미지를 획득할 수 있다.

[0059] 제어 장치(100)는 기준 이미지를 이용하여 중복없이 2장의 이미지를 산출할 수 있는 모든 이미지 조합에 대하여 ROI 내에 설정된 각 씨드 포인트에서 기준 서브셋의 크기를 늘려가며 NCC 알고리즘을 수행하고, 각 씨드 포인트마다 105개의 컨버징 사이즈(Converging size)를 산출하며, 도 9에 도시된 바와 같이 컨버징 사이즈의 평균에 표준 편차를 더하여 적응적 서브셋 크기를 결정한다.

[0060] 도 9에 도시된 바와 같이, 적응적 서브셋 크기의 산출 범위는 최소 9x9 pixels에서 최대 23 x 23 pixels로 다양하지만, 약 90 % 이상이 11 x 11pixels에서 17 x 17pixels사이에 집중되어 있으며, 그 중 13 x 13 pixels에서 가장 많은 빈도수를 내고 있다.

[0061] 이렇게 산출된 적응적 서브셋의 크기 검증을 위해 3 장의 테스트 이미지에 대하여 적응적 서브셋 크기를 적용하여 NCC 알고리즘을 수행한다. 도 10에 도시된 바와 같이, 서브셋 매칭 결과는 매칭 거리와 픽셀 단위로 환산한 실제 거리의 차이를 이용하여 오차 거리(Error distance)로 계산하면, 테스트 이미지를 이용한 검증 결과에서 2500개의 씨드 포인트 모두에서 에러가 발생하지 않은 것을 확인할 수 있다.

[0062] 도 11은 ROI 내에서 랜덤하게 선택된 씨드 포인트를 설명하는 도면이고, 도 12는 도 11의 각 씨드 포인트에서의 SSSIG 기법을 이용하여 산출된 단일 서브셋 크기를 설명하는 도면이며, 도 13은 도 12의 SSSIG 기법을 이용하여 산출된 단일 서브셋 크기의 검증 결과를 설명하는 도면이다.

[0063] 서브셋 크기를 결정하는 방법 중 하나인 SSSIG 기법은 ROI 내에 임의의 위치를 선정한 후 기준 서브셋의 크기를 증가시키면서 서브셋 내의 스페클 패턴 기울기(Speckle pattern gradients)를 계산하고, 이를 이용해 표준 편차 오차(Standard deviation error, SD error)를 산출하며, 임계(Threshold) 값을 적용하여 단일 서브셋 크기를 산출한다. 이러한 SSSIG 기법을 이용하여 도 11 및 도 12에 도시된 바와 같이, 랜덤하게 선택된 2개의 씨드 포인트에서 서브셋 내의 스페클 패턴 기울기를 계산하고, SD error 값을 산출하여 DIC 해석을 위한 단일 서브셋 크기를 결정한다. SD error는 하기 수학적 식 4와 같이 나타낼 수 있다.

[0064] [수학적 식 4]

$$\sigma(\Delta u') \approx \left(\frac{D(\eta)}{\sum_{a=-M_i}^{M_i} \sum_{b=-M_i}^{M_i} (f_x)^2} \right)^{1/2}, \sigma(\Delta v') \approx \left(\frac{D(\eta)}{\sum_{a=-M_i}^{M_i} \sum_{b=-M_i}^{M_i} (f_y)^2} \right)^{1/2}$$

[0065]

$$SSSIG(x) = \sum_{a=-M_i}^{M_i} \sum_{b=-M_i}^{M_i} (f_x)^2$$

$$SSSIG(y) = \sum_{a=-M_i}^{M_i} \sum_{b=-M_i}^{M_i} (f_y)^2$$

[0066]

[0067] 수학적 식 4에서, D(η)은 대상물 표면을 일정한 시간 간격을 두고 촬영한 두 이미지를 이용해 계산한 노이즈의 분산 값이며, f_x와 f_y는 x, y방향으로 인접한 점의 차이로 계산되는 회색 강도의 1차 도함수이다. SD error의 임계값은 0.005로 설정된다.

[0068] 도 13에 도시된 바와 같이, SSSIG 기법을 이용해 7 x 7 pixels와 9 x 9 pixels의 단일 서브셋 크기를 산출하고, 이렇게 산출된 단일 서브셋 크기는 (a) 200μm 테스트 이미지(7 x 7 pixels), (b) 500 μm 테스트 이미지(7

x 7 pixels), (c) 1 mm 테스트 이미지(7 x 7 pixels), (d) 200 μ m 테스트 이미지(9 x 9 pixels), (e) 500 μ m 테스트 이미지(9 x 9 pixels), (f) 1 mm 테스트 이미지(9 x 9 pixels)를 이용하여 검증할 수 있다.

[0069] 즉, 도 13은 7 x 7 pixels와 9 x 9 pixels 의2개의 단일 서브셋 크기를 적용하여 테스트 이미지에 대한 NCC 알고리즘을 수행한 결과를 나타낸 것이고, 표 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 서브셋 매칭 알고리즘과 SSSIG 기법을 이용한 검증 결과를 전체 씨드 포인트 2500개 중 에러가 발생한 씨드 포인트의 개수로 정량적으로 나타낸 것이다.

[0070] [표 1]

(단위: %)

	200 μ m 테스트 이미지	500 μ m 테스트 이미지	1 mm 테스트 이미지
Adaptive subset size	0	0	0
SSSIG (7 x 7 pixels)	829	134	924
SSSIG (9 x 9 pixels)	67	8	71

[0071] 표 1은 테스트 이미지에 대한 적응적 서브셋 크기와 SSSIG 기법으로 산출된 단일 서브셋 크기의 에러율을 비교한 것으로서, SSSIG 기법을 이용하여 산출된 7 x 7 pixels 단일 서브셋 크기를 적용한 경우에는 200 μ m 테스트 이미지에서 829개, 500 μ m 테스트 이미지에서 134개, 1 mm 테스트 이미지에서 924개의 씨드 포인트에서 에러가 발생하였고, 9 x 9 pixels 단일 서브셋 크기를 적용한 경우에는 200 μ m 테스트 이미지에서 67개, 500 μ m 테스트 이미지에서 8개, 1 mm 테스트 이미지에서 71개의 씨드 포인트에서 에러가 발생함을 알 수 있다. 도 13에 도시된 바와 같이, 랜덤 노이즈로 인하여 동일한 서브셋 크기를 적용했음에도 불구하고 사용된 테스트 이미지에 따라 에러가 발생하는 양상이 다른 것을 알 수 있다.

[0073] SSSIG 기법으로 서브셋 크기를 산출한 경우, 스펙클 패턴 기울기를 계산하는 위치에 따라 산출되는 서브셋 크기가 다양하여 스펙클 패턴이 균일하게 분포되어 있지 않은 이미지에 적용이 불가능 하고, 임계 값을 사용자가 임의로 설정하기 때문에 산출된 서브셋 크기의 신뢰도가 떨어질 뿐만 아니라 이미지 취득 간 발생하는 랜덤 노이즈의 영향에 의해 산출된 서브셋 크기를 적용하더라도 에러가 발생할 수 있다.

[0074] 그러나, 본 발명의 일 실시예에 따른 서브셋 매칭 알고리즘은 ROI 내 모든 영역에서 DIC 해석에 필요한 서브셋 크기를 최적화하기 때문에 이미지 내 스펙클 패턴이 편향되더라도 적용이 가능하고, 사용자의 개입 없이 서브셋 크기를 자동 산출 및 최적화하기 때문에 높은 신뢰도에 기반한 DIC 해석이 가능하며, 다수의 기준 이미지를 이용한 적응적 서브셋 크기 산출을 통해 랜덤 노이즈로 인한 에러를 줄이면서 서브셋의 크기가 과도하게 크거나 작게 산출되는 것을 방지할 수 있다. 따라서, 본 발명은 DIC 해석에서 보다 정밀하고 정확한 분석이 가능해질 수 있다.

[0076] 이상에서 설명한 본 발명의 실시예에 따른 적응적 서브셋 크기를 이용한 디지털 이미지 상관 해석 방법은, 컴퓨터에 의해 실행되는 프로그램 모듈과 같은 컴퓨터에 의해 실행 가능한 명령어를 포함하는 기록 매체의 형태로도 구현될 수 있다. 이러한 기록 매체는 컴퓨터 판독 가능 매체를 포함하며, 컴퓨터 판독 가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 휘발성 및 비휘발성 매체, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다. 또한, 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터 저장 매체를 포함하며, 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다.

[0077] 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.

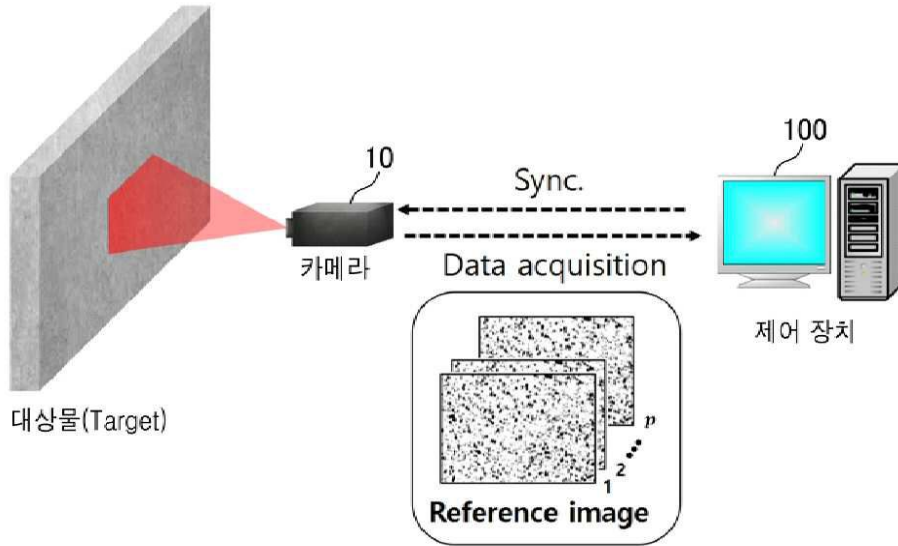
[0078] 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

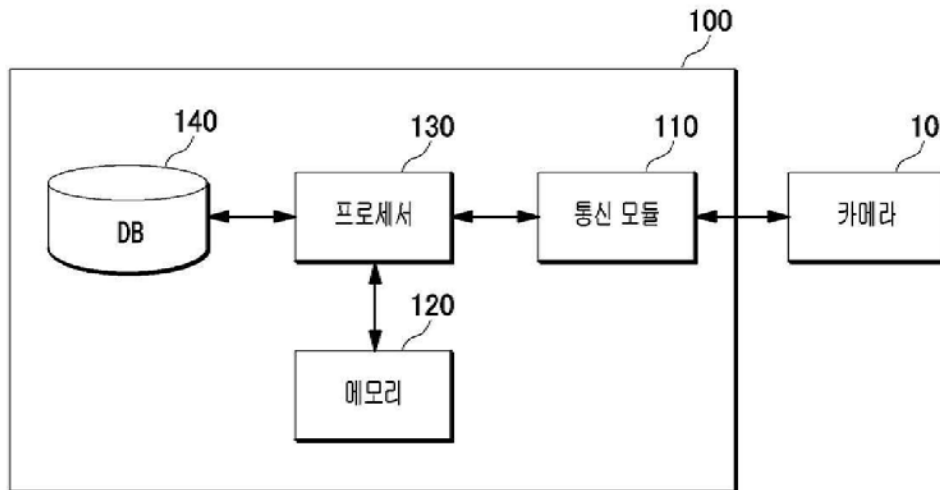
[0079] 100: 제어 장치
 110: 통신 모듈
 120: 메모리
 130: 프로세서
 140: 데이터베이스

도면

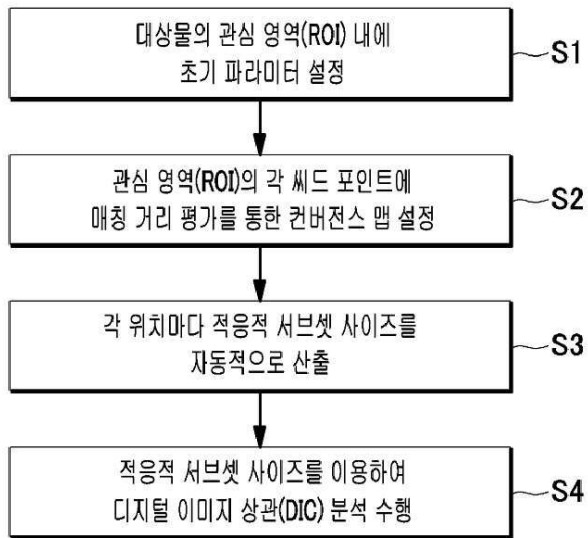
도면1



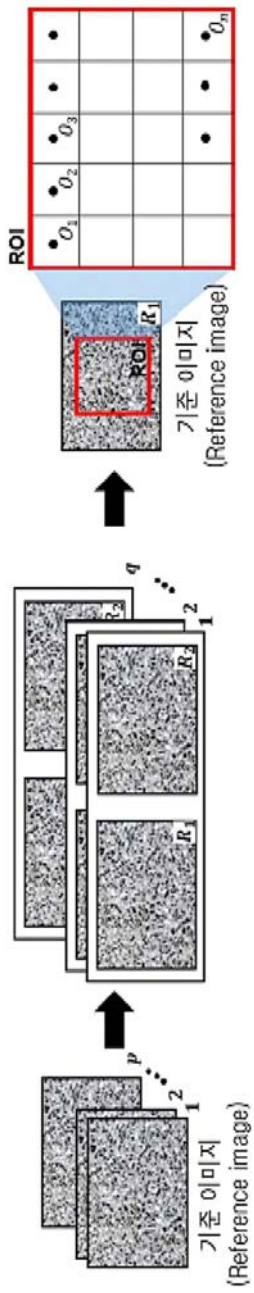
도면2



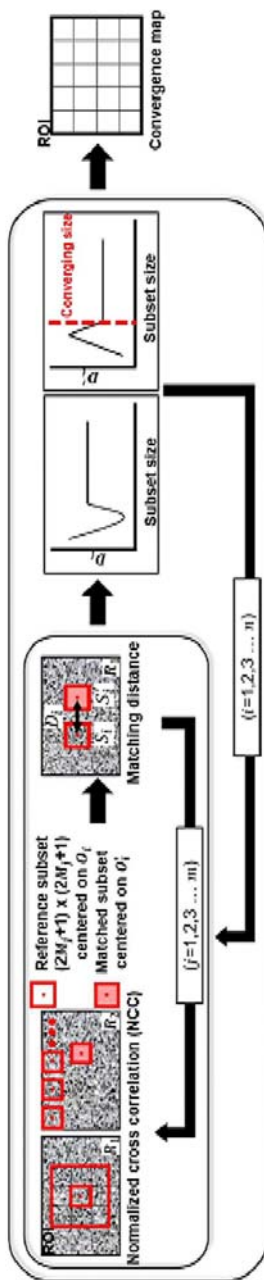
도면3



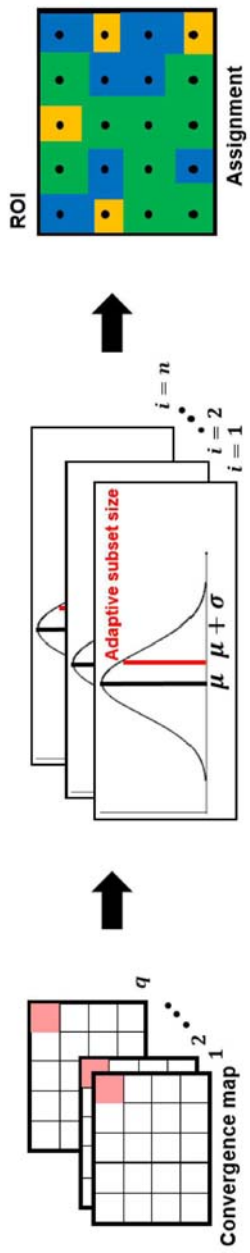
도면4



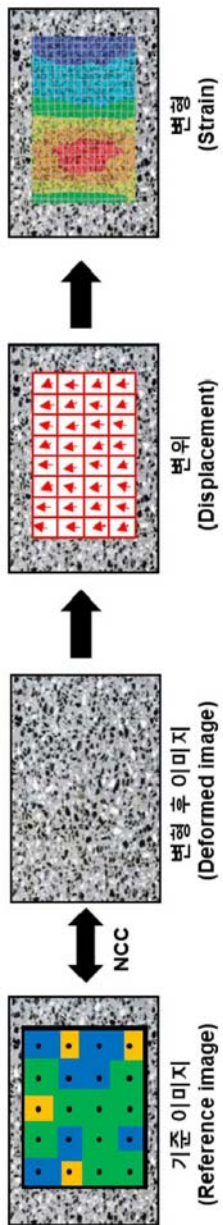
도면5



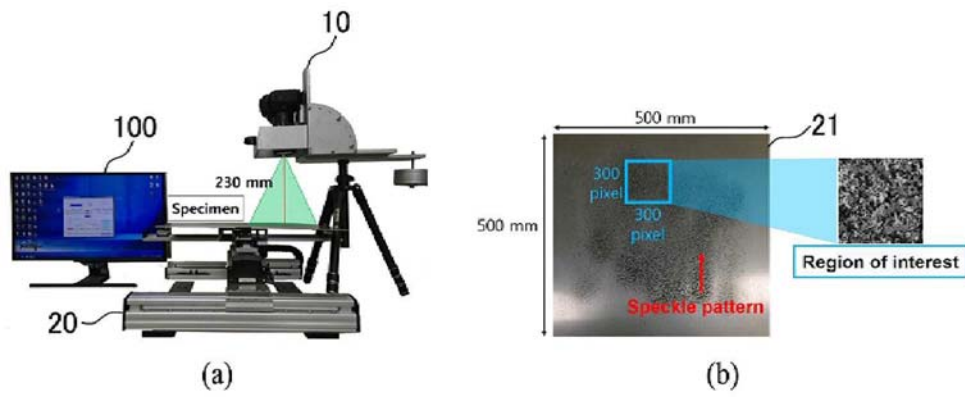
도면6



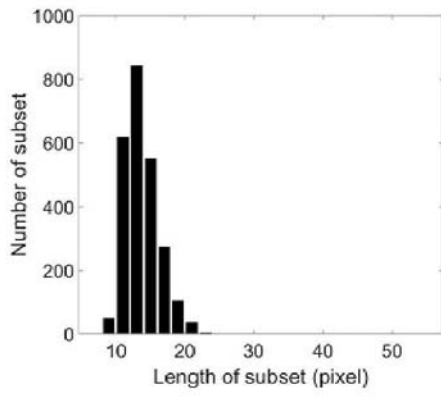
도면7



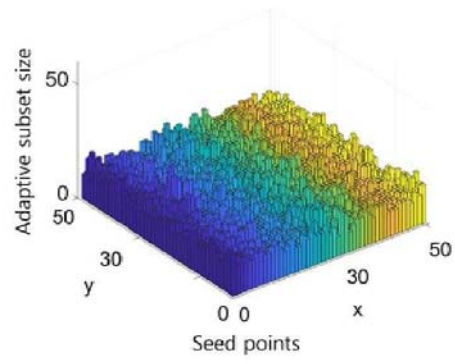
도면8



도면9

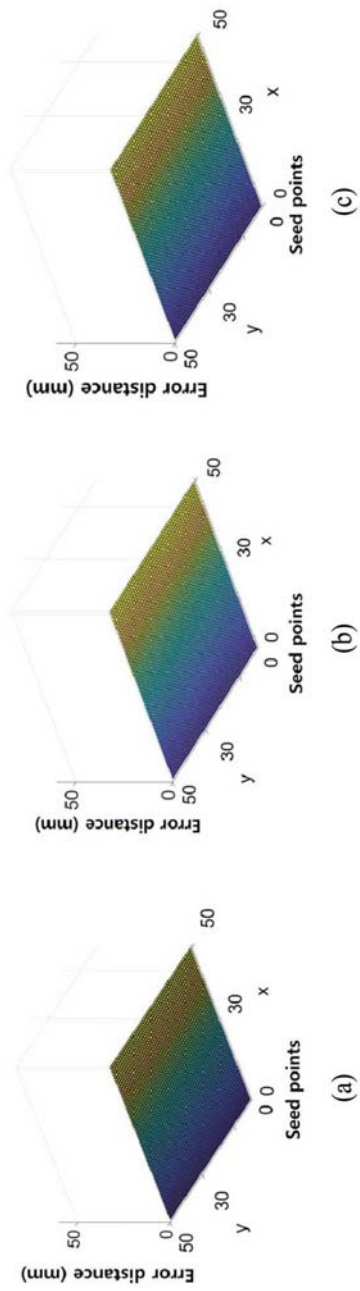


(a)

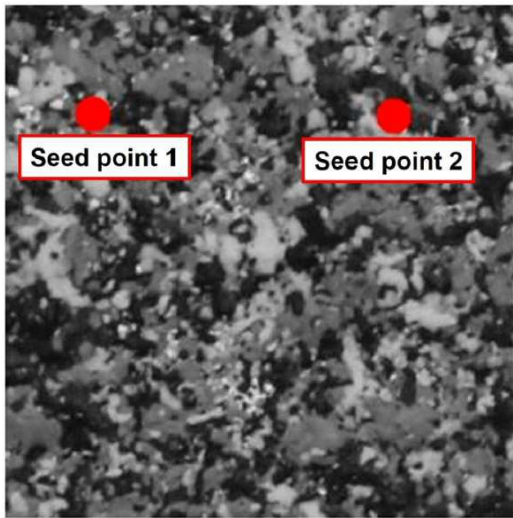


(b)

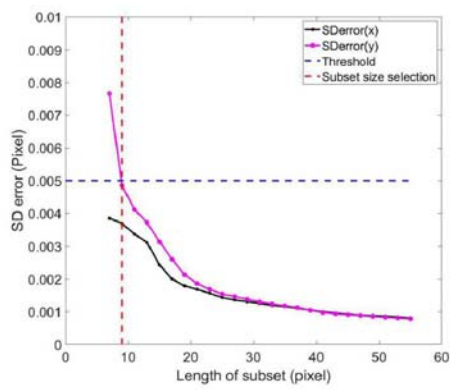
도면10



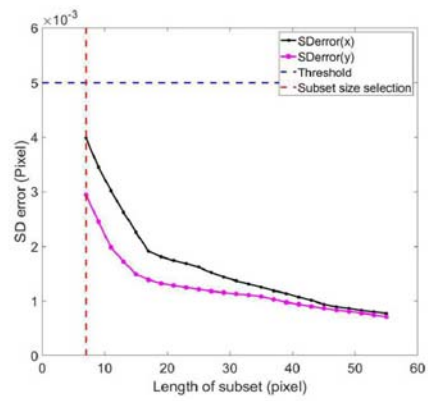
도면11



도면12



(a)



(b)

도면13

