



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0116406
(43) 공개일자 2014년10월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06T 3/40 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-7019119
(22) 출원일자(국제) 2013년01월11일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2014년07월09일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2013/050466
(87) 국제공개번호 WO 2013/104747
국제공개일자 2013년07월18일
(30) 우선권주장
12305046.0 2012년01월12일
유럽특허청(EPO)(EP)

(71) 출원인
툼슨 라이센싱
프랑스 92130 이씨레폴리노 잔 다르크 뒤편 1-5
(72) 발명자
살바도르, 조르디
독일 30625 하노버 카를 비에체르트 알레 74 리서
치 앤드 이노베이션 도이체 톼슨 오에이치지
코찰레, 아셀
독일 30625 하노버 카를 비에체르트 알레 74 리서
치 앤드 이노베이션 도이체 톼슨 오에이치지
보르섬, 말테
독일 30625 하노버 카를 비에체르트 알레 74 리서
치 앤드 이노베이션 도이체 톼슨 오에이치지
(74) 대리인
양영준, 전경석, 백만기

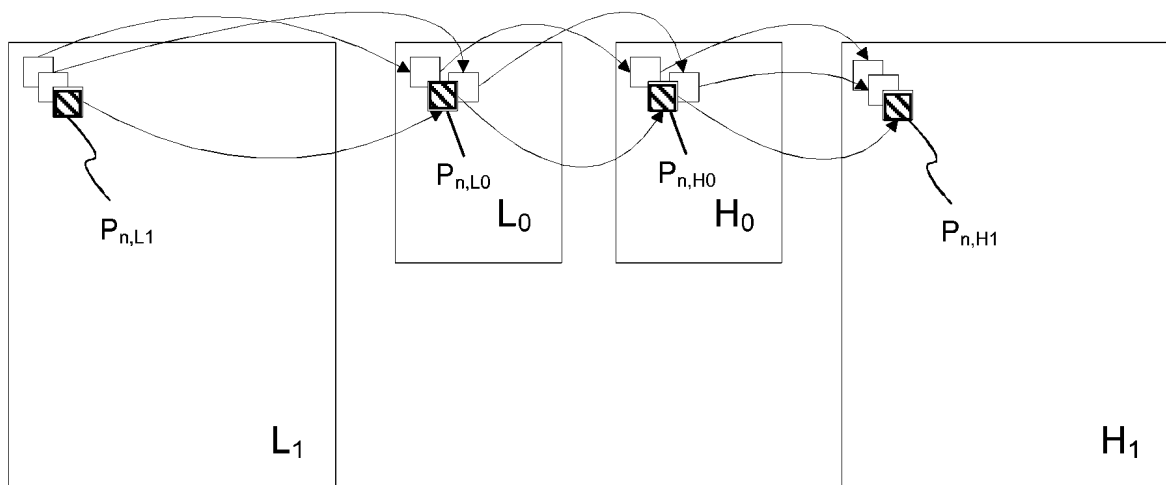
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 저해상도 입력 데이터 구조의 초고해상도 버전을 생성하기 위한 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명은 정기적으로 샘플링된 다차원 신호들의 해상도의 향상에 관한 것이며, 단일 저해상도 신호가 이용가능하다. 본 방법들은 일반적으로 일레-기반 초고해상도 또는 단일-이미지 초고해상도와 관련된다. 단일 이미지를 과-분해하기 위한 방법은 3개의 단계들을 포함한다. 먼저, 입력 이미지의 내삽-기반 업스케일링이 실행되고, 저해상도 이미지에 대한 등가의 저역 통과 필터링 동작이 이어진다. 제2 단계는 고해상도 이미지의 검사 패치와 부분적으로 오버랩되는 패치들을 포함하는 저해상도 저주파수 이미지의 로컬 이웃의 패치들 간의 저주파수 일치들에 대한 탐색, 및 저해상도 이미지로부터 획득된 고주파수 기여의 누산을 포함한다. 제3 단계는 고해상도 이미지의 저주파수 대역 및 외삽된 고주파수 대역의 기여들을 가산하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

디지털 1D, 2D 또는 3D 데이터의 저해상도 입력 데이터 구조(S_0)의 초고해상도 프로세싱(super-resolution processing)을 실행하는 방법으로서,

- 제1 저역 통과 필터($F_{1,0}$)에 의해 상기 입력 데이터 구조(S_0)를 필터링하는 단계(170) - 저주파수 입력 데이터 구조(L_0)가 획득됨 - ;
- 상기 입력 데이터 구조(S_0)와 상기 저주파수 입력 데이터 구조(L_0) 간의 차이를 계산하는 단계(180) - 이에 의해, 고주파수 입력 데이터 구조(H_0)가 생성됨 - ;
- 상기 입력 데이터 구조(S_0)를 업스케일링하고 상기 업스케일링된 입력 데이터 구조를 제2 저역 통과 필터($F_{1,1}$)에 의해 필터링하는 단계(130) - 저주파수 업스케일링 데이터 구조(L_1)가 획득됨 - ;
- 상기 저주파수 업스케일링 데이터 구조(L_1)에서 제1 위치의 제1 패치($P_{n,L1}$)를 결정하는 단계;
- 상기 저주파수 입력 데이터 구조(L_0)에서 상기 제1 패치($P_{n,L1}$)에 가장 일치하는 제1 블록($B_{n,L0}$)을 탐색하고 상기 저주파수 입력 데이터 구조(L_0) 내의 상기 제1 블록($B_{n,L0}$)의 위치를 결정하는 단계(152, 154);
- 상기 저주파수 입력 데이터 구조(L_0) 내의 상기 제1 블록($B_{n,L0}$)에 대해 결정된 위치에서 상기 고주파수 입력 데이터 구조(H_0)의 제2 블록($B_{n,H0}$)을 선택하는 단계(155);
- 가산에 의해, 상기 선택된 제2 블록($B_{n,H0}$)의 픽셀 데이터를 제2 패치($P_{n,H1}$)에 누산하는 단계(157) - 상기 제2 패치는 상기 제1 위치에서 고주파수 업스케일링 데이터 구조($H_{1,acc}$)의 패치이고, 상기 고주파수 업스케일링 데이터 구조($H_{1,acc}$)는 초기에 비어 있음 - ;
- 상기 저주파수 업스케일링 데이터 구조(L_1)에서 새로운 패치($P_{n,L1}$)를 결정하는 단계, 상기 저주파수 입력 데이터 구조(L_0)에서 상기 선택된 패치($P_{n,L1}$)에 가장 일치하는 블록($B_{n,L0}$)을 탐색하는 단계(152, 154), 상기 고주파수 입력 데이터 구조(H_0)에서 대응 블록($B_{n,H0}$)을 선택하는 단계(155) 및 상기 새로운 패치($P_{n,L1}$)의 위치에서 상기 고주파수 업스케일링 데이터 구조($H_{1,acc}$)의 패치($P_{n,H1}$)에 상기 선택된 대응 블록($B_{n,H0}$)의 픽셀 데이터를 누산하는 단계(157)를 반복하는 단계(150);
- 상기 고주파수 업스케일링 데이터 구조($H_{1,acc}$)의 누산된 픽셀 값들을 정규화하는 단계(190) - 이에 의해, 정규화된 고주파수 업스케일링 데이터 구조(H_1)가 획득되고, 상기 정규화하는 단계(190)는, 현재 픽셀에 대해, 상기 현재 픽셀의 누산된 값을 상기 현재 픽셀의 누산된 값에 기여한 픽셀들의 수로 나누는 단계를 포함함 - ; 및
- 상기 정규화된 고주파수 업스케일링 데이터 구조(H_1)를 저주파수 업스케일링 데이터 구조(L_1)에 추가하는 단계
- 이에 의해, 과-분해된(super-resolved) 데이터 구조(S_1)가 획득됨 -

를 포함하는, 초고해상도 프로세싱의 실행 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 저주파수 입력 데이터 구조(L_0)에서 제1 탐색 윈도우(W_1)를 결정하는 단계(151, 152)를 더 포함하고, 상기 제1 탐색 윈도우(W_1)는 상기 고주파수 업스케일링 데이터 구조(L_1)의 상기 제1 위치에 대응하는 위치의 블록 주위의 영역을 커버하며, 상기 저주파수 입력 데이터 구조(L_0)에서 탐색하는 단계(152, 154)는 상기 제1 탐색 윈도우(W_1)

내에서만 실행되고, 상기 저주파수 입력 데이터 구조(L_0)에서 탐색 윈도우(W_1)를 결정하는 단계(151, 152)는 상기 저주파수 업스케일링 데이터 구조(L_1)의 각각의 새로운 패치에 대해 반복되는, 초고해상도 프로세싱의 실행 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 탐색 윈도우에 의해 커버되는 영역은 상기 고주파수 업스케일링 데이터 구조(L_1)의 상기 제1 위치에 대응하는 위치의 상기 블록 주위의 상기 저주파수 업스케일링 데이터 구조(L_0)의 각각의 방향에서 복수의 값들을 포함하는, 초고해상도 프로세싱의 실행 방법.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 저주파수 업스케일링 데이터 구조(L_1)의 각각의 새로운 패치($P_{n,L1}$)는 적어도 하나의 이전에 처리된 패치와 오버랩(overlap)하는, 초고해상도 프로세싱의 실행 방법.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 저주파수 업스케일링 데이터 구조(L_1)는 상기 입력 데이터 구조(S_0)를 업스케일링 인자 n 으로 업스케일링하고(120), 상기 업스케일링된 입력 데이터 구조를 상기 제2 저역 통과 필터($F_{1,1}$)로 필터링하며(130), 상기 필터링된 업스케일링된 입력 데이터 구조를 다운스케일링 인자 d 로 다운스케일링(140) 함으로써 획득되며, 여기서, $n > d$ 이고, 최종 비-정수 업스케일링 인자 n/d 가 획득되는, 초고해상도 프로세싱의 실행 방법.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 저역 통과 필터($F_{1,0}$) 및 상기 제2 저역 통과 필터($F_{1,1}$)는 동등한 필터들인, 초고해상도 프로세싱의 실행 방법.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 저역 통과 필터($F_{1,0}$)는 차수(order) N_0 , 크기 $\sigma_0 = 1$ 및 정규화된 차단 주파수 $\Omega_0 = d/n$ 의 특성들을 가지며, 상기 제2 저역 통과 필터($F_{1,1}$)는 차수 $N_1 = nN_0$, 크기 $\sigma_1 = n$ 및 정규화된 차단 주파수 $\Omega_1 = 1/n$ 의 특성들을 가지는, 초고해상도 프로세싱의 실행 방법.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 고주파수 업스케일링 데이터 구조($H_{1,acc}$)를 고역 통과 필터($F_{h,1}$)로 필터링하는 단계를 더 포함하고, 상기 고역 통과 필터($F_{h,1}$)는 정규화된 차단 주파수 $\Omega_{1,h} = d/n$, 차수 $N_{1,h} = \text{round}(N_0 * n/d)$ 및 크기 $\sigma_{1,h} = 1$ 을 가지는, 초고해상도 프로세싱의 실행 방법.

청구항 9

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 저주파수 업스케일링 데이터 구조(L_1)에서 새로운 패치($P_{n,L1}$)를 결정하는 단계, 상기 저주파수 입력 데이터 구조(L_0)에서 상기 선택된 패치($P_{n,L1}$)에 가장 일치하는 블록($B_{n,L0}$)을 탐색하는 단계(152, 154), 상기 고주파수

입력 데이터 구조(H_0)에서 대응 블록(B_{n,H_0})을 선택하는 단계(155) 및 상기 새로운 패치(P_{n,L_1})의 위치에서 상기 고주파수 업스케일링 데이터 구조($H_{1,acc}$)의 패치(P_{n,H_1})에 상기 선택된 대응 블록(B_{n,H_0})의 픽셀 데이터를 누산하는 단계(157)는 상기 완전한 저주파수 업스케일링 데이터 구조(L_1)가 커버될 때까지 모든 패치들에 대해 반복되는, 초고해상도 프로세싱의 실행 방법.

청구항 10

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 고주파수 업스케일링 데이터 구조($H_{1,acc}$)의 픽셀당 기여 수(the number of contributions per pixel)를 카운트하는 단계를 더 포함하고, 상기 정규화하는 단계(190)는 픽셀당 누산된 값을 상기 카운트하는 단계에 의해 획득된 기여 수로 나누는 단계를 포함하는, 초고해상도 프로세싱의 실행 방법.

청구항 11

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서,

디지털 2D 데이터의 상기 입력 데이터 구조는 디지털 이미지인, 초고해상도 프로세싱의 실행 방법.

청구항 12

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 입력 데이터 구조는 디지털 2D 데이터를 포함하고, 각각의 블록 및 각각의 패치는 적어도 5×5 값들을 포함하며, 상기 탐색 윈도우는 적어도 9×9 값들을 커버하고, 각각의 패치는 적어도 하나의 더 일찍 처리된 패치를 적어도 2 값들만큼 오버랩하는, 초고해상도 프로세싱의 실행 방법.

청구항 13

디지털 데이터의 저해상도 입력 데이터 구조(S_0)의 초고해상도 프로세싱을 실행하는 장치로서,

- 상기 입력 데이터 구조(S_0)를 필터링하기 위한 제1 지역 통과 필터(970) - 저주파수 입력 데이터 구조(L_0)가 획득됨 - ;
- 상기 입력 데이터 구조(S_0)와 상기 저주파수 입력 데이터 구조(L_0) 간의 차이를 계산하기 위한 가산기, 감산기 또는 미분기(980) - 이에 의해, 고주파수 입력 데이터 구조(H_0)가 생성됨 - ;
- 상기 입력 데이터 구조(S_0)를 업스케일링하기 위한 업스케일러(920);
- 상기 업스케일링된 입력 데이터 구조를 필터링하기 위한 제2 지역 통과 필터(930) - 저주파수 업스케일링 데이터 구조(L_1)가 획득됨 - ;
- 상기 저주파수 업스케일링 데이터 구조(L_1)에서 제1 위치의 제1 패치를 결정하기 위한 제1 결정 유닛(951);
- 상기 저주파수 입력 데이터 구조(L_0)에서 상기 제1 패치에 가장 일치하는 제1 블록을 탐색하기 위한 탐색 유닛(952);
- 상기 저주파수 입력 데이터 구조(L_0) 내의 상기 제1 블록의 위치를 결정하기 위한 제2 결정 유닛(954);
- 상기 저주파수 입력 데이터 구조(L_0) 내의 상기 제1 블록에 대해 결정된 위치에서 상기 고주파수 입력 데이터 구조(H_0)의 제2 블록을 선택하기 위한 선택기 유닛(955);
- 가산에 의해, 상기 선택된 제2 블록의 픽셀 데이터를 제2 패치에 누산하기 위한 누산기(957) - 상기 제2 패치는 상기 제1 위치에서 고주파수 업스케일링 데이터 구조($H_{1,acc}$)의 패치이고, 상기 고주파수 업스케일링 데이터 구조($H_{1,acc}$)는 초기에 비어 있음 - ;
- 상기 저주파수 업스케일링 데이터 구조(L_1)에서 복수의 패치들에 대한 프로세싱의 반복을 제어하기 위한 제어

유닛(950);

- 상기 고주파수 업스케일링 데이터 구조의 누산된 픽셀 값들을 정규화하기 위한 정규화 유닛(990) - 이에 의해, 정규화된 고주파수 업스케일링 데이터 구조(H_1)가 획득되고, 상기 정규화는, 현재 픽셀에 대해, 상기 현재 픽셀의 누산된 값을 상기 현재 픽셀의 누산된 값에 기여한 픽셀들의 수로 나누는 것을 포함함 - ;
- 상기 정규화된 고주파수 업스케일링 데이터 구조(H_1)를 필터링하기 위한 고역 통과 필터(995); 및
- 상기 정규화된 고역 통과 필터링된 고주파수 업스케일링 데이터 구조(H_1)를 상기 저주파수 업스케일링 데이터 구조(L_1)에 결합하기 위한 결합 유닛(999) - 이에 의해, 과-분해된 데이터 구조(S_1)가 획득됨 -

을 포함하는, 초고해상도 프로세싱의 실행 장치.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 저주파수 입력 데이터 구조(L_0)에서 탐색 윈도우(W_1)를 결정하기 위한 탐색 윈도우 결정 유닛을 더 포함하고, 상기 탐색 윈도우(W_1)는 상기 고주파수 업스케일링 데이터 구조(L_1)의 상기 제1 위치에 대응하는 위치의 블록 주위의 영역을 커버하며, 상기 탐색 유닛(952)은 상기 제1 탐색 윈도우(W_1) 내에서만 상기 저주파수 입력 데이터 구조(L_0)에서 탐색하는, 초고해상도 프로세싱의 실행 장치.

청구항 15

제13항 또는 제14항에 있어서,

상기 고주파수 업스케일링 데이터 구조($H_{1,acc}$)의 픽셀당 기여 수를 카운트하기 위한 카운터(953)를 더 포함하고, 상기 정규화 유닛(990)은 픽셀당 누산된 값을 상기 기여 수로 나누는 동작을 실행하는, 초고해상도 프로세싱의 실행 장치.

청구항 16

디지털 데이터의 저해상도 입력 데이터 구조(S_0)의 초고해상도 프로세싱을 실행하는 방법을 컴퓨터가 실행하도록 야기하는 실행 가능한 명령어들을 가진 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 상기 방법은

- 제1 저역 통과 필터에 의해 상기 입력 데이터 구조(S_0)를 필터링하는 단계 - 이에 의해, 저주파수 입력 데이터 구조(L_0)가 획득됨 - ;
- 상기 입력 데이터 구조(S_0)와 상기 저주파수 입력 데이터 구조(L_0) 간의 차이를 계산하고 - 이에 의해, 고주파수 입력 데이터 구조(H_0)가 생성됨 - , 상기 입력 데이터 구조(S_0)를 업스케일링하며, 상기 업스케일링된 입력 데이터 구조를 제2 저역 통과 필터에 의해 필터링하는 단계 - 저주파수 업스케일링 데이터 구조(L_1)가 획득됨 - ;
- 상기 저주파수 업스케일링 데이터 구조(L_1)에서 제1 위치의 제1 패치를 결정하는 단계;
- 상기 저주파수 입력 데이터 구조(L_0)에서 상기 제1 패치에 가장 일치하는 제1 블록을 탐색하고, 상기 저주파수 입력 데이터 구조(L_0) 내의 상기 제1 블록의 위치를 결정하는 단계;
- 상기 저주파수 입력 데이터 구조 내의 상기 제1 블록에 대해 결정된 위치에서 상기 고주파수 입력 데이터 구조(H_0)의 제2 블록을 선택하는 단계;
- 가산에 의해, 상기 선택된 제2 블록의 픽셀 데이터를 제2 패치에 누산하는 단계 - 상기 제2 패치는 상기 제1 위치에서 고주파수 업스케일링 데이터 구조의 패치이고, 상기 고주파수 업스케일링 데이터 구조는 초기에 비어 있음 - ;
- 상기 저주파수 업스케일링 데이터 구조(L_1)에서 새로운 패치를 결정하는 단계, 상기 저주파수 입력 데이터 구

조(L_0)에서 상기 선택된 패치에 가장 일치하는 블록을 탐색하는 단계, 상기 고주파수 입력 데이터 구조(H_0)에서 대응 블록을 선택하는 단계 및 상기 새로운 패치의 위치에서 상기 고주파수 업스케일링 데이터 구조의 패치에 상기 선택된 대응 블록의 픽셀 데이터를 누산하는 단계를 반복하는 단계;

- 상기 고주파수 업스케일링 데이터 구조의 누산된 픽셀 값들의 평균을 넘으로써 정규화하는 단계 - 이에 의해, 정규화된 고주파수 업스케일링 데이터 구조(H_1)가 획득됨 -, 및 상기 정규화된 고주파수 업스케일링 데이터 구조(H_1)를 저주파수 업스케일링 데이터 구조(L_1)에 추가하는 단계 - 이에 의해, 과-분해된 데이터 구조(S_1)가 획득됨 -

를 포함하는 컴퓨터 판독 가능 매체.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 저해상도 입력 데이터 구조의 초고해상도 버전을 생성하는 방법 및 대응 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 초고해상도(super-resolution; SR) 프로세싱은 정기적으로 샘플링된 다차원 신호들의 해상도의 향상으로서 공지된 것이다. 특별 관심사는 저해상도 신호만이 이용가능한 경우이다. 단일 저해상도 신호가 이용가능한지 또는 복수의 유사한 저해상도 신호들이 이용가능한지의 차이는 상당한데, 후자의 경우에 수개의 이용가능한 신호들의 기여들(contributions)을 결합함으로써 더 풍부한 데이터 값들을 이용할 수 있기 때문이다. 이미지 프로세싱 문헌에서, 이 방법들은 일반적으로 일레-기반 초고해상도 또는 더 정확히 말해서 단일-이미지 초고해상도와 관련된다. 이하의 설명은 일반적이고 상이한 차원의 신호들에 적용될 수 있지만, 2D 이미지 초고해상도의 경우에 집중할 것이다.

[0003] M. Irani 및 S. Peleg에 의한 "Super Resolution from Image Sequences"로 시작해서, 이미지 초고해상도 기술들이 다년간 널리 공지되어 왔다. 가장 흔하게는, 이 기술들은 이미지 형성 모델을 역으로 하는 재구성 프로세스를 사용한, 비디오 시퀀스의 연속 이미지들 등의 잡음이 있고 흐릿한 저해상도 관찰들의 집합을 고려할 때, 고해상도 이미지의 추정과 관련된다. 따라서, 이미지들 간의 서브-픽셀 움직임, 카메라 및 후처리 블러 및 서브-샘플링은 이용가능한 데이터를 융합하고 과-분해된(super-resolved) 이미지를 획득하기 위해 반전된다. 수개의 전 세계적 최적 반복 기술들이 이용가능하며, 이들은 기본적으로 추정된 이미지 사전 모델이 상이할 것이다. 이는 다른 부적절한 문제에 대한 독특한 해결책들을 제공한다.

[0004] 일반적으로, 이 기술들의 한계 요인들은 이미지 디블러링(image deblurring)(종종 가우시안(Gaussian)으로 추정됨) 및 레지스트레이션(registration)(이미지들 간의 서브-픽셀 움직임의 결정)을 위한 PSF(Point Spread Function)의 추정에 있다. 일반적으로, 문헌, 예를 들어, Lucas-Kanade 또는 Horn-Schunck의 SR 기술들은 레지스트레이션을 획득하기 위한 전형적인 광학 흐름(OF) 추정 기술들과 관련된다. 이는 준-합성 일레들(quasi-synthetic examples)에서 잘 동작하지만, 실제로 OF 추정의 공지된 해결책들은 더 일반적인 움직임이 나타날 때 충분히 정확하게 비디오-시퀀스들의 연속 프레임들을 강건하게 등록할 수 없다.

[0005] "Fundamental Limits of Reconstruction-Based Superresolution Algorithms under Local Translation"에서, Z. Lin 및 H.-Y. Shum은, 광범위한 자연 조건들에서, 이러한 타입의 재구성-기반 SR 알고리즘들이 대략 1.6x의 해상도의 최대 증가의 기본 한계를 가짐을 보여준다. 그러나, 본 문헌은, 대부분의 이용가능한 출판물에서 통상 사용되는 합성 시나리오들에서, 훨씬 더 느슨한 한계가 존재하며, 이는 최대 5.7x의 해상도 증가를 가능케 한다고 입증한다. 이는, 서브-픽셀 시프트들이 일반적으로 픽셀 크기의 정확한 분수들(fractions)일 때, 레지스트레이션의 면에서 유리한 조건들로 인한 것이다.

[0006] 다른 타입의 SR 알고리즘들은 더 높은 해상도의 선형적 공지된 일레들로 입력 비주얼 데이터(저해상도 이미지들)를 적절히 풍부하게 함으로써 이미지들의 해상도를 증가시키고자 시도한다. 이 기술들은 통상 일레-기반 초고해상도(example-based super-resolution; EBSR)라고 한다. "일레-기반 초고해상도"에서, W.T. Freeman, T.R. Jones 및 E.C. Pasztor는 충분히 일반적인 이미지-패치 데이터-베이스로부터 적합한 고해상도 일레들을 획득하며, 그의 고주파수 콘텐츠는 평균화되고 입력 이미지의 저주파수 콘텐츠와 편리하게 융합된다. 그러나, (공지된 패치들 중 어느 것도 실제로 입력 이미지의 것과 닮지 않을 때) 목표 장면이 일레 데이터-베이

스에 포함된 경우들로부터 벗어남에 따라, 알고리즘의 성능은 악화된다. 실제로, 데이터-베이스의 크기의 확대는 가장 일치하는 트레이닝 패치들을 탐색할 때 과도한 계산 비용을 초래한다. 따라서, 이 기술은 일반적으로 사용 가능하지 않지만, 특정 부류의 과-분해 이미지들에 집중된다.

[0007] 이러한 문제에 대처하고, 확대될 콘텐츠에 적응하여 동작하기 위해, 다른 EBSR 알고리즘들은 단일 입력 이미지 내에서 고해상도 일레들을 추출하며, 상이한 해상도들의 이미지의 피라미드 표현이 작은 다운스케일링 인자들로 획득될 수 있다. 그 후, 입력 이미지의 모든 패치(예를 들어, 5×5 픽셀들)에 대해, 일치하는 패치들이 재구성-기반 초고해상도에 유사하게 패치당 데이터 융합(per-patch data fusion)을 실행하기 위해 상이한 해상도들(피라미드의 레벨들)에서 이미지의 전부 또는 일부에 걸쳐 탐색된다. 이 기술은 D. Glasner, S. Bagon 및 M. Irani에 의한 "Super-Resolution from a Single Image", 및 비디오 초고해상도의 후속인, O. Shahar, A. Faktor 및 M. Irani에 의한 "Space-Time Super-Resolution from a Single Video"에 의해 가장 잘 표현된다. 저자들은 수개의 공간 및 시간 스케일들의 비디오 프레임들에 걸친 3D 시공간 탐색으로 인해 계산 복잡성의 증가를 희생하고, 시간적 에일리어싱(temporal aliasing)의 제거를 포함해서, 이미지 해상도 및 프레임 레이트의 동시 증가를 획득한다. 이는 접근방식이 현재 계산 능력들로 실시간 동작에서 사용될 수 없게 한다. 이 접근 방식은 W02010/122502 A1에서 또한 사용된다.

[0008] 다른 공지된 접근방식들은 또한 비용이 많이 들고 일반적으로 실시간 접근방식들에 나타나지 않거나, 또는 과도한 콘트라스트를 부과함으로써 일부 비현실적으로 보이는 예지들을 생성하는 경향이 있거나, 또는 일반적인 경우에 부자연스럽게 보이는 이미지들을 생산하는 특별한 질감이 있는 영역(textured areas)의 과-평활화(over-smoothing)를 발생시키는 경향이 있는 것으로 어려움을 겪는다.

[0009] G. Freeman 및 R. Fattal에 의한 "Image and Video Upscaling from Local Self-Examples"에서, 제안된 기법은 각각의 이미지 패치의 로컬 이웃의 자기-유사성(self-similarity)을 사용하는 것이다. 이는, 감소된 계산 시간의 이득과 함께, "Super-Resolution from a Single Image"에서 사용된 풀-이미지 탐색들에 가까운 결과들을 제공하는 것으로 나타난다. 이 접근방식의 단점은, 이미지들에서 고 주파수를 저주파수로부터 분리하는데 사용된 공간-변형 필터들(space-variant filters)의 매우 정교한 설계가 온 더 플라이(on the fly) 실행되지 않으며, 이는 제한된 집합의 선택 가능한 업-스케일링 인자들을 야기한다는 점이다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명은 전술한 문제점들 중 적어도 일부를 해결한다. 본 발명은 정기적으로 샘플링된 다차원 신호들의 해상도를 향상하기 위한 방법에 관한 것이며, 여기서 단일 저해상도 신호가 이용가능하다. 이미지 프로세싱 문헌에서, 이 방법들은 일반적으로 일레-기반 초고해상도, 또는 더 정확히 말해서, 단일-이미지 초고해상도와 관련된다. 본 명세서에서 개시된 방법이 일반적이고 상이한 차원의 신호들에 적용될 수 있지만, 이하는 2D 이미지 초고해상도의 경우에 집중될 것이다.

[0011] 본 발명에 따르면, 단일 이미지의 과-분해는 3개의 단계들을 포함한다. 먼저, 입력 이미지의 내삽-기반 업스케일링이 실행되고, 저해상도 이미지에 대한 동등한 저역 통과 필터링 동작이 이어진다. 제2 단계는 고해상도 이미지의 검사 패치와 (부분적으로 오버랩되는 패치들을 포함하는) 저해상도 저주파수 이미지의 로컬 이웃의 패치들 간의 저주파수 일치들에 대한 탐색, 및 저해상도 이미지로부터 획득된 대응 고주파수 기여의 누산을 포함한다. 제3 단계는 고해상도 이미지의 저주파수 대역 및 외삽 고주파수 대역의 기여들을 가산하는 단계를 포함한다.

[0012] 원칙적으로, 본 발명에 따라 단일 저해상도 디지털 입력 데이터 구조 S_0 의 초고해상도 버전을 생성하는 방법은 단일 저해상도 디지털 입력 데이터 구조 S_0 를 업스케일링 및 저역 통과 필터링하여 업스케일링된 고해상도 데이터 구조의 저주파수 부분 L_1 을 획득하는 단계, 및 저해상도 디지털 입력 데이터 구조 S_0 를 저주파수 부분 L_0 및 고주파수 부분 H_0 으로 분리하는 단계를 포함한다. 업스케일링된 고해상도 데이터 구조의 고주파수 부분 $H_{1,init}$ 이 생성되는데, 이는 초기에는 비어 있다. 그 후, 업스케일링된 고해상도 데이터 구조의 저주파수 부분 L_1 의 복수의 패치들 각각에 대해, 저해상도 디지털 입력 데이터 구조의 저주파수 부분 L_0 의 가장 일치하는 블록이 탐색되며, 저해상도 디지털 입력 데이터 구조의 고주파수 부분 H_0 의 대응 블록이 결정된다. 그 후, 업스케일링된 고해상도 데이터 구조의 저주파수 부분 L_1 의 상술된 패치가 가진 위치에서, 저해상도 디지털 입력 데이터 구조의 고

주파수 부분 H_0 으로부터 결정된 블록이 업스케일링된 고해상도 데이터 구조의 고주파수 부분 $H_{1,acc}$ 에 추가된다. 마지막으로, 업스케일링된 고해상도 데이터 구조의 결과 고주파수 부분 $H_{1,acc}$ 가 기여 픽셀들의 평균값으로 정규화되고, 일 실시예에서, 고역 통과 필터링된다. 업스케일링된 고해상도 데이터 구조의 정규화된 고역 통과 필터링된 고주파수 부분 H_1 은 업스케일링된 고해상도 데이터 구조의 저주파수 부분 L_1 에 추가되어, 단일 저해상도 디지털 입력 데이터 구조 S_0 의 향상된 초고해상도 버전 S_1 이 야기된다.

[0013] 더 나은 가독성(readability)을 위해, 용어 "블록(block)"은 저해상도 데이터 구조의 인접한 값들의 그룹으로 본 명세서에서 사용되며, 용어 "패치(patch)"는 고해상도 데이터 구조의 인접한 값들의 그룹으로 사용됨이 주목된다. 그러나, 블록 및 패치는 동일한 크기(즉, 인접한 값들의 수 및 형태)를 가지며, 실질적으로 동일하다.

[0014] 본 발명은 또한 디지털 데이터의 저해상도 입력 데이터 구조 S_0 의 초고해상도 프로세싱을 실행하는 장치에 관한 것으로, 본 장치는 입력 데이터 구조 S_0 을 필터링하기 위한 제1 저역 통과 필터 $F_{1,0}$ - 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 이 획득됨 - , 입력 데이터 구조 S_0 및 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 간의 차이를 계산하기 위한 추출 유닛(예를 들어, 가산기, 감산기, 비교기 또는 미분기) - 이에 의해, 고주파수 입력 데이터 구조 H_0 이 생성됨 - , 입력 데이터 구조 S_0 을 업스케일링하기 위한 업스케일러, 업스케일링된 입력 데이터 구조를 필터링하기 위한 제2 저역 통과 필터 $F_{1,1}$ - 저주파수 업스케일링 데이터 구조 L_1 이 획득됨 - , 저주파수 업스케일링 데이터 구조 L_1 에서 제1 위치의 제1 패치를 결정하기 위한 제1 결정 유닛, 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 에서 제1 패치에 가장 일치하는 제1 블록을 탐색하기 위한 탐색 유닛, 및 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 내의 상기 제1 블록의 위치를 결정하기 위한 제2 결정 유닛, 결정된 위치에서(즉, 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 내의 제1 블록에 대해 결정된 위치에서) 고주파수 입력 데이터 구조 H_0 의 제2 블록을 선택하기 위한 선택기, 선택된 제2 블록의 픽셀 데이터를 제2 패치에 누산(예를 들어, 합산)하기 위한 누산기 - 제2 패치는 제1 위치에서의 고주파수 업스케일링 데이터 구조의 패치임 - , 저주파수 업스케일링 데이터 구조들 L_1 및 $H_{1,acc}$ 에서 복수의 패치들에 대한 프로세싱의 반복을 제어하기 위한 제어 유닛, 고주파수 업스케일링 데이터 구조의 누산된 픽셀 값들을 정규화(즉, 평균화)하기 위한 정규화 유닛 - 정규화된 고주파수 업스케일링 데이터 구조 H_1 이 획득됨 - , 및 정규화된 고주파수 업스케일링 데이터 구조 H_1 을 저주파수 업스케일링 데이터 구조 L_1 에 결합(예를 들어, 추가)하기 위한 결합 유닛 - 이에 의해, 과-분해된 데이터 구조 S_1 이 획득됨 - 을 포함한다. 고주파수 업스케일링 데이터 구조($H_{1,acc}$)는 초기에 비어 있다. 일 실시예에서, 정규화는, 현재 픽셀에 대해, 현재 픽셀의 누산된 값을 현재 픽셀의 누산된 값에 기여한 픽셀들의 수로 나누는 것을 포함한다.

[0015] 본 발명은 또한 디지털 데이터의 저해상도 입력 데이터 구조 S_0 의 초고해상도 프로세싱을 실행하는 방법을 컴퓨터가 실행하도록 야기하는 실행 가능한 명령어들을 가진 컴퓨터 판독 가능 매체에 관한 것으로, 상기 방법은 제1 저역 통과 필터에 의해 입력 데이터 구조 S_0 을 필터링하는 단계 - 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 이 획득됨 - ,

[0016] 입력 데이터 구조 S_0 및 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 간의 차이를 계산하고 - 이에 의해, 고주파수 입력 데이터 구조 H_0 이 생성됨 - , 입력 데이터 구조 S_0 을 업스케일링하며, 업스케일링된 입력 데이터 구조를 제2 저역 통과 필터에 의해 필터링하는 단계 - 저주파수 업스케일링 데이터 구조 L_1 이 획득됨 - ,

[0017] 저주파수 업스케일링 데이터 구조 L_1 에서 제1 위치의 제1 패치를 결정하는 단계, 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 에서 제1 패치에 가장 일치하는 제1 블록을 탐색하고, 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 내의 상기 제1 블록의 위치를 결정하는 단계, 결정된 위치에서(즉, 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 내의 제1 블록에 대해 결정된 위치에서) 고주파수 입력 데이터 구조 H_0 의 제2 블록을 선택하는 단계, 선택된 제2 블록의 픽셀 데이터를 제2 패치에 누산(즉, 합산)하는 단계 - 제2 패치는 제1 위치에서의 고주파수 업스케일링 데이터 구조의 패치이고, 고주파수 업스케일링 데이터 구조는 초기에 비어 있음 - ,

[0018] 저주파수 업스케일링 데이터 구조 L_1 에서 새로운 패치를 결정하는 단계, 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 에서 선택된 패치에 가장 일치하는 블록을 탐색하는 단계, 고주파수 입력 데이터 구조 H_0 에서 대응 블록을 선택하는 단계

및 상기 새로운 패치의 위치에서 고주파수 업스케일링 데이터 구조의 패치에 선택된 대응 블록의 픽셀 데이터를 누산하는 단계를 반복하는 단계,

[0019] 고주파수 업스케일링 데이터 구조의 누산된 픽셀 값들을 정규화(즉, 평균화)하는 단계 - 정규화된 고주파수 업스케일링 데이터 구조 H_1 이 획득됨 - , 및 정규화된 고주파수 업스케일링 데이터 구조 H_1 을 저주파수 업스케일링 데이터 구조 L_1 에 추가하는 단계 - 이에 의해, 과-분해된 데이터 구조 S_1 이 획득됨 - 를 포함한다.

[0020] 본 발명의 장점은 (적어도 일 실시예에서) 임의의 원하는 비-정수 이미지 업스케일링 인자(non-integer image up-scaling factor)로 임의의 1D, 2D 또는 3D 디지털 입력 데이터 구조(예를 들어, 임의의 디지털 이미지)의 더 높은 해상도의 표현들(renditions)을 생산할 수 있다는 점이다. 더욱이, 이는 상이한 해상도 레벨들에서 이미지가 로컬 자기-유사성을 보여주어야만 한다는 가정을 넘어서, 임의적인 사전 이미지(arbitrary image priors)의 도입으로부터 자유로운, 일반적인 방식으로 실행된다. 이것은 일반적인 이미지들에 대해 유지되는 것으로 판명되었다.

[0021] 본 발명의 다른 장점은, 사용된 자체-평균화(self-averaging)로 인해, 종래의 방법들보다 더 적은 잡음이 업스케일링된 데이터 구조에서 도입된다는 점이다. 본 발명의 다른 장점은, 종래의 단일-이미지 방법들은 고주파수 일레들의 트레이닝 검색을 위한 데이터-베이스를 요구하는 반면, 단일-이미지로 작업하지만, 유익하게 데이터-베이스, 코드 북 또는 유사한 것을 요구하지 않고, 임의의 트레이닝 또는 트레이닝 데이터를 요구하지 않는다는 점이다.

[0022] 본 발명의 유익한 실시예들이 종속 청구항들, 이하의 설명 및 도면들에 개시된다.

도면의 간단한 설명

[0023] 본 발명의 예시적인 실시예들은 첨부 도면들을 참조해서 기술된다.

도 1은 초고해상도 프로세싱을 실행하기 위한 방법의 흐름도이다.

도 2는 원래의 해상도 스케일에서 유사한 패치들의 고주파수 정보의 외삽에 의해 과-분해된 이미지의 고주파수 대역의 합성을 도시한다.

도 3은 탐색 윈도우(search window)의 예시적인 사용 및 위치들을 도시한다.

도 4는 오버랩을 포함하는 2D 입력 데이터 구조의 연속 패치들의 선택 및 연속 패치들에 대한 일치 블록을 결정하는 원리를 도시한다.

도 5는 오버랩을 포함하는 1D 입력 데이터 구조의 연속 패치들의 선택 및 연속 패치들에 대한 일치 블록(matching block)을 결정하는 원리를 도시한다.

도 6은 고해상도 이미지의 업스케일링된 저주파수 대역 L_1 의 형성 및 저해상도 입력 이미지 S_0 의 2-대역 분석(L_0, H_0)을 도시한다.

도 7은 과-분해된 이미지의 고주파수 대역 H_1 을 합성하기 위한 프로세스의 개념 블록도이다.

도 8은 과-분해된 이미지 S_1 을 생성하기 위한 내삽된 저주파수 대역(interpolated low-frequency band) L_1 및 외삽된 고주파수 대역(extrapolated high-frequency band) H_1 의 융합을 도시한다.

도 9는 장치의 블록도이다.

도 10은 종래의 업스케일링된 이미지의 스펙트럼과 비교되는 본 발명에 따라 업스케일링된 이미지의 스펙트럼을 도시한다.

도 11은 본 발명의 3개의 원리 단계들을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 도 1은, 본 발명의 일 실시예에서, 디지털 1D, 2D 또는 3D 데이터의 저해상도 입력 데이터 구조 S_0 의 초고해상도 프로세싱을 실행하는 방법의 흐름도를 도시한다. 본 실시예에서, 본 방법은 제1 저역 통과 필터 $F_{L,0}$ 에 의해

입력 데이터 구조 S_0 을 필터링하는 단계(170) - 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 이 획득됨 - ,

[0025] 입력 데이터 구조 S_0 및 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 간의 차이를 가산기/감산기에서 계산하는 단계(180) - 이에 의해, 고주파수 입력 데이터 구조 H_0 이 생성됨 - ,

[0026] 입력 데이터 구조 S_0 을 업스케일링하고(120), 업스케일링된 입력 데이터 구조를 제2 저역 통과 필터 $F_{1,1}$ 에 의해 필터링하는 단계(130) - 저주파수 업스케일링 데이터 구조 L_1 이 획득됨 - ,

[0027] 저주파수 업스케일링 데이터 구조 L_1 에서 제1 위치의 제1 패치 $P_{n,L1}$ 을 결정하는 단계,

[0028] 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 에서 제1 패치 $P_{n,L1}$ 에 가장 일치하는 제1 블록 $B_{n,L0}$ 을 탐색하고, 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 내의 상기 제1 블록 $B_{n,L0}$ 의 위치를 결정하는 단계(151, 152, 154);

[0029] 결정된 위치에서 고주파수 입력 데이터 구조 H_0 의 제2 블록 $B_{n,H0}$ 을 선택하는 단계(155), 선택된 제2 블록 $B_{n,H0}$ 의 데이터 값들(예를 들어, 픽셀 데이터)을 제2 패치 $P_{n,H1}$ 에 누산하는 단계(157) - 제2 패치는 (제1 패치 $P_{n,L1}$ 에 대해 위에서 결정된) 제1 위치에서의 고주파수 업스케일링 데이터 구조 $H_{1,acc}$ 의 패치임 - ,

[0030] 저주파수 업스케일링 데이터 구조 L_1 에서 새로운 패치 $P_{n,L1}$ 을 결정하는 단계, 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 에서 선택된 패치 $P_{n,L1}$ 에 가장 일치하는 블록 $B_{n,L0}$ 을 탐색하는 단계(151, 152, 154), 고주파수 입력 데이터 구조 H_0 에서 대응 블록 $B_{n,H0}$ 을 선택하는 단계(155) 및 상기 새로운 패치 $P_{n,L1}$ 의 위치에서 고주파수 업스케일링 데이터 구조 $H_{1,acc}$ 의 패치 $P_{n,H1}$ 에 선택된 대응 블록 $B_{n,H0}$ 의 픽셀 데이터를 누산하는 단계(157)를 반복하는 단계(150), 및

[0031] 고주파수 업스케일링 데이터 구조 $H_{1,acc}$ 의 누산된 픽셀 값들을 정규화하는 단계(190) - 정규화된 고주파수 업스케일링 데이터 구조 H_1 이 획득됨 - 를 포함한다. 마지막으로, 과-분해된 데이터 구조 S_1 이 정규화된 고주파수 업스케일링 데이터 구조 H_1 을 저주파수 업스케일링 데이터 구조 L_1 에 추가함으로써 획득된다.

[0032] 일부 실시예들에서, 제2 저역 통과 필터 $F_{1,1}$ 에 의한 필터링(130) 후의 업스케일링된 입력 데이터 구조는 다운스케일링 인자 d 에 의해 다운스케일링되며(140), $n > d$ 이다. 따라서, 총 비-정수 업스케일링 인자 n/d 가 저주파수 업스케일링 데이터 구조 L_1 에 대해 획득된다. 고주파수 업스케일링 데이터 구조 $H_{1,init}$ (또는 H_1 각각)는 저주파수 업스케일링 데이터 구조 L_1 과 동일한 크기를 가진다. H_1 의 크기는 미리 정의될 수 있으며, 또는 L_1 로부터 유도될 수 있다. H_1 은 초기화 단계(160)에서 이 크기의 비어 있는 데이터 구조 $H_{1,init}$ 로 초기화된다.

[0033] 도 2는 원래의 해상도 스케일 H_0 에서 유사한 패치들의 고주파수 정보의 외삽에 의해 과-분해된(즉, 고해상도) 이미지의 고주파수 대역 H_1 의 합성의 원리를 도시한다. 도 2-도 7에 관한 이하의 설명에서, 고주파수 고해상도 데이터 구조 H_1 이 언급되면, 실제로 필터링되지 않은 비-정규화 고주파수 고해상도 데이터 구조 $H_{1,acc}$ 를 의미함을 주지한다.

[0034] 고해상도 이미지의 저주파수 대역 L_1 이 먼저 특정 오버랩을 가진 작은 패치들 $P_{n,L1}$ (예를 들어, 5×5 픽셀들)로 분할된다. 오버랩의 양의 선택은 고주파수 아티팩트들에 대한 강건성(더 많은 오버랩의 경우)과 계산 속도(더 적은 오버랩의 경우)의 균형을 유지한다. 일 실시예에서, 각각의 방향의 20-30%의 오버랩이, 즉, 예를 들어, 5 값들, 2 값들의 오버랩을 가진 인접 패치들에 대해 선택된다. 다른 실시예들에서, 오버랩은, 예를 들어, 30-40%, 40-50%, 대략 50%(예를 들어, 45-55%) 또는 최대 90%로 더 높다. 패치 크기의 20% 아래의 오버랩의 경우, 본 발명의 후술되는 효과는 통상 더 낮다.

[0035] 상술된 바와 같이, 또한, 더 후술되는 바와 같이, 최종 고주파수 대역 H_1 은 각각의 픽셀에 기여한 패치들의 수로 정규화한 후에 획득되어서, 평균값이 야기된다. 패치들 간의 오버랩이 클수록, 고주파수 외삽 프로세스로부터 야기되는 고주파수 아티팩트들의 억제도 더 나으며, 더 많은 값들이 누산된다.

[0036] 그 후, 각각의 저주파수 고해상도 패치 $P_{n,L1}$ 에 대해, MAD(mean absolute difference, 움직임 추정으로부터 알려짐)의 면에서 최상의 일치가 저해상도 이미지의 저주파수 대역 L_0 에 대한 로컬 탐색 윈도우(예를 들어, 11×11 픽

셀들)의 철저한 탐색 후에 획득된다. 최상의 일치는 저주파수 고해상도 패치 $P_{n,L1}$ (예를 들어, 5×5 픽셀들)과 동일한 크기를 가진 저주파수 고해상도 이미지 L_0 로부터의 블록 $P_{n,L0}$ 이다. 탐색 윈도우에 대한 더 많은 세부 사항들은 도 4와 관련하여 후술된다.

[0037] 다음 단계의 이해를 위해, 도 2에 도시된 바와 같이 저해상도 저주파수 데이터 구조 L_0 이 저해상도 고주파수 데이터 구조 H_0 과 동일한 차원을 가지고, 고해상도 저주파수 데이터 구조 L_1 이 고해상도 고주파수 데이터 구조 H_1 과 동일한 차원을 가짐을 유지하는 것이 중요하다. 모든 패치에 대해, (L_0 내의) 일치하는 저주파수 저해상도 패치 $P_{n,L0}$ 의 위치가 결정되고, 일치하는 저주파수 저해상도 패치 $P_{n,L0}$ 의 위치에서 (H_0 내의) 대응 저해상도 고주파수 패치 $P_{n,H0}$ 가 추출된다. H_0 으로부터 추출된 저해상도 고주파수 패치 $P_{n,H0}$ 은, 그 후, 고해상도 저주파수 데이터 구조 L_1 의 현재 패치 $P_{n,L1}$ 가 가진 동일한 위치에서, 고해상도 이미지의 고주파수 대역 H_1 에 누산된다. 상세하게, H_0 으로부터 추출된 저해상도 고주파수 패치 $P_{n,H0}$ 의 각각의 값(예를 들어, 픽셀)은 고해상도 이미지의 고주파수 대역 H_1 의 각각의 패치의 대응 값(예를 들어, 픽셀)에 누산된다. 이러한 방법으로, 고해상도 이미지의 고주파수 대역 H_1 은 패치 단위 누산(patch-wise accumulation)에 의해 합성된다. 고해상도 이미지의 저주파수 대역 L_1 을 오버랩 패치들로 분할하고, 최상의 저주파수 일치를 찾고, 대응 고주파수 기여를 누산하는, 프로세스가 도 3에 도시되며, 후술된다.

[0038] 그 결과, 고해상도 데이터 구조의 결과적인 (예비) 고주파수 대역 H_1 의 각각의 값은 복수의 기여 패치들로부터의 값들의 합이다. L_1 의(및 따라서, 또한, 둘 다 동일한 차원을 가지므로, H_1 의) 패치 오버랩으로 인해, 적어도 2개의 패치들로부터의 값들이 H_1 의 다수의 또는 모든 값들에 기여한다. 따라서, 고해상도 데이터 구조의 결과적인 (예비) 고주파수 대역 H_1 은 정규화된다(190). 이를 위해, 고주파수 고해상도 데이터 구조 H_1 의 각각의 값에 대한 H_0 으로부터의 기여 값들의 수가 합성 프로세스 중에 카운트되고, $H_{1,acc}$ 의 각각의 누산된 값은 결국 기여들의 수로 나누어진다.

[0039] 도 3은 저해상도 저주파수 데이터 구조 L_0 내의 탐색 윈도우의 사용 및 위치 결정(positioning)을 예시적으로 도시한다. L_1 의 제1 패치 $P_{11,L1}$ 에 대해, 제1 가장 일치하는 블록 $P_{11,L0}$ 이 제1 탐색 윈도우 W_{11} 내의 L_0 에서 탐색된다. 두 패치들은 동일한 크기를 가진다. 탐색 윈도우는 (제1 패치에 관해 말하자면, 예지들 위를 제외하고) 각각의 방향으로 적어도 하나의 값만큼 패치보다 더 크다. 본 일례에서, 제1 가장 일치하는 블록 $P_{11,L0}$ 은 제1 탐색 윈도우 W_{11} 의 상부 좌측 코너의 L_0 에서 발견된다. 이 패치 및 블록에 대한 차후 프로세스는 상술된 바와 같다. 그 후, 다음 패치들이 수평으로 및/또는 수직으로 시프트되고, 각각의 패치는 이전 패치를 오버랩한다.

[0040] 본 일례에서, 제2 패치 $P_{12,L1}$ 이 주어진 패치 어드밴스(patch advance) 만큼 수평으로 시프트된 위치에서 선택된다. 패치 어드밴스는 패치 크기와 오버랩 간의 차이이다. 상이한 차원들(예를 들어, 2D 데이터 구조들의 수평 및 수직)의 패치 어드밴스들은 상이할 수 있으며, 이는 고해상도 출력 데이터 구조의 차원들의 상이한 효과들 또는 품질들을 야기할 수 있지만, 통상 동일하다. 새로운 탐색 윈도우 W_{12} 가 새로운 패치 위치에 따라 결정된다. 원칙적으로, 탐색 윈도우들은 패치와 동일한 방향으로 전진하지만, 더 느리다. 따라서, 본 명세서에서 그러하듯이, 현재 탐색 윈도우는 이전 탐색 윈도우와 동일한 위치에 있을 수 있다. 그러나, 다른 패치 $P_{12,L1}$ 가 탐색 윈도우에서 탐색되므로, 가장 일치하는 패치 $P_{12,L0}$ 의 위치는 통상 상이할 것이다. 그 후, 가장 일치하는 패치 $P_{12,L0}$ 은, 상술된 바와 같이, 저주파수 고해상도 패치 $P_{12,L1}$ 의 위치에서 고해상도 고주파수 데이터 구조 H_1 에 누산된다. 다음 패치들 $P_{13,L1}$, $P_{14,L1}$ 이 결정되고, 그 최상의 일치들이 동일한 방법으로 탐색된다. 도 3에 도시된 바와 같이, 탐색 윈도우 내의 가장 일치하는 블록의 위치는 임의적이며, 입력 데이터(예를 들어, 이미지 콘텐츠)에 좌우된다. 상기 설명은 1차원(1D) 데이터 구조에 충분하다. 2D 데이터 구조들의 경우, 추가의 다음 패치의 위치가 수직 패치 어드밴스에 의해 발견된다(이는 수평 패치 어드밴스와 조합될 수도 조합되지 않을 수도 있음). 또한, $P_{21,L1}$, ..., $P_{23,L1}$ 에 대해 전술되고 도 3에 도시된 바와 같이, 수직 패치 어드밴스는 오버랩을 포함한다.

[0041] 탐색 윈도우의 위치는 현재 패치의 위치에 따라 결정된다. 도 3에 도시된 바와 같이, 상이한 패치들의 탐색 윈도우들 W_{11} , ..., W_{22} 는 오버랩한다. L_0 이 L_1 보다 더 작은 데이터 구조이므로, 각각의 차원의 탐색 윈도우 어드밴스는

매우 작다. 일 실시예에서, 탐색 윈도우들은 그 대응 패치가 L_1 의 에지 위에 있는 경우 L_0 의 에지 위에 있으며, 이 에지들 사이에서 균일하게 밋/또는 비례해서 이동된다.

[0042] 일 실시예(도 3에 도시되지 않음)에서, 탐색 윈도우의 중심은 패치의 중심에 실질적으로 비례하는 위치에 설정된다. 예를 들어, 패치의 중심이 고해상도 데이터 구조 L_1 의 3%에 있는 경우, 탐색 윈도우의 중심은 저해상도 데이터 구조 L_0 의 대략 3%(라운드오프)에 있는 것으로 설정된다. 이 경우에, 에지에 가까운 패치들의 경우, 탐색 윈도우 크기가 감소될 수 있으며, 또는 탐색 윈도우는 저해상도 데이터 구조 L_0 로 완전히 시프트될 수 있다.

[0043] 일반적으로, 탐색 윈도우가 클수록, 매우 유사한 패치를 찾을 가능성이 더 크다. 그러나, 실제로, 로컬 패치 구조가 오직 일반적인 자연 이미지들의 매우 로컬 영역에서만 발견될 가능성이 더 크므로, 탐색 윈도우를 크게 증가 시킴으로써 정확성의 차이는 거의 없는 것으로 예상된다. 더욱이, 탐색 윈도우가 클수록 탐색 중에 더 많은 프로세싱을 요구한다.

[0044] 도 4는 이미지(즉, 2D 입력 데이터 구조)의 연속 패치들의 선택, 오버랩 및 연속 패치들에 대한 일치 블록들을 결정하는 원리의 세부 사항들을 도시한다. 일례로서, 패치들 및 블록들은 5×5 픽셀들을 가지며, 탐색 윈도우들은 12×12 픽셀들을 가진다. L_1 의 제1 패치 $P_{1,L1}$ 에 대해, 상술된 바와 같이, 탐색 윈도우 W_1 이 결정된다. 탐색 윈도우 W_1 내에서, 상이한 블록 위치들에서 제1 패치의 비교가 실행되고, 최소 MAD(mean absolute difference)를 가진 블록 $B_{1,L0}$ 이 결정된다. 이는 가장 일치하는 블록이다. 저해상도 저주파수 데이터 구조 L_0 내의 위치가 결정되는데, 예를 들어, 상부 좌측 코너는 제3 열 및 제3 행에 있다. 그 후, 고주파수 저해상도 이미지 H_0 의 동일한 위치에서 대응 패치가 결정된다. 따라서, 그것은 제3 열 및 제3 행에 있는 상부 좌측 코너의 5×5 픽셀 패치이다. 이 패치는 H_0 으로부터 추출되고, 현재 저주파수 고해상도 패치 $P_{1,L1}$ 의 위치에서, 즉, H_1 의 상부 좌측 코너에서 H_1 에 추가된다(도 4의 (a) 참조).

[0045] 도 4의 (b)에 도시된 바와 같이, 제2 패치 $P_{2,L1}$ 이 사용된 패치 어드밴스에 따라 선택된다. 이 경우에, 패치 어드밴스는 양 차원들에서 2개의 픽셀들이며, 이는 5×5 픽셀들의 패치 크기로 인해, 오버랩이 3임을 의미한다. 따라서, 본 일례에서, 수직 오버랩 v_v 및 수평 오버랩 v_h 가 동일하다. 더 느린 탐색 윈도우 어드밴스로 인해, 탐색 윈도우 W_2 가 이전 패치의 경우와 동일하다. 그러나, (임의적인 이미지 콘텐츠에 따라) 상이한 픽셀 값들로 인해, 탐색 윈도우 내의 다른 가장 일치하는 블록 $B_{2,L0}$ 이 발견된다. 전술한 바와 동일한 방식으로, 그 위치가 결정되며(예를 들어, 7번째 열, 2번째 행의 상부 좌측 코너), (7번째 열, 2번째 행의 상부 좌측 코너의) 대응 5×5 블록이 H_0 으로부터 추출되고, H_0 으로부터 추출된 블록은 제2 패치 $P_{2,L1}$ 의 위치에서, 즉, 제1 행, 제3 열의 상부 좌측 코너에서, 고주파수 고해상도 이미지 H_1 에 추가된다. 따라서, 2개의 또는 그 이상의 상이한 패치들에 속한 특정 픽셀이 대응 픽셀들로부터 가장 일치하는 블록들에 누산된다. 즉, 일례로서, (도 4에 도시된 L_1 의 위치에 대응하는) 고해상도 고주파수 이미지 H_1 의 제4 열, 제5 행의 특정 픽셀은, 기술된 프로세스의 현재 단계에서, (제1 패치의 가장 일치하는 블록 $B_{1,L0}$ 으로부터) 제6 열, 제7 행의 픽셀로부터 또한 (제2 패치의 가장 일치하는 블록 $B_{2,L0}$ 으로부터) 제8 열, 제6 행의 픽셀로부터 누산된 값을 가진다.

[0046] 상술된 바와 같이, 탐색 윈도우는 통상 복수의 패치들이 처리된 후에만 전진한다. 상술된 구성에 대해 도 4의 (c)에 일례로서 도시된 바와 같이, 탐색 윈도우 W_3 이 수평 방향으로 한 픽셀만큼 시프트되기 전에 3개의 패치 어드밴스들이 걸린다(즉, 제4 패치). 또한, 패치 어드밴스(및 따라서 탐색 윈도우 어드밴스)의 각종 차원들의 순차적인 순서는 차이가 없음이 본 명세서에서 주목된다. 따라서, 도 4의 (d)에 도시된 패치는 이전 패치들이 L_1 의 우측 에지까지 시프트된 후에 처리될 수 있지만, 또한 도 4의 (a)에 도시된 바와 같이 제1 패치 직후에 처리될 수도 있다.

[0047] 도 5는 1D 데이터 구조의 대응 일례를 도시한다. 또한, 이 경우에, 저주파수 고해상도 데이터 구조 L_1 의 위치 #1 ... #4의 제1 패치(x 로 표기된 값들)가 저주파수 저해상도 데이터 구조 L_0 의 탐색 윈도우 w_1 내에, 예를 들어, 위치들 #2...#5의 값들에 배치된다. 따라서, 위치들 #2...#5의 대응 H_0 (도시되지 않음)의 값들이 위치들 #1...#4에서 H_1 (도시되지 않음)에 추가된다. 제2 단계에서, L_1 의 위치 #3... #6의 제2 패치는 L_0 의 제2 탐색 윈

도 w_2 내에, 예를 들어, L_0 의 위치들 #3...#6(탐색 원도의 위치들 #2...#5)에 배치된다. 따라서, 위치들 #3...#6에서의 대응 H_0 (도시되지 않음)의 값들이 위치들 #2...#5에서 H_1 (도시되지 않음)에 추가되는 등등이다.

[0048] 1D 및 2D 데이터 구조들에 대해 전술한 바와 동일한 원리가 3D 데이터 구조들을 포함하는 임의의 다차원 데이터 구조들에 또한 적용될 수 있다.

[0049] 상술된 바와 같이, 단일 이미지를 과-분해하는 개시된 방법은 3개의 단계들로 이루어진다. 본 발명의 제1 단계로서, 도 6은 저해상도 입력 이미지 S_0 의 고해상도 이미지 및 2-대역 분석(L_0 , H_0)의 업스케일링된 저주파수 대역 L_1 의 형성의 원리를 도시한다. 본 방법의 제1 단계의 목표는, 저해상도 이미지의 잔여 고주파수 성분 H_0 외에, 일 실시예에서, 분수인 업스케일링 인자로 고해상도 이미지의 저주파수 대역 L_1 을 획득하고, 동일한 정규화된 대역폭으로 저해상도 이미지의 저주파수 대역 L_0 을 획득하는 것이다. 저해상도 입력 이미지 S_0 의 저주파수 부분 L_0 및 고주파수 부분 H_0 으로의 2-대역 분석이 실행된다. 저해상도 이미지의 차단 정규화 주파수(cut-off normalized frequency)는 고해상도 이미지의 것과 동등하다. 일 실시예에서, 분리 가능한 필터들이 스캐어 PSF들(Point Spread Functions)로의 큰 콘볼루션들을 방지하기 위해 사용된다. 이는 내삽 고해상도 필터 $F_{1,1}$ 및 저역 통과 저해상도 필터 $F_{1,0}$ 양자가, 원하는 경우, PSF가 대응 계수 벡터의 텐서곱(tensor product)으로서 계산될 수 있는 1차원 필터로서 충분히 표현될 수 있음을 의미한다($F_{1,1}^{2D} = F_{1,1}F_{1,1}^T$ 및 $F_{1,0}$ 에 대해 대응하여).

[0050] 이하에서, 필터들의 설계의 일 실시예가 기술된다.

[0051] 도 6에 도시된 2개의 필터의 설계는 저해상도 FIR 필터 $F_{1,0}$ 의 차수 N_0 의 임의적인 선택 및 합리적인 업스케일링 인자 n/d 에 의해 주로 결정된다. 종전과 같이, 차수의 선택은 콘볼루션에 대한 유효 계산 시간에 의해 결정된다. 일반적으로, 8...16의 차수의 값들은 가파른 충분한 전이 대역을 제공하기에 충분해야만 한다. $N+1$ 필터 계수들을 야기하는, 차수 N 에 대한 짝수 값들을 선택함으로써, 추가 위상 시프트들이 방지되고, 더 정확한 고주파수 대역이 획득된다. 저역 통과 필터들 $F_{1,1}$ 및 $F_{1,0}$ 둘 다 실제이고, 선형 위상을 가지며, 즉, 유한 임펄스 응답(FIR) 필터들이다. 대응 차단 주파수의 모든 필터의 정규화된 이득은 -6dB로서 정의된다. 계수들은 길이 $N+1$ 의 해밍 윈도우(Hamming window)에 따른 별개의 싱크 함수(sinc function)로서 정의된다. 필터 규모(magnitude)는 일반적으로 윈도우 후의 저역 통과 대역의 중심에서의 스케일링으로서 정의된다.

[0052] 고해상도 내삽 필터

[0053] 이 규칙들을 염두에 두고, 설계할 제1 필터는 고해상도 내삽 필터 $F_{1,1}$ 이다. 저해상도 필터 $F_{1,0}$ 에 대해 원하는 차수 N , 이전 단락으로부터의 합리적인 업스케일링 인자 n/d 및 설계 규칙들을 고려할 때, 오직 손실 파라미터들(missing parameters)은 스케일링 σ_1 (공지된 샘플들 사이에 삽입된 n 개의 제로들에 대처하기 위해), 고해상도 필터의 차수 N_1 및 차단 정규화 주파수 Ω_1 이다. 이 파라미터들은 $\sigma_1 = n$, $N_1 = N_0n$ 및 $\Omega_1 = \min(1/n, 1/d) = 1/n$ 이다. 차단 주파수는 기존 샘플들 사이에 제로들을 삽입해서 유래된 스펙트럼 복제들(spectral replicas)을 제거하는 요구 사항을 따른다.

[0054] 저해상도 등가 저역 통과 필터

[0055] 이 경우에, 기존 샘플들 사이에 제로들이 삽입되지 않았으며, 따라서, 이 필터의 규모는 $\sigma_0 = 1$ 이다. 필터의 차수는 이미 임의대로 정의되었으며, 차단 주파수는 $\Omega_0 = d/n$ 으로 설정된다. 이 값은 고해상도 이미지에 적용된 내삽 필터 후의 데시메이션(decimation)을 보상한다.

[0056] 이 필터 설계에 따라, 저해상도 입력 이미지의 분석된 저주파수 성분들이, 정규화된 대역폭이라는 면에서, 원하는 고해상도 이미지의 저주파수 성분과 일치한다. 역으로, 저해상도 이미지의 분석된 고주파수 성분들이 고해상도 이미지의 손실 고주파수 대역(missing high-frequency band)을 추정하는데 사용될 수 있다.

[0057] 본 발명의 제2 단계의 목적은 입력 이미지의 로컬 자기-유사성을 이용함으로써 고해상도 이미지의 고주파수 대역을 합성하는 것이다. 이는 작은 패치 기준으로(a per-small patch basis) 달성된다; 본 방법은 저해상도 이미지의 분석된 저주파수 성분을 위한 더 넓은 주파수 대역폭(증가된 정보)의 유효성으로 인해, 더 작은 크기 인자들을 사용해서 일반적으로 이득을 얻을 것이며, 이는 유사한 저주파수 콘텐츠를 가진 이미지 패치들에 대한 더 나은 선택성을 제공한다. 이는 도 7에 개략적으로 도시된다. 본 방법의 다른 세부 사항들이 이하에 기술된

다.

[0058] 도 7은 과-분해된 이미지의 고주파수 대역(H_1 , 초기에 0으로 설정됨)을 합성하기 위한 프로세스의 개념 블록도(700)를 일례로서 도시하며, 상기 프로세스는 원칙적으로 저해상도 이미지의 고주파수 대역 H_0 을 외삽함으로써 실행된다. 신호들 $W_1(t)$ 및 $W_0(t)$ 는 처리중인 현재 이미지 패치들에 따라 시간에 따라 변하는 위치들을 가진 공간 원도들이며, 각각, 패치 어드레스 및 탐색 원도 어드레스를 상징한다. 즉, 예를 들어, 고해상도 이미지의 저주파수 대역 L_1 이 분할되는 작은 패치들(예를 들어, 5×5 픽셀들)의 어드레스 및 오버랩은 저주파수 고해상도 데이터 구조 L_1 내에서, 동시에 고해상도 데이터 구조의 고주파수 대역들 H_1 내에서 제1 속도로 전진하는 원도 $W_1(t)$ 로서 이해될 수 있다. 저해상도 이미지의 저주파수 대역 L_0 을 넘은 탐색 원도의 어드레스는 시간-가변 원도 $W_0(t)$ 에 의해 모델링되며, 이는 동일한 방식으로 저해상도 이미지의 고주파수 대역 H_0 에 적용된다. 탐색 유닛(710)은 탐색 원도 내에서 가장 일치하는 블록(즉, 최소 SAD를 가진 블록)에 대한 철저한 탐색을 실행한다. 상술된 바와 같이, 그 위치는 저해상도 이미지의 고주파수 대역 H_0 에 적용된다. 탐색이 특정 지속 기간을 통상 가지므로, 이 지연은 지연 보상 유닛들(720, 730)에 의해 보상된다. 저해상도 고주파수 데이터 구조 H_0 의 대응 패치는 추출 유닛(740)에서 추출되고 누산 유닛(750)에서 고해상도 고주파수 데이터 구조 H_1 에 누산된다. 유사한 실시예들이, 1D 또는 3D와 같이, 2D와 상이한 차원들을 가진 데이터 구조들에 대해 유도될 수 있다.

[0059] 제3 단계는 최종 고해상도 이미지의 형성이다. 이 단계의 목표는 고해상도 이미지의 저주파수 대역 L_1 을 고해상도 이미지의 정규화된 고주파수 대역 H_1 과 적절히 융합하는 것이다. 정규화된 고주파수 고해상도 대역 H_1 은 저주파수 고해상도 대역 L_1 에 추가하기 전에 고역 통과 필터링될 수 있다. 이 고역 통과 필터링은 스펙트럼 호환성을 보장하기 위해 유익하지만, L_1 및 H_1 이 실질적으로 오버랩 주파수들을 갖지 않을 때 생략될 수 있다(도 8의 (b) 참조).

[0060] 도 8은 과-분해된 이미지 S_1 을 생성하기 위한 저주파수 고해상도 대역 L_1 및 정규화된 고주파수 고해상도 대역 H_1 의 융합을 일례로서 도시한다. 정규화된 고주파수 대역 H_1 은 저주파수 대역과의 스펙트럼 호환성을 보장하기 위해 고역 통과 필터(800)를 사용해서 필터링된다.

[0061] 고해상도 고역 통과 필터

[0062] 필터 $F_{h,1}$ 은 제1 단계의 필터들 $F_{l,0}$, $F_{l,1}$ 과 동일한 방식으로 설계된다. 이 경우에, 목표는 차단 주파수는 $\Omega_{l,h} = d/\max(n,d) = d/n$ 을 가진 고역 통과 필터를 획득하는 것이다. 그 차수는 저해상도 필터 차수의 스케일링된 버전으로 설정되고: $N_{l,h} = \text{round}(N_0 n/d)$, 그 크기 $\sigma_{l,h} = 1$ 이다. 분리 가능한 고역 통과 필터의 최종 계수들은 해밍 원도의 중심에 맞추어 조정된 크로네커 델타(Kronecker delta) 마이너스 동일한 차단 주파수를 가진 보완 저역 통과 필터의 계수들로 설정된다. 즉, 고역 통과 필터는 전대역 통과 필터(all pass-filter)(계수들의 집합이 크로네커 델타와 동일함) 마이너스 원하는 고역 통과 필터와 동일한 차단 주파수를 가진 저역 통과 필터로서 정의된다. 이는 도 8의 (b)에 그래픽으로 도시되며, 좌측은 고역 통과 필터의 원하는 주파수 응답 HP이고, 우측은 전대역 통과 필터 AP 및 상술된 저역 통과 필터 LP의 응답들의 차이이다.

[0063] 상술된 설명으로부터 명백해짐에 따라, 고해상도 이미지의 저주파수 대역 L_1 은 원칙적으로 내삽에 의해 획득되며, 고해상도 이미지의 고주파수 대역 H_1 은 원칙적으로 외삽에 의해 획득된다.

[0064] 도 9는 디지털 데이터의 저해상도 입력 데이터 구조 S_0 의 초고해상도 프로세싱을 실행하기 위한 장치를 도시하며, 장치는 입력 데이터 구조 S_0 을 필터링하기 위한 제1 저역 통과 필터(970) - 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 이 획득됨 - , 입력 데이터 구조 S_0 과 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 간의 차이를 계산하기 위한 가산기, 감산기 또는 미분기(980) - 이에 의해, 고주파수 입력 데이터 구조 H_0 이 생성됨 - , 입력 데이터 구조 S_0 을 업스케일링하기 위한 업스케일러(920), 업스케일링된 입력 데이터 구조를 필터링하기 위한 제2 저역 통과 필터(930) - 저주파수 업스케일링 데이터 구조 L_1 이 획득됨 - , 저주파수 업스케일링 데이터 구조 L_1 에서 제1 위치의 제1 패치를 결정하기 위한 제1 결정 유닛(951), 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 에서 제1 패치에 가장 일치하는 제1 블록을 탐색하기 위한 탐색 유닛(952), 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 내의 상기 제1 블록의 위치를 결정하기

위한 제2 결정 유닛(954), 결정된 위치에서(즉, 저주파수 입력 데이터 구조 내의 상기 제1 블록에 대해 결정된 위치에서) 고주파수 입력 데이터 구조 H_0 의 제2 블록을 선택하기 위한 선택기 유닛(955), 선택된 제2 블록의 픽셀 데이터를 제2 패치에 누산(즉, 합산)하기 위한 누산기(957) - 제2 패치는 초기에 비어 있는 제1 위치에서의 고주파수 업스케일링 데이터 구조의 패치임 - , 저주파수 업스케일링 데이터 구조 L_1 에서 복수의 패치들에 대한 프로세싱의 반복을 제어하기 위한 제어 유닛(950), 고주파수 업스케일링 데이터 구조의 누산된 픽셀 값들을 정규화(즉, 평균화)하기 위한 정규화 유닛(990) - 정규화된 고주파수 업스케일링 데이터 구조 H_1 가 획득됨 - , 정규화된 고주파수 업스케일링 데이터 구조 H_1 을 필터링하기 위한 고역 통과 필터(995), 및 정규화된 고역 통과 필터링 고주파수 업스케일링 데이터 구조 H_1 을 저주파수 업스케일링 데이터 구조 L_1 에 결합(예를 들어, 픽셀 단위 추가(pixel-wise adding))하기 위한 결합 유닛(999) - 이에 의해, 과-분해된 데이터 구조 S_1 이 획득됨 - 을 포함한다. 적합한 크기들을 가진 각종 메모리들 $MemL_0$, $MemL_1$, $MemH_0$, $MemH_1$ 은 중간 기억 장치로 사용될 수 있으나, 이 메모리들은 하나의 단일 또는 더 많은 물리 메모리들로서 구현될 수 있다. 원칙적으로, 정규화(또는 평균화)는, 현재 픽셀에 대해, 현재 픽셀의 누산된 값을 현재 픽셀의 누산된 값에 기여한 픽셀들의 수로 나누는 것을 포함한다. 그러나, 실질적으로 동등한 결과들을 야기하는 임의의 정규화 방법이 사용될 수 있다.

[0065] 그 일부가 도 1 및/또는 도 9에 또한 도시된 다른 실시예들이 후술된다.

[0066] 일 실시예에서, 본 방법은 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 에서 제1 탐색 윈도우 W_1 을 결정하는 단계(151, 152)를 더 포함하고, 제1 탐색 윈도우 W_1 은 고주파수 업스케일링 데이터 구조 L_1 의 상기 제1 위치에 대응하는 위치의 블록 주위의 영역을 커버하며, 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 에서 탐색하는 단계(152, 154)는 제1 탐색 윈도우 W_1 내에서만 실행된다. 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 에서 탐색 윈도우 W_1 을 결정하는 단계(151, 152)는 저주파수 업스케일링 데이터 구조 L_1 의 각각의 새로운 패치에 대해 반복된다.

[0067] 일 실시예에서, 탐색 윈도우에 의해 커버되는 영역은 고주파수 업스케일링 데이터 구조 L_1 의 상기 제1 위치에 대응하는 위치의 블록 주위의 저주파수 업스케일링 데이터 구조 L_0 의 각각의 방향의 복수의 값들을 포함한다.

[0068] 일 실시예에서, 저주파수 업스케일링 데이터 구조 L_1 의 각각의 새로운 패치 $P_{n,L1}$ 은 적어도 하나의 이전에 처리된 패치와 오버랩한다.

[0069] 일 실시예에서, 저주파수 업스케일링 데이터 구조 L_1 은 입력 데이터 구조 S_0 을 업스케일링 인자 n 으로 업스케일링하고(120), 상기 제2 저역 통과 필터 $F_{L,1}$ 에 의해 업스케일링된 입력 데이터 구조를 필터링하며(130), 필터링된 업스케일링된 입력 데이터 구조를 다운스케일링 인자 d 로 다운스케일링 유닛(940)에서 다운스케일링(140) 함으로써 획득되며, $n > d$ 이다. 따라서, 최종 비-정수 업스케일링 인자 n/d 가 획득된다.

[0070] 일 실시예에서, 제1 저역 통과 필터 $F_{L,0}$ 및 제2 저역 통과 필터 $F_{L,1}$ 은 동등한 필터들이다(즉, 정규화된 차단 주파수에 관련됨).

[0071] 일 실시예에서, 제1 저역 통과 필터 $F_{L,0}$ 은 차수 N_0 , 크기 $\sigma_0 = 1$ 및 정규화된 차단 주파수 $\Omega_0=d/n$ 의 특성들을 가지며, 제2 저역 통과 필터 $F_{L,1}$ 은 차수 $N_1=nN_0$, 크기 $\sigma_1 = n$ 및 정규화된 차단 주파수 $\Omega_1=1/n$ 의 특성들을 가진다.

[0072] 일 실시예에서, 본 방법은 고주파수 업스케일링 데이터 구조 $H_{1,acc}$ 를 고역 통과 필터 $F_{h,1}$ 로 필터링하는 단계를 더 포함한다. 고역 통과 필터 $F_{h,1}$ 은 정규화된 차단 주파수 $\Omega_{1,h}=d/\max\{d,n\}=d/n$, 차수 $N_{1,h}=\text{round}(N_0*n/d)$ 및 크기 $\sigma_{1,h} = 1$ 을 가진다.

[0073] 일 실시예에서, 본 방법은 저주파수 업스케일링 데이터 구조 L_1 에서 새로운 패치 $P_{n,L1}$ 을 결정하는 단계, 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 에서 선택된 패치 $P_{n,L1}$ 에 가장 일치하는 블록 $B_{n,L0}$ 을 탐색하는 단계(152, 154), 고주파수 입력 데이터 구조 H_0 에서 대응 블록 $B_{n,H0}$ 을 선택하는 단계(155) 및 상기 새로운 패치 $P_{n,L1}$ 의 위치에서 고주파수 업스케일링 데이터 구조 $H_{1,acc}$ 의 패치 $P_{n,H1}$ 에 선택된 대응 블록 $B_{n,H0}$ 의 픽셀 데이터를 누산하는 단계(157)를 더

포함하고, 상기 단계들은 완전한 저주파수 업스케일링 데이터 구조 L_1 이 커버될 때까지 모든 패치들에 대해 반복된다.

[0074] 일 실시예에서, 본 방법은 고주파수 업스케일링 데이터 구조 $H_{1,acc}$ 의 픽셀당 기여 수, 즉, 고주파수 업스케일링 데이터 구조 $H_{1,acc}$ 의 픽셀에 기여한 고주파수 입력 데이터 구조 H_0 로부터의 블록들의 수를 카운트하는 단계를 더 포함한다. 정규화하는 단계(190)는 $H_{1,acc}$ 의 픽셀당 누산된 값을 카운트하는 단계에 의해 획득된 기여 수로 나누는 단계를 포함한다.

[0075] 일 실시예에서, 입력 데이터 구조는 2D 디지털 이미지이다. 다른 실시예에서, 입력 데이터 구조는 3D 디지털 이미지이다. 디지털 이미지는 일반적으로 디지털 비디오 시퀀스의 일부일 수 있다.

[0076] 일 실시예에서, 입력 데이터 구조는 디지털 2D 데이터를 포함하고, 각각의 블록 및 각각의 패치는 적어도 5×5 값들을 포함하며, 탐색 윈도우는 적어도 9×9 값들을 커버하고, 각각의 패치는 적어도 하나의 더 일찍 처리된 패치를 적어도 2 값들만큼 오버랩한다.

[0077] 일 실시예에서, 본 장치는 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 , 저주파수 업스케일링된 데이터 구조 L_1 , 고주파수 입력 데이터 구조 H_0 및 고주파수 업스케일링된 데이터 구조 H_1 중 적어도 하나의 중간 저장을 위한 적어도 하나의 메모리 $MemL_0$, $MemL_1$, $MemH_0$, $MemH_1$ 을 더 포함한다.

[0078] 일 실시예에서, 본 장치는 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 에서 탐색 윈도우 W_1 을 결정하기 위한 탐색 윈도우 결정 유닛을 탐색 유닛(952) 내에서 더 포함하고, 탐색 윈도우 W_1 은 고주파수 업스케일링된 데이터 구조 L_1 의 상기 제1 위치에 대응하는 위치의 블록 주위의 영역을 커버하며, 탐색 유닛(952)은 제1 탐색 윈도우 W_1 내에서만 저주파수 입력 데이터 구조 L_0 을 탐색한다.

[0079] 일 실시예에서, 본 장치는 고주파수 업스케일링 데이터 구조 $H_{1,acc}$ 의 픽셀당 기여 수를 카운트하기 위한 카운터(953)를 더 포함한다. 정규화 유닛(990)은 픽셀당 누산된 값을 기여 수로 나누는 동작을 실행한다.

[0080] 도 10은, (a) 및 (b)에서, 이미지 및 원래의 스펙트럼을 도시한다. 또한, 도 10의 (c)는 본 발명에 따라 업스케일링된 후의 이미지의 스펙트럼을 도시하고, 도 10의 (d)는 공지된 바이-큐빅 내삽(bi-cubic interpolation)을 사용해서 전형적으로 업스케일링된 후의 이미지의 스펙트럼을 도시한다. 알 수 있는 바와 같이, 전형적으로 업스케일링된 이미지의 클립 스펙트럼(clipped spectrum)이 향상되며, 이는 본 일례에서 대각선들을 따라 추가 값들로 보일 수 있다. 다시 말해서, 본 발명의 장점은 본 발명에 따라 업스케일링된 데이터 구조의 스펙트럼이 종래의 방법을 사용해서 업스케일링된 데이터 구조의 스펙트럼보다 원래의 스펙트럼에 더 가까워지는 것이다. 주파수 스펙트럼은 개시된 방법이 업스케일링된 이미지의 손실 고 주파수들(이들은 업스케일링된 이미지들의 더 예리한 윤곽들로 관측될 수 있으며, 이로 인해 더 시각적으로 매력 있는 이미지들이 야기됨)을 어떻게 그럴싸하게 외삽하는 지를 명백히 보여주는 반면, 바이-큐빅 내삽은 대량의 에일리어싱 아티팩트들을 야기한다.

[0081] 개시된 방법은 더 높은 해상도 버전들이 추정될 수 있는 다수의 공개적으로 유효한 저해상도 입력 이미지들에 대해 구현 및 테스트되어 왔다. 일 실시예에서, 그것은 일반적으로 입력 이미지들의 휘도 채널에만 적용되어서, 컬러 업스케일링을 바이-큐빅 내삽과 같은 더 빠른 알고리즘들에 맡긴다. 도 10의 일례에서, 과-분해된 이미지가 $1.5 \times (n=3, d=2)$ 의 작은 업스케일링 인자들을 입력 이미지에 3회 반복해서 적용함으로써 획득되었다.

[0082] 도 11은 단일 이미지를 과-분해하기 위한 개시된 방법에 포함된 3개의 원리 단계들을 도시한다. 제1 단계(1110)에서, 입력 이미지의 내삽-기반 업스케일링이 실행되며, 저해상도 이미지에 대한 동등한 저역 통과 필터링 동작이 이어진다. 제2 단계(1120)는 고해상도 이미지의 검사 패치와 부분적으로 오버랩되는 패치들을 포함하는 저해상도 저주파수 이미지의 로컬 이웃의 패치들 간의 저주파수 일치들에 대한 탐색, 및 저해상도 이미지로부터 획득된 고주파수 기여의 누산을 포함한다. 제3 단계(1130)는 고해상도 이미지의 저주파수 대역 및 외삽된, 고역 통과 필터링된, 정규화된 고주파수 대역의 기여들을 정규화 및 고역 통과 필터링하고 가산하는 단계를 포함한다.

[0083] 디지털 이미지로서 간단히 도시되더라도, 당업자에게 명백한 바와 같이, 디지털 이미지들이 아닌 다른 타입들의 디지털 데이터 구조들이 구성될 수 있으며, 이 모두는 본 발명 내에서 고려됨을 주지해야만 한다. 유사한 원리

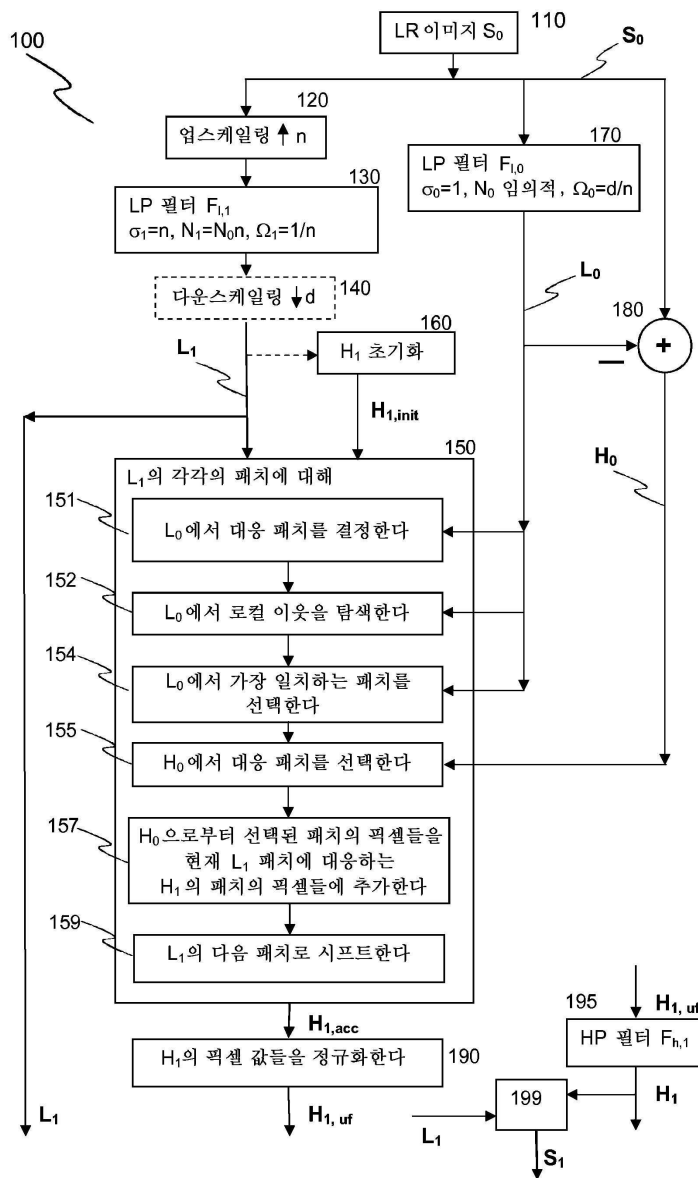
들이 이미지 잡음 제거(image denoising) 또는 다른 복원 프로시저들과 같은 다른 이미지 프로세싱 태스크들에 적용될 수 있으며, 또한, 오디오 신호들 등의 상이한 속성 및 차원의 과-분해된 신호들을 획득하는데 적용될 수 있다.

- [0084] 개시된 방법은 단일 이미지로 작업하지만, 유익하게 고주파수 부분들(즉, 세부 사항들)을 포함하는 적절한 일레들을 검색하기 위한 데이터-베이스를 요구하지 않고 작업한다.
- [0085] 다른 장점으로서, 개시된 방법은 비교적 계산적으로 효율적이고(오직 단일 이미지만을 요구하며, 메인 프로세싱 단계는 소규모의 로컬 탐색임), 업스케일링 인자의 정의에서 유연하며(합리적 업스케일링 인자들 및 간단한 FIR 필터 설계를 가능케 함), 또한 상이한 속성의 신호들을 처리하기 위해 일반화될 수 있다(로컬 자기-유사성을 넘어, 신호 모델에 대한 사전 가정들이 요구되지 않음).
- [0086] 본 발명의 다른 장점은 입력 데이터 구조의 단일 업스케일링 프로시저만이 사용되고, 외삽이 원래의 해상도로 입력 데이터 구조로부터 이루어진다는 점이다. 따라서, 업스케일링에 의해 야기된 아티팩트들의 양이 최소화되며, 이는 특히 합리적인 업스케일링 인자들에 유익하고, 광범위한 고주파수 대역이 고주파수 고해상도 데이터 구조의 정보를 증가하는데 유용하다.
- [0087] 본 발명의 다른 장점은 필터들을 설계하기 위한 명백하고 간단한 규칙들이 제공되고, 필터들이 공간-불변이므로, 필터들이 오직 한번만 설계될 필요가 있다는 점이다.
- [0088] 본 발명의 다른 장점은, 공간 평균화로 인해, 고주파수 고해상도 데이터 구조 H_1 이 종래의 방법들로 획득된 것들보다 잡음 및 다른 아티팩트들에 더 강건하다는 점이다.
- [0089] 본 발명의 다른 장점은 내삽된 저주파수 고해상도 대역 L_1 및 외삽된 고주파수 고해상도 대역 H_1 을 융합하기 위한 프로시저는 이들 간의 스펙트럼 코히어런스(spectral coherence)를 고려한다는 점이다. 이는 고주파수 고해상도 데이터 구조를 위한 고역 통과 필터의 적합한 설계에 의해 달성된다.
- [0090] 양호한 실시예들에 적용된 본 발명의 기본 신규 특징들이 도시, 기술 및 언급되었지만, 기술된 장치 및 방법, 개시된 장치들의 형태 및 세부 사항들 및 그 동작의 각종 생략들 및 대체들 및 변경들이 본 발명의 원리로부터 벗어나지 않은 채로 당업자에 의해 이루어질 수 있음을 이해할 것이다. 일례로서, 본 발명이 정사각형 블록들 및 패치들에 대해 개시되었지만, 본 명세서에 개시된 방법 및 장치들이 다른 형태들 및/또는 크기들, 예를 들어, 사각형 형태들 또는 자유 형태들, 4×4 , ..., 16×16 정사각형들 등의 블록들 및 패치들에 적용될 수 있음을 당업자는 알 것이다. 또한, 본 발명이 공간적 해상도에 관해 개시되었지만, 본 명세서에 개시된 방법 및 장치들이 또한 필요한 부분만 약간 수정하여 시간적 해상도에 적용될 수 있음을 당업자는 알 것이다. 동일한 결과들을 달성하기 위해 실질적으로 동일한 방법으로 실질적으로 동일한 기능을 실행하는 요소들의 모든 조합들이 본 발명의 범위 내에 있다고 명백히 의도된다. 하나의 기술된 실시예로부터 다른 실시예로의 요소들의 대체들이 또한 충분히 의도되고 생각된다. 본 발명은 순수히 일례로서 기술되었으며, 세부 사항의 변경들이 본 발명의 범위로부터 벗어나지 않은 채로 이루어질 수 있음을 이해할 것이다.
- [0091] 설명 및 (적절한 곳에서) 청구항들 및 도면들에 개시된 각각의 특징은 독립적으로 또는 임의의 적합한 조합으로 제공될 수 있다. 특징들은, 적절한 곳에서, 하드웨어, 소프트웨어 또는 그 둘의 조합, 예를 들어, 그래픽 하드웨어(GPU)로 구현될 수 있다. 청구항들에 나타난 참조 부호들은 오직 실례이며 청구항들의 범위에 제한적인 영향을 주지 않을 것이다.
- [0092] 인용 문헌들
- [0093] "Super Resolution from Image Sequences", M. Irani and S. Peleg (Int. Conf. on Pattern Recognition, 1990)
- [0094] Fundamental Limits of Reconstruction-Based Superresolution Algorithms under Local Translation", Z. Lin and H.-Y. Shum (IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004)
- [0095] "Example-based super-resolution", W.T. Freeman, T.R. Jones and E.C. Pasztor (IEEE Computer Graphics and Applications, 2002)
- [0096] "Super-Resolution from a Single Image", D. Glasner, S. Bagon and M. Irani (IEEE Int. Conf. on Computer Vision, 2009)

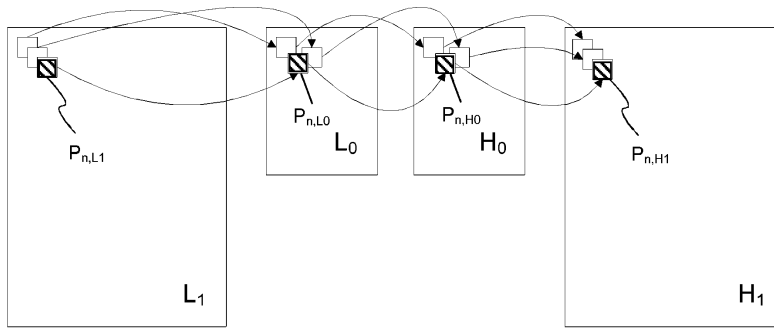
- [0097] "Space-Time Super-Resolution from a Single Video", O. Shahar, A. Faktor and M. Irani (IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, 2011)
- [0098] "Image and Video Upscaling from Local Self-Examples", G. Freedman and R. Fattal (ACM Trans. On Graphics, 2010)

도면

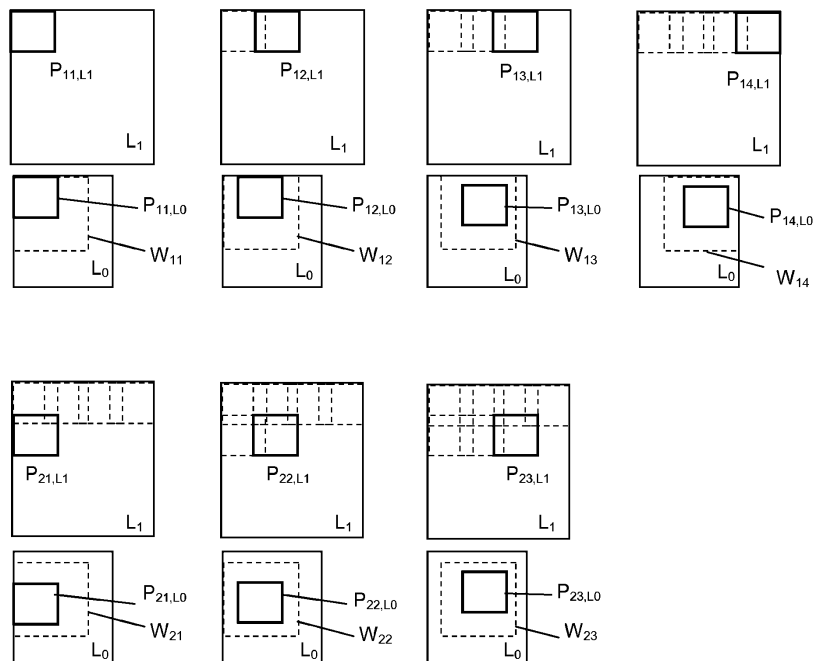
도면1



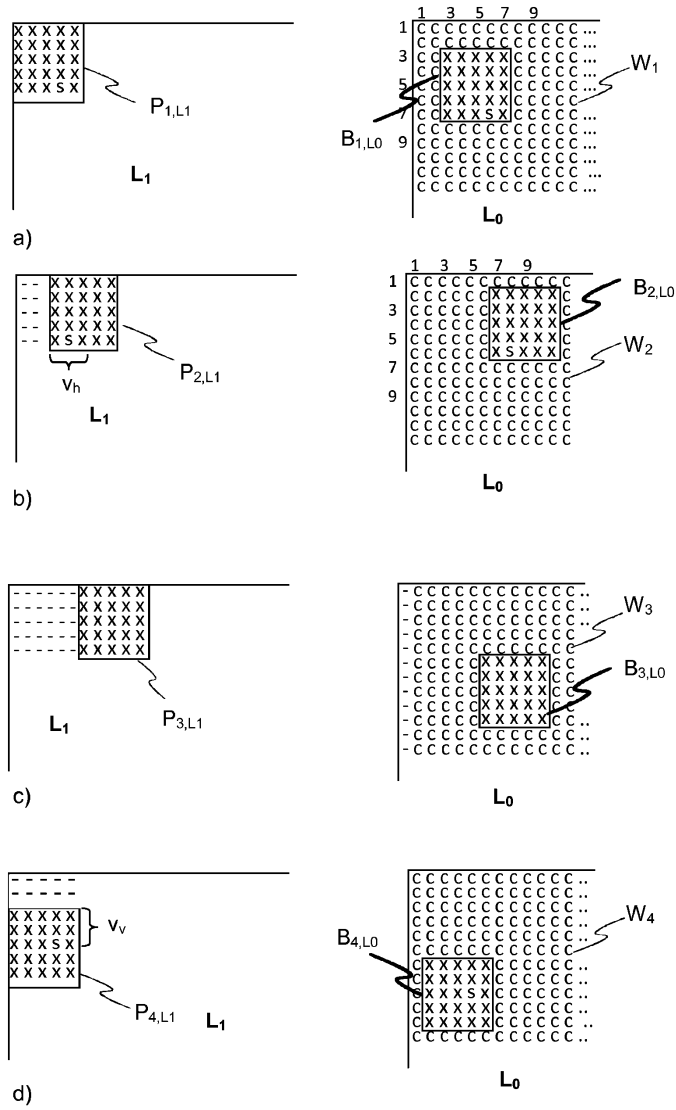
도면2



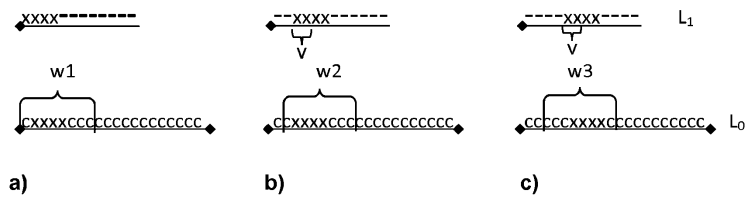
도면3



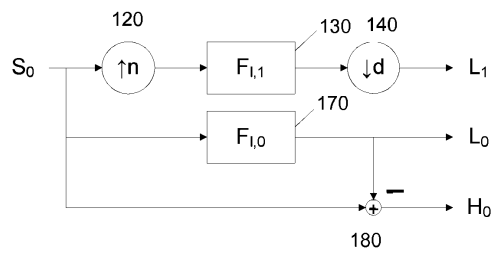
도면4



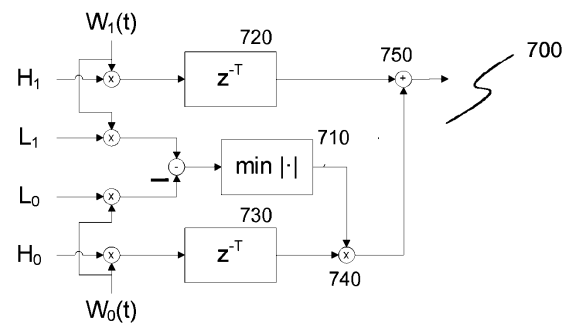
도면5



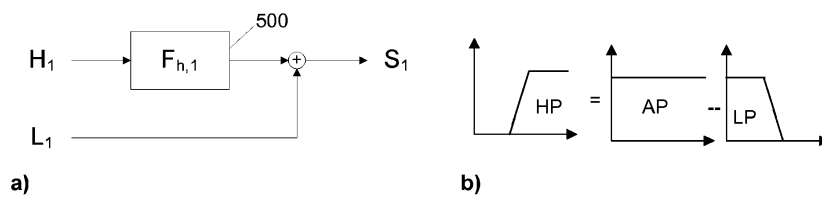
도면6



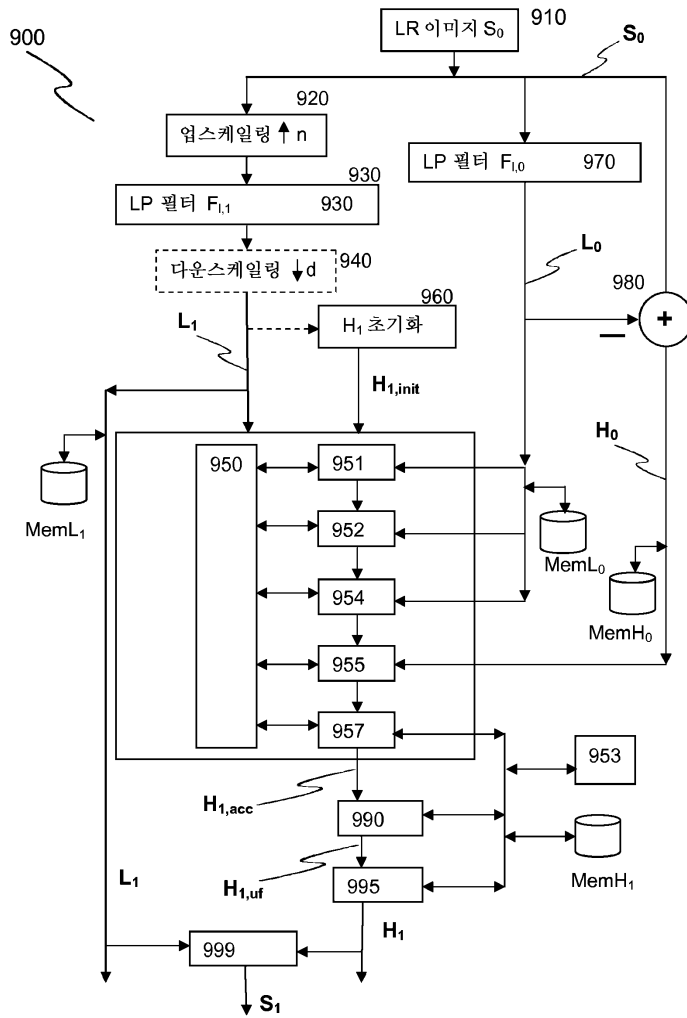
도면7



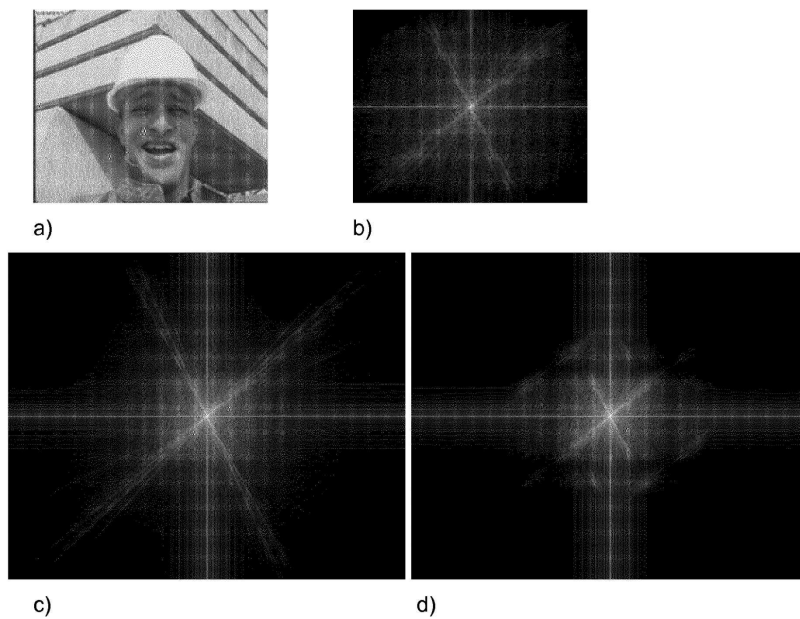
도면8



도면9



도면10



도면11

