



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년06월25일
(11) 등록번호 10-1411411
(24) 등록일자 2014년06월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04N 21/43 (2011.01) H04N 21/45 (2011.01)
(21) 출원번호 10-2013-0020203
(22) 출원일자 2013년02월26일
심사청구일자 2013년02월26일
(56) 선행기술조사문헌
스케일러블 비디오 코딩 기반 스트리밍 시스템에
서 저전력 기법에 관한 연구*
IEEE 802.11e U-APSD 환경에서 에너지 효율 향상
을 위한 적응적인 스트리밍 시스템*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
송민석
서울 서초구 남부순환로 2311-12, 107동 402호 (방배동, 래미안방배아트힐)
이승준
인천 남구 인하로91번길 85, 아이비하우스 102호 (용현동)
이영주
인천 남동구 백범로227번길 69, B동 402호 (만수동, 삼용아파트)
(74) 대리인
특허법인엠에이피에스

전체 청구항 수 : 총 6 항

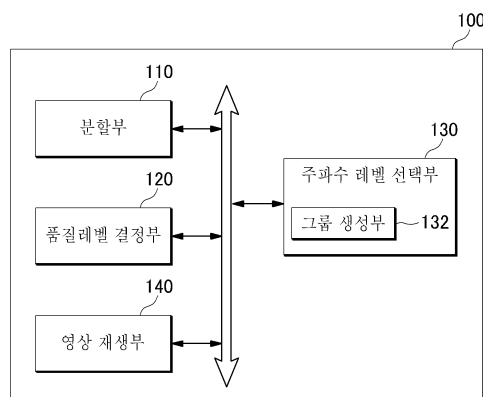
심사관 : 박금옥

(54) 발명의 명칭 미디어 재생장치 및 미디어 재생장치의 에너지 관리방법

(57) 요약

본 발명에서는 미디어 재생장치 및 미디어 재생장치의 에너지 관리방법이 제안된다. 특히, 본 발명의 일 실시예에 따른 미디어 재생장치는 영상을 복수의 세그먼트로 분할하는 분할부; 상기 영상의 평균 최대신호 잡음비가 제한된 에너지 조건 하에서 최대가 되도록 상기 세그먼트의 품질 레벨을 상기 세그먼트 별로 각각 결정하는 품질레벨 결정부; 상기 품질레벨 결정부에서 결정된 품질 레벨을 기초로 상기 세그먼트를 구성하는 각각의 프레임에 대한 주파수 레벨을 선택하는 주파수 레벨 선택부; 및 상기 주파수 레벨 선택부의 선택 결과 및 상기 품질레벨 결정부에서 결정된 품질 레벨을 기초로 상기 영상을 재생하는 영상 재생부를 포함한다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업	
과제고유번호	1345192195
부처명	교육과학기술부
연구사업명	기본연구지원사업
연구과제명	멀티미디어 응용에서 사용자 인지 품질 향상을 고려한 시스템 레벨 전력 최적화 기법에 관
한 연구	
기 여 율	1/1
주관기관	인하대학교 산학협력단
연구기간	2012.05.01 ~ 2013.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

미디어 재생장치에 있어서,

영상을 복수의 세그먼트로 분할하는 분할부;

상기 영상의 평균 최대신호 잡음비가 제한된 에너지 조건 하에서 최대가 되도록 상기 세그먼트의 품질 레벨을 상기 세그먼트 별로 각각 결정하는 품질레벨 결정부;

상기 품질레벨 결정부에서 결정된 품질 레벨을 기초로 상기 세그먼트를 구성하는 각각의 프레임에 대한 주파수 레벨을 선택하는 주파수 레벨 선택부; 및

상기 주파수 레벨 선택부의 선택 결과 및 상기 품질레벨 결정부에서 결정된 품질 레벨을 기초로 상기 영상을 재생하는 영상 재생부를 포함하고,

상기 주파수 레벨 선택부는

소정의 프레임을 디코딩 하는데 걸리는 임계시간 이하의 시간 내에 상기 소정의 프레임을 디코딩 할 수 있는 주파수 레벨로 이루어진 그룹을 생성하는 그룹 생성부를 포함하고,

상기 그룹 생성부에서 생성된 그룹 내에 존재하는 주파수 레벨의 개수에 따라 상기 소정의 프레임에 대한 주파수 레벨을 다르게 선택하는 미디어 재생장치.

청구항 2

삭제

청구항 3

제 1 항에 있어서, 상기 임계시간은 상기 영상의 재생율에 따라 미리 설정되는 것인, 미디어 재생장치.

청구항 4

삭제

청구항 5

제 1 항에 있어서, 상기 주파수 레벨 선택부는

상기 그룹 내에 존재하는 주파수 레벨의 개수가 1 이상이면 상기 그룹 내에 존재하는 주파수 레벨 중 최저의 주파수 레벨을 상기 소정의 프레임에 대한 주파수 레벨로 선택하고, 상기 그룹 내에 존재하는 주파수 레벨의 개수가 0이면 상기 미디어 재생장치가 지원하는 최고의 주파수 레벨을 상기 소정의 프레임에 대한 주파수 레벨로 선택하는, 미디어 재생장치.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 소정의 프레임을 디코딩 할 수 있는 주파수 레벨은 상기 품질레벨 결정부에서 결정된 품질 레벨 및 상기 영상의 유형에 따라 미리 결정되는 것인, 미디어 재생장치.

청구항 7

미디어 재생장치의 에너지 관리방법에 있어서,

영상을 복수의 세그먼트로 분할하는 단계;

상기 영상의 평균 최대신호 잡음비가 상기 미디어 재생장치의 제한된 에너지 조건 하에서 최대가 되도록 상기 세그먼트의 품질 레벨을 상기 세그먼트 별로 각각 결정하는 단계;

상기 결정된 세그먼트의 품질 레벨을 기초로 상기 세그먼트를 구성하는 각각의 프레임에 대한 주파수 레벨을 선택하는 단계; 및

상기 선택된 주파수 레벨 및 상기 결정된 세그먼트의 품질 레벨을 기초로 상기 영상을 재생하는 단계를 포함하고,

상기 주파수 레벨을 선택하는 단계는

소정의 프레임을 디코딩 하는데 걸리는 임계시간 이하의 시간 내에 상기 소정의 프레임을 디코딩 할 수 있는 주파수 레벨로 이루어진 그룹을 생성하는 단계;

상기 생성된 그룹 내에 하나 이상의 주파수 레벨이 존재하는 경우 상기 생성된 그룹 내의 주파수 레벨 중 최저의 주파수 레벨을 상기 소정의 프레임에 대한 주파수 레벨로 선택하는 단계; 및

상기 생성된 그룹 내에 주파수 레벨이 존재하지 않는 경우 상기 미디어 재생장치가 지원하는 최고의 주파수 레벨을 상기 소정의 프레임에 대한 주파수 레벨로 선택하는 단계를 포함하는 미디어 재생장치의 에너지 관리방법.

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

청구항 7에 기재된 방법을 컴퓨터 상에서 수행하기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 미디어 재생장치 및 미디어 재생장치의 에너지 관리방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 오늘날 많은 사람들은 HDTV나 휴대용 미디어 플레이어, MP3 플레이어, 모바일 폰 등의 가전기기를 통해 다양한 비디오 영상 서비스를 이용하고 있다. 장치들의 다양한 사양 때문에 사용자들은 서비스 품질을 그들의 선호도와 장치의 특성에 맞추어 조정한다.

[0003] 이와 같이 다양한 특성에 대하여 유연하게 대응할 수 있는 방법은 스케일러블 비디오 코딩(Scalable Video Coding; 이하 'SVC'라 지칭함) 기법을 사용하는 것이다. SVC 기법은 비디오 서비스를 보다 낮은 시간적(temporal)/공간적(spatial) 해상도 또는 낮은 품질을 갖는 비디오 서비스를 제공하기 위하여 비트스트림에 대하여 부분적으로 디코딩 할 수 있도록 한다. SVC 기법은 영상을 베이스 레이어(Base Layer)와 하나 이상의 인헨스 레이어(Enhancement Layer)로 나눈다. 많은 레이어를 디코딩하는 것은 영상의 품질을 향상시킬 수 있지만, 하나의 레이어는 오직 모든 낮은 품질 레이어들의 맥락에서 디코딩될 수 있다. 현재까지 다양한 SVC 코덱이 발표되어 왔지만, 그 중 H.264/AVC 표준의 SVC 확장 코덱이 뛰어난 코딩 효율성과 다차원의 확장성(Scalabilities) 때문에 학계와 업계로부터 가장 큰 관심을 받고 있다.

[0004] H.264/SVC는 세가지 형태의 확장성을 제공하는데, 여러 프레임 레이트를 제공하는 시간적 확장성(temporal

scalability), 여러 해상도를 지원하는 공간적 확장성(spatial scalability), 그리고 여러 품질 레벨을 제공하는 품질 확장성(quality scalability)이다. 이런 다양한 확장성들은 효율적인 비디오 품질을 제공하고, 전송 에러와 불안정한 네트워크 연결에 대하여 서비스의 지속성과 회복력을 향상시키기 위해 다양한 방법을 통해 이용되어왔다.

[0005] 하지만, 저전력 비디오 재생을 위한 연구는 상대적으로 진행이 미미한 실정이다. 즉, 영상 디코딩은 매우 큰 연산을 필요로 하는 작업이고, 이는 영상 재생 장치의 CPU에 높은 전력 소비를 야기시킬 수 있다.

[0006] 이미 소개된 CPU의 소비 전력 감소 기법으로 동적 전압 조절 기법(DVS)이 있다. 이 기법은 작업량에 따라 CPU의 동작 전압과 주파수 레벨을 변경한다. 즉, CPU에서 소비되는 에너지는 CPU 공급 전압의 제곱으로 증가한다는 점을 이용하여, 동적 전압 조절 기법은 에너지를 절약한다. 다만, CPU의 동작 주파수도 감소하여 전체적인 프로그램의 실행 속도가 느려진다는 문제를 가지고 있다.

[0007] 한편, 한국공개번호 제10-2009-0075681호(발명의 명칭: 절전 인자에 기초한 비디오 처리 복잡도 스케일링)는 표시되는 영상에 대응하여 표시 영상의 화질을 원하는 수준 이상으로 유지하면서도 영상 표시장치의 전력 소비량을 최대한 감소시킬 수 있도록 한 저전력 영상 표시장치를 위한 계조 레벨 에러 컨트롤 기술을 개시하고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 전술한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 본 발명의 일부 실시예는 제한된 에너지 조건 및 평균 최대신호 잡음비를 고려한 상태에서 품질 레벨 및 주파수 레벨을 선택할 수 있는 미디어 재생장치 및 미디어 재생장치의 에너지 관리방법을 제공하는 데에 그 목적이 있다.

[0009] 또한, 본 발명의 일부 실시예는 한 프레임의 디코딩 시간이 디코딩 주기를 벗어나는 경우인 오버런 현상까지 반영하여 주파수 레벨을 선택할 수 있는 미디어 재생장치 및 미디어 재생장치의 에너지 관리방법을 제공하는 데에 다른 목적이 있다.

[0010] 다만, 본 실시예가 이루고자 하는 기술적 과제는 상기된 바와 같은 기술적 과제로 한정되지 않으며, 또 다른 기술적 과제들이 존재할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0011] 상술한 기술적 과제를 달성하기 위한 기술적 수단으로서, 본 발명의 일 실시예에 따른 미디어 재생장치는, 영상을 복수의 세그먼트로 분할하는 분할부; 상기 영상의 평균 최대신호 잡음비가 제한된 에너지 조건 하에서 최대가 되도록 상기 세그먼트의 품질 레벨을 상기 세그먼트 별로 각각 결정하는 품질레벨 결정부; 상기 품질레벨 결정부에서 결정된 품질 레벨을 기초로 상기 세그먼트를 구성하는 각각의 프레임에 대한 주파수 레벨을 선택하는 주파수 레벨 선택부; 및 상기 주파수 레벨 선택부의 선택 결과 및 상기 품질레벨 결정부에서 결정된 품질 레벨을 기초로 상기 영상을 재생하는 영상 재생부를 포함한다.

[0012] 또한, 본 발명의 다른 실시예에 따른 미디어 재생장치의 에너지 관리방법은, 영상을 복수의 세그먼트로 분할하는 단계; 상기 영상의 평균 최대신호 잡음비가 상기 미디어 재생장치의 제한된 에너지 조건 하에서 최대가 되도록 상기 세그먼트의 품질 레벨을 상기 세그먼트 별로 각각 결정하는 단계; 상기 결정된 세그먼트의 품질 레벨을 기초로 상기 세그먼트를 구성하는 각각의 프레임에 대한 주파수 레벨을 선택하는 단계; 및 상기 선택된 주파수 레벨 및 상기 결정된 세그먼트의 품질 레벨을 기초로 상기 영상을 재생하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0013] 전술한 본 발명의 과제 해결 수단 중 어느 하나인 미디어 재생장치 및 미디어 재생장치의 에너지 관리방법은, 영상의 평균 최대신호 잡음비가 제한된 에너지 조건 하에서 최대가 되도록 품질 레벨 및 주파수 레벨을 선택함으로써, H.264/SVC의 품질 확장성 측면까지 고려한 상태에서 영상을 효율적으로 재생할 수 있다.

[0014] 또한, 제한된 에너지 조건을 최대한으로 이용할 수 있도록 최적으로 선택된 품질 레벨 및 주파수 레벨을 기초로 H.264/SVC 코덱을 통해 영상을 재생함으로써, 고정 품질 정책에서 사용되지 못 했던 에너지를 이용할 수 있고, 그에 따라 전체적인 영상 품질, 제품에 대한 신뢰도 및 만족도를 높이고, 브랜드 이미지 향상, 경쟁력 강화 및 수익률 증대에 도움을 줄 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 미디어 재생장치에 대한 간략한 블록도,
 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 미디어 재생장치의 에너지 관리방법을 설명하기 위한 순서도,
 도 3은 제한된 에너지 조건 하에서 영상의 유형에 따른 평균 최대신호 잡음비를 나타낸 그래프,
 도 4는 제한된 에너지 조건 하에서 영상의 유형 별로 주파수 레벨의 조합에 따른 평균 최대신호 잡음비를 나타낸 그래프,
 도 5는 도 2에 기재된 방법을 컴퓨터 상에서 수행하기 위한 프로그램의 일 예를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 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.

[0017] 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 의미한다.

[0018] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 미디어 재생장치에 대한 간략한 블록도이다.

[0019] 본 발명의 일 실시예에 따른 미디어 재생장치(100)는, 분할부(110), 품질레벨 결정부(120), 주파수 레벨 선택부(130) 및 영상 재생부(140)를 포함한다. 미디어 재생장치(100)에 포함된 각각의 구성들은 서로 연결되고, 상호간에 필요한 신호를 송수신할 수 있다.

[0020] 미디어 재생장치(100)는 영상을 재생할 수 있는 휴대용 단말기 또는 컴퓨터로 구현될 수도 있다. 여기서, 휴대용 단말기는 예를 들어, 휴대성과 이동성이 보장되는 무선 통신 장치로서, PCS(Personal Communication System), GSM(Global System for Mobile communications), PDC(Personal Digital Cellular), PHS(Personal Handyphone System), PDA(Personal Digital Assistant), IMT(International Mobile Telecommunication)-2000, CDMA(Code Division Multiple Access)-2000, W-CDMA(W-Code Division Multiple Access), WiBro(Wireless Broadband Internet) 단말, 스마트폰(Smart Phone) 등과 같은 모든 종류의 핸드헬드(Handheld) 기반의 무선 통신 장치를 포함할 수 있다. 또한, 컴퓨터는 예를 들어, 웹 브라우저(WEB Browser)가 탑재된 노트북, 데스크톱(desktop), 랩톱(laptop), 태블릿 PC, 슬레이트 PC 등을 포함할 수 있다.

[0021] 분할부(110)는 영상을 복수의 세그먼트로 분할한다. 즉, 분할부(110)는 영상을 일정 시간 간격의 세그먼트 단위로 분할한다.

[0022] 품질레벨 결정부(120)는 영상의 평균 최대신호 잡음비(Peak Signal Noise Ratio; PSNR)가 제한된 에너지 조건 하에서 최대가 되도록 세그먼트의 품질 레벨을 세그먼트 별로 각각 결정한다. 이때, 제한된 에너지 조건이란 최근 연구들에서 소개된 에너지 버짓(Energy Budget) 개념과 관련된 것으로서, 일반적으로 미디어 재생장치(100)의 남아있는 배터리 잔량 혹은 남아있는 배터리에 따른 동작 가능 시간이 반영된 것일 수 있다. 이러한 제한된 에너지 조건은 품질 레벨 및 영상을 재생하는 동안의 영상 품질과 매우 밀접하게 관련된다.

[0023] 주파수 레벨 선택부(130)는 품질레벨 결정부(120)에서 결정된 품질 레벨을 기초로 세그먼트를 구성하는 각각의 프레임에 대한 주파수 레벨을 선택한다.

[0024] 구체적으로, 주파수 레벨 선택부(130)는 소정의 프레임을 디코딩 하는데 걸리는 임계시간을 기준으로 복수의 프

레이 중 소정의 프레임에 대한 주파수 레벨을 선택할 수 있다. 이때, 임계시간(T_p)은 영상의 재생율에 따라 미리 설정되는 것이다. 예를 들어, 영상이 20fps(frame per second)로 인코딩 되었다면, 임계시간은 50ms이다. 25fps의 재생율을 가진 영상의 경우, 임계시간은 40ms이다. 제한된 에너지 조건 하에서 미디어 재생장치(100)의 전력 소비를 줄이기 위해서, 디코딩 테드라인인 임계시간을 만족하는 최저의 주파수 레벨을 선택하는 것이 바람직하다. 하지만, 때로는 최고의 주파수 레벨을 선택하였는데도 불구하고 소정의 프레임에 임계시간 내에 디코딩 할 수 없는 경우가 발생할 수 있다. 이하에서는, 이러한 현상을 "오버런"이라 하고, 오버런 타임의 길

이를 T_{ij}^{over} 로 표기한다. i 는 소정의 프레임이고, j 는 품질 레벨이다.

[0025] 또한, 주파수 레벨 선택부(130)는 도 1에 도시된 것처럼 그룹 생성부(132)를 포함할 수 있다. 그룹 생성부(132)는 임계시간 이하의 시간 내에 소정의 프레임을 디코딩 할 수 있는 주파수 레벨로 이루어진 그룹을 생성할 수 있는데, 주파수 레벨 선택부(130)는 그룹 생성부(132)에서 생성된 그룹 내에 존재하는 주파수 레벨의 개수에 따라 소정의 프레임에 대한 주파수 레벨을 다르게 선택할 수 있다.

[0026] 구체적으로, 주파수 레벨 선택부(130)는 그룹 내에 존재하는 주파수 레벨의 개수가 1 이상이면, 전력 소비를 줄이기 위하여 그룹 내에 존재하는 주파수 레벨 중 최저의 주파수 레벨을 소정의 프레임에 대한 주파수 레벨로 선택할 수 있다. 예를 들면, 그룹 생성부(132)에 의해 생성된 그룹 내에 1.68GHz, 1.92GHz, 2.4GHz가 존재하는 경우, 그룹 내에 존재하는 주파수 레벨의 개수가 1 이상이다. 이러한 경우 주파수 레벨 선택부(130)는 1.68GHz를 선택한다. 또한, 주파수 레벨 선택부(130)는 그룹 내에 존재하는 주파수 레벨의 개수가 0이면, 오버런 타임의 길이를 최소화하기 위하여 미디어 재생장치(100)가 지원하는 최고의 주파수 레벨을 소정의 프레임에 대한 주파수 레벨로 선택할 수 있다. 예를 들면, 그룹 생성부(132)에 의해 생성된 그룹 내에 존재하는 주파수 레벨의 개수가 0이면, 미디어 재생장치(100)가 지원하는 최고의 주파수 레벨인 2.4GHz를 소정의 프레임에 대한 주파수 레벨로 선택한다.

[0027] 상술한 것처럼 그룹 생성부(132)에서 생성되는 그룹은 임계시간 이하의 시간 내에 소정의 프레임을 디코딩 할 수 있는 주파수 레벨로 이루어진다. 이때, 소정의 프레임을 디코딩 할 수 있는 주파수 레벨은 품질레벨 결정부(120)에서 결정된 품질 레벨 및 영상의 유형(예를 들어, 애니메이션, 스포츠, TV 쇼 등)에 따라 미리 결정되는 것일 수 있다. 미리 결정하는 과정에서, CPU에서 지원하는 최고 주파수 레벨에서의 각 세그먼트 별 디코딩 시간을 실측한 후, 최고 주파수와 그외 하위 주파수 레벨의 비율을 통해 하위 주파수 레벨에서의 디코딩 시간을 추정하는 방식이 이용될 수 있다. 또한, 그룹 생성부(132)의 그룹은 임계시간(T_p) 및 오버런 타임의 길이

(T_{ij}^{over})를 기초로 생성될 수 있고, 배열로 관리될 수 있다.

[0028] 덧붙여, 하나의 세그먼트를 이루는 프레임의 수(N_c)는 예를 들어 60일 수 있고, 이는 3초 동안의 영상에 해당한다. 영상을 보는 사용자들은 3초 정도의 시간 간격으로 변하는 품질 변화를 무시하는 경향이 있다는 종래 연구 결과를 반영한 것이다.

[0029] 지금까지 설명한 것과 같이 주파수 레벨 선택부(130)가 프레임에 대한 주파수 레벨을 선택하는 이유는, 미디어 재생장치(100)가 제한된 에너지 조건 하에서 동작한다는 제약 사항이 있고, 영상의 평균 최대신호 잡음비를 최대로 하기 위한 목적을 달성해야 하기 때문이다.

[0030] 나아가, 영상 재생부(140)는 품질레벨 결정부(120)에서 결정된 품질 레벨 및 주파수 레벨 선택부(130)의 선택 결과를 기초로 H.264/SVC 코덱을 통해 영상을 재생한다.

[0031] 상술한 것과 같이 본 발명에서 제안된 미디어 재생장치(100)는, 영상의 평균 최대신호 잡음비가 제한된 에너지 조건 하에서 최대가 되도록 품질 레벨 및 주파수 레벨을 선택함으로써, H.264/SVC 코덱의 품질 확장성 측면까지 고려한 상태에서 영상을 효율적으로 재생할 수 있다.

[0032] 한편, 본 발명에서 제안된 미디어 재생장치의 에너지 관리방법에 대하여 도 2를 참고하여 설명하기로 한다. 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 미디어 재생장치의 에너지 관리방법을 설명하기 위한 순서도이다. 이때, 미디어 재생장치는 도 1을 참고하여 상술한 것일 수 있고, 후술할 각 단계를 수행할 수 있는 별도의 장치일 수도 있다.

[0033] 우선, 영상이 복수의 세그먼트로 분할된다(S210). 상술한 미디어 재생장치(100)의 분할부(110)에 의해 분할하

는 단계(S210)가 수행될 수 있다.

[0034] 이어서 영상의 평균 최대신호 잡음비가 미디어 재생장치의 제한된 에너지 조건 하에서 최대가 되도록 분할된 세그먼트의 품질 레벨이 세그먼트 별로 각각 결정된다(S220). 상술한 미디어 재생장치(100)의 품질레벨 결정부(120)에 의해 결정하는 단계(S220)가 수행될 수 있다.

[0035] 다음으로 결정하는 단계(S220)에서 결정된 세그먼트의 품질 레벨을 기초로 세그먼트를 구성하는 각각의 프레임에 대한 주파수 레벨이 선택된다(S230). 상술한 미디어 재생장치(100)의 주파수 레벨 선택부(130)에 의해 선택하는 단계(S230)가 수행될 수 있다.

[0036] 구체적으로, 소정의 프레임을 디코딩 하는데 걸리는 임계시간을 기준으로 소정의 프레임에 대한 주파수 레벨이 선택될 수 있다.

[0037] 보다 구체적으로, 주파수 레벨을 선택하는 단계(S230)는 임계시간 이하의 시간 내에 소정의 프레임을 디코딩 할 수 있는 주파수 레벨로 이루어진 그룹을 생성할 수 있다. 생성된 그룹 내에 하나 이상의 주파수 레벨이 존재하는 경우, 생성된 그룹 내의 주파수 레벨 중 최저의 주파수 레벨이 소정의 프레임에 대한 주파수 레벨로 선택될 수 있다. 또한, 생성된 그룹 내에 주파수 레벨이 존재하지 않는 경우, 미디어 재생장치가 지원하는 최고의 주파수 레벨이 소정의 프레임에 대한 주파수 레벨로 선택될 수 있다.

[0038] 계속해서, 선택된 주파수 레벨 및 결정된 세그먼트의 품질 레벨을 기초로 영상이 재생된다(S240).

[0039] 지금까지 설명한 본 발명에서 제안된 미디어 재생장치의 에너지 관리방법을 이용하면, 영상의 평균 최대신호 잡음비가 최대인 상태이기 때문에 미디어 재생장치의 제한된 에너지 조건 하에서 고품질의 영상이 효율적으로 재생될 수 있다.

[0040] 이하에서는, 본 발명에서 제안한 미디어 재생장치의 에너지 관리방법의 성능을 평가하기 위해 수행한 시뮬레이션의 결과에 대하여 도 3 및 도 4를 참고하여 설명하기로 한다. 도 3은 제한된 에너지 조건 하에서 영상의 유형에 따른 평균 최대신호 잡음비를 나타낸 그래프이고, 도 4는 제한된 에너지 조건 하에서 영상의 유형 별로 주파수 레벨의 조합에 따른 평균 최대신호 잡음비를 나타낸 그래프이다.

[0041] 시뮬레이션 결과를 설명하기에 앞서, 실험자는 JSVM 9.19.14를 이용하여 애니메이션 영상, 스포츠 영상 및 TV 쇼 영상에 대하여 아래 표 1과 같이 인코딩을 수행하였다. 이들 영상들은 모두 20fps의 재생율을 갖는다.

표 1

[0042]

Video Type	Quality level	QP value	Average bit-rate
Animation	4	24	701.0kbps
	3	32	349.2kbps
	2	40	203.4kbps
	1	48	116.3kbps
Sports	4	24	708.3kbps
	3	32	360.1kbps
	2	40	209.8kbps
	1	48	113.1kbps
TV show	4	24	551.0kbps
	3	32	286.6kbps
	2	40	169.2kbps
	1	48	97.1kbps

[0043] 그 다음, 실험자는 각 품질 레벨에서 각 프레임을 디코딩 하기 위해 필요한 사이클 수를 계산하였다. 아래 표 2는 CPU 주파수 2.4GHz에서의 평균 디코딩 시간을 보여준다.

표 2

[0044]

Quality level	4	3	2	1
QP value	24	32	40	48
Animation	44.9ms	34.54ms	24.7ms	14.87ms
Sports	46.27ms	35.79ms	25.77ms	15.59ms
TV show	45.03ms	34.8ms	24.91ms	14.97ms

[0045] 표 2로부터 품질 레벨이 감소할수록 미디어 재생장치(100)의 CPU가 더 낮은 주파수 레벨에서 동작할 수 있게 된다는 것을 발견하였다. 이때, CPU가 지원하는 최대의 주파수 레벨이 2.4GHz라고 가정한다. 임계시간이 50ms이므로, 애니메이션 영상을 품질 레벨 4에서 재생하는 경우 각 프레임에 대한 주파수 레벨은 주파수 레벨 선택부(130)에 의해 2.4GHz이 선택되어야 한다. 반면에, 애니메이션 영상을 품질 레벨 2에서 재생하는 경우 각 프레임에 대한 주파수 레벨은 주파수 레벨 선택부(130)에 의해 2.4GHz보다 낮은 주파수 레벨이 선택될 수 있다.

[0046] 다음으로, 실험자는 JSVM의 PSNR Static 툴을 이용하여 4개의 서로 다른 품질 레벨에서의 평균 최대신호 잡음비를 측정하였고, 그 결과는 아래 표 3과 같다.

표 3

[0047]

Quality level	4	3	2	1
QP value	24	32	40	48
Animation	45.87dB	42.45dB	39.64dB	36.98dB
Sports	43.98dB	40.77dB	37.83dB	34.9dB
TV show	45.13dB	41.85dB	38.85dB	35.82dB

[0048] 표 3으로부터 품질 레벨이 증가함에 따라 평균 최대신호 잡음비가 증가한다는 것을 알 수 있다.

[0049] 정리하면, 품질 레벨이 감소할수록 미디어 재생장치(100)의 에너지를 절약할 수 있으나, 영상의 평균 최대신호 잡음비도 감소하여 사용자의 인지 품질을 떨어뜨릴 수 있다.

[0050] 계속해서, 본 발명에서 제안한 미디어 재생장치의 에너지 관리방법을 적용함으로써, 영상의 평균 최대신호 잡음비가 제한된 에너지 조건 하에서 최대가 되도록 자동으로 품질레벨 및 주파수 레벨을 각각 선택하였다. 실험자는 표 1에 나타난 3가지 유형의 영상(20fps)에 대하여 실험을 진행하였고, 하나의 세그먼트를 이루는 프레임의 수(N_c)를 60으로 설정하였다. 또한, 표 4와 같이 비교의 편의를 위해 최대 주파수 레벨의 전력 값을 1로 설정하여 전력 값들을 정규화 하였다. P_k 는 최대 주파수 레벨에 대한 주파수 레벨 k의 전력 소비 비율이다. 또한, 각 주파수 레벨 별 상대적인 전력 값을 찾기 위해 CPU 주파수 레벨과 전력 소비량과의 관계를 나타낸 기존 연구의 자료를 활용하였으며, 스케일러블 비디오 코딩의 높은 복잡도를 다루기 위해 최고 주파수 레벨을 2.4GHz, 최저 주파수 레벨을 720MHz로 설정하였다. 상대적 전력 특성에 대해서는 표 4에 자세히 나와 있으며, 전력의 가장 작은 단위인 u값은 0.01로 설정하였다.

표 4

[0051]

주파수 레벨	1	2	3	4	5	6
주파수(GHz)	0.72	1.2	1.44	1.68	1.92	2.4
P_k	0.57	0.66	0.72	0.79	0.91	1

[0052] 이와 같은 조건 하에서 본 발명에서 제안한 미디어 재생장치의 에너지 관리방법을 적용하면, 도 3과 같이 제한된 에너지 조건 하에서 영상의 유형 별로 평균 최대신호 잡음비를 얻을 수 있다. 도 3에 도시된 것처럼 상대적인 에너지 버짓의 크기와 평균 최대신호 잡음비는 비례 관계에 있음을 확인할 수 있다. 이는 높은 에너지 버짓은 일반적으로 아래 표 5와 같이 품질 레벨의 향상과 연관되어 있기 때문이다.

표 5

[0053]

품질 레벨	상대적인 에너지 버짓(units)			
	40000	45000	50000	55000
1	196	23	9	3
2	376	348	187	66
3	28	182	206	145
4	0	47	198	386

[0054] 이는 또한 더 높은 주파수 레벨에서 디코딩 되는 프레임의 수를 표 6과 같이 증가시키기도 한다.

표 6

[0055]

CPU 주파수	상대적인 에너지 버짓(units)			
	40000	45000	50000	55000
2.4GHz	0	940	3960	7726
1.92GHz	2146	282	122	45
1.68GHz	1523	152	55	12
1.44GHz	4882	3747	1967	740
1.2GHz	2471	2982	1689	590
720MHz	977	3896	4206	2886

[0056] 또한, 도 3에 도시된 평균 최대신호 잡음비를 살펴보면, 기존의 고정 품질(CQ) 정책보다 상대적으로 월등한 성능을 보이고 있음을 알 수 있다. 아래 표 7은 품질 레벨을 고정시킨 상태에서의 각 영상의 유형에 따른 전력 소비량 및 평균 최대신호 잡음비를 나타내는 것이다.

표 7

[0057]

품질 레벨	애니메이션		스포츠		TV 쇼	
	Energy (units)	PSNR (dB)	Energy (units)	PSNR (dB)	Energy (units)	PSNR (dB)
1	35657	36.98	36916	34.89	35706	35.82
2	41071	39.63	42209	37.83	41128	38.84
3	49472	42.45	51549	40.77	49580	41.85
4	59648	45.86	59872	43.97	59770	45.12

[0058] 표 7의 고정 품질 정책을 적용시킨 경우와 도 3의 본 발명에서 제안된 기술을 적용시켜 시뮬레이션한 경우를 비교하면, 다음과 같은 결과를 알 수 있다.

[0059] 첫째, 평균 최대신호 잡음비가 40dB 이상인 상태에서 본 발명의 기법이 고정 품질 기법보다 16% ~ 29% 정도 적은 전력을 소비한다는 것을 알 수 있다. 예를 들어, 고정 품질 기법의 경우 애니메이션 영상에 대하여 42.45dB의 평균 최대신호 잡음비를 얻기 위해서는 49472 (units) 만큼의 에너지 버짓이 필요하다. 그에 반하여, 본 발명의 기법의 경우 애니메이션 영상에 대하여 42.45dB의 평균 최대신호 잡음비를 얻기 위해서는 48000 (units) 미만의 에너지 버짓이 필요하다.

[0060] 둘째, 동일한 에너지 버짓을 가진 상태라면, 본 발명의 기법이 고정 품질 기법보다 높은 품질 레벨에서 영상을 재생할 수 있다는 것을 알 수 있다. 예를 들어, 애니메이션 영상에 대하여 에너지 버짓이 47500 (units)이고 고정 품질 기법의 경우, 6429 (units) 만큼의 에너지 버짓이 사용되지 못 하고, 평균 최대신호 잡음비가 39.63dB이고, 품질 레벨 2에서 애니메이션 영상이 재생될 수 있다. 그에 반하여, 본 발명의 기법의 경우 47500 (units)이라는 에너지 버짓이 최대한 활용되고, 평균 최대신호 잡음비가 42.23dB이고, 고정 품질 기법의 경우보다 높은 품질 레벨에서 영상이 재생될 수 있다.

[0061] 아울러, 이와 같은 조건 하에서 본 발명에서 제안한 미디어 재생장치의 에너지 관리방법을 적용하면, 도 4와 같이 제한된 에너지 조건 하에서 영상의 유형 별로 주파수 레벨의 조합에 따른 평균 최대신호 잡음비를 얻을 수 있다.

[0062] 도 4에 나타난 1 내지 6의 숫자는 상술한 표 4의 주파수 레벨을 의미한다. 예를 들어, {6, 3, 1}은 미디어 재생장치 혹은 CPU가 2.4GHz, 1.44GHz, 720MHz로 이루어진 주파수 레벨만을 지원한다는 것을 의미한다. 도 4를 참고하면 지원하는 주파수 레벨이 많을수록 평균 최대신호 잡음비가 증가한다는 것을 알 수 있다. 예를 들어, 에너지 버짓이 45000 (units)인 경우, {6, 5, 4, 3, 2, 1}은 {6, 3, 1} 또는 {6, 4, 2}에 비하여 영상의 유형에 따라 대략 0.1dB ~ 0.93dB 정도를 향상시킨다. 또한, 에너지 버짓이 50000 (units)인 경우, {6, 5, 4, 3, 2, 1}은 {6, 3, 1} 또는 {6, 4, 2}에 비하여 영상의 유형에 따라 대략 0.1dB ~ 0.72dB 정도를 향상시킨다.

[0063] 한편, 도 5는 도 2에 기재된 방법을 컴퓨터 상에서 수행하기 위한 프로그램의 일 예를 나타낸 도면이다. 이하 구체적으로 기술될 과정을 거쳐 최종적으로 도 5에 도시된 것과 같은 프로그램이 완성될 수 있다.

[0064] 상술한 오버런은 다음 주파수 레벨을 선택할 때에 프로그램 상에서 반드시 반영되어야 한다. 즉, 오버런 타임의 길이(T_{ij}^{over})는 현재의 디코딩 시간을 반영하기 위해 프로그램 상에서 0으로 초기화될 필요성이 있다.

만약 오버런이 발생하지 않으면, 디코더는 슬립 상태로 들어가고, 이때의 T_{ij}^{over} 는 0이다. 또한, 상술한 것처럼 프레임 i , 품질 레벨 j 에서 가능한 주파수 레벨의 집합은 배열로 관리될 수 있고, 배열의 경우 다음 수학적 식 1처럼 나타낼 수 있다.

수학적 식 1

$$A_{i,j} = \{k | T_{i-1,j}^{over} + d_{i,j}^k \leq T_p\}$$

[0065] 또한, $F_{i,j}$ 가 프레임 i , 품질 레벨 j 에서 선택된 주파수 레벨이라면, 선택된 주파수 레벨은 다음 수학적 식 2처럼 나타낼 수 있다.

수학적 식 2

$$F_{i,j} = \begin{cases} \min_{k \in A_{i,j}} k & A_{i,j} \neq \emptyset \\ N_f & \text{Otherwise} \end{cases}$$

[0066] 또한, 평균 최대신호 잡음비를 최대가 되도록 품질 레벨을 결정하는 과정에서, 이전 세그먼트의 품질 레벨이 최고 품질 레벨로 선택된다면, 다른 품질 레벨의 각 세그먼트의 첫 번째 프레임에 대한 오버런 타임이 증가될 수 있다. 따라서 이전 세그먼트의 품질 레벨이 최고 품질 레벨로 선택된다고 가정한 후, 각 세그먼트의 마지막 프레임에 대한 오버런 타임을 계산하는 방식이 적용되었다. 이를 바탕으로 오버런 타임의 길이가 수학적 식 3과 같이 도출될 수 있다.

수학적 식 3

$$T_{i,j}^{over} = \begin{cases} \max(0, T_{i-1,N_l}^{over} + d_{i,j}^{F_{i,N_l}} - T_p) & i = mN_c, (m = 1, \dots, N_s) \\ \max(0, T_{i-1,j}^{over} + d_{i,j}^{F_{i,N_l}} - T_p) & \text{Otherwise.} \end{cases}$$

[0067] $E_{i,j}^{frame}$ 를 프레임 i 를 품질 레벨 j 로 디코딩하는데 필요한 에너지 소비량이라 하고, 이는 수학적 식 4와 같이 계산된다.

수학식 4

$$E_{i,j}^{\text{frame}} = \begin{cases} P_{F_{i,j}} d_{i,j}^{F_{i,j}} & T_{i,j}^{\text{over}} > 0, \\ P_{F_{i,j}} (T_p - T_{i-1,j}^{\text{over}}) & T_{i-1,j}^{\text{over}} > 0 \text{ and } T_{i,j}^{\text{over}} = 0 \\ P_{F_{i,j}} T_p & T_{i-1,j}^{\text{over}} = 0 \text{ and } T_{i,j}^{\text{over}} = 0 \end{cases}$$

[0071]

전체의 세그먼트 m을 재생하기 위해 필요한 총 에너지 $E_{m,j}^{\text{seg}}$ 는 수학식 5와 같이 계산된다.

[0072]

수학식 5

$$E_{m,j}^{\text{seg}} = \sum_{i=(m-1)N_c+1}^{i=mN_c} E_{i,j}^{\text{frame}}$$

[0073]

$E_{m,j}^{\text{seg}}$ 의 가장 작은 단위는 u로 가정한다면, 소비 전력을 위한 새로운 변수인 $E_{m,j}^{\text{unit}}$ 를 수학식 6과 같이 정의할 수 있다.

[0074]

수학식 6

$$E_{m,j}^{\text{unit}} = \left\lfloor \frac{E_{m,j}^{\text{seg}}}{u} \right\rfloor$$

[0075]

또한, $Q_{m,j}$ 는 m번째 세그먼트에서 품질 레벨 j가 선택되었을 때의 평균 최대신호 잡음비로 정의하고

[0076]

($j=1, \dots, N_l$ and $m=1, \dots, N_s$), E^* 는 u의 배수로 표현되는 에너지 버킷으로 정의한다. $x_{m,j}$ 는 세그먼트 m

에서 품질 레벨 j를 선택한 것인지 아닌지 나타내는 이진 변수라고 정의한다. 즉, $x_{m,j}$ 가 1이면 세그먼트 m에서 품질 레벨 j가 선택되었음을 의미한다. 위를 종합하여 품질 선택 문제(QSP)가 수학식 7과 같이 공식화 될 수 있고, 이를 풀어내는 것이 본 발명의 중요한 부분 중 하나일 수 있다.

수학식 7

$$\begin{aligned} & \text{Maximize} \quad \sum_{m=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{N_l} x_{m,j} Q_{m,j} \\ & \text{Subject to} \quad \sum_{m=1}^{N_s} x_{m,j} E_{m,j}^{\text{unit}} \leq E^* \\ & \quad \quad \quad x_{m,j} \in 0,1, \\ & \quad \quad \quad \sum_{j=1}^{N_l} x_{m,j} = 1 \end{aligned}$$

[0077]

[0078]

다음으로는 동적 프로그래밍 기법을 기초로 품질 선택 문제(QSP)를 풀기 위한 최적 알고리즘을 제안한다.

$O_{m,j}$ 를 1과 m 세그먼트들 사이에서 허용되는 에너지 소비가 k인 때의 최대 평균 최대신호 잡음비라고 한다
면, $O_{m,k}$ 는 다음의 세 단계를 통해 계산될 수 있다. ($m=1, \dots, N_s$ and $k=1, \dots, E^*$)

[0079]

1) $\forall m$ and k ($m=1, \dots, N_s$ and $k=1, \dots, E^*$) : $O_{m,k}$

[0080]

2) $O_{1,k}$ 는 수학식 8과 같이 계산된다.

수학식 8

$$O_{1,k} = \max_{j \in \{j | E_{1,j}^{\text{unit}} \leq k\}} Q_{1,j}$$

[0081]

3) $O_{m-1,k-E_{m,j}^{\text{unit}}} > 0$ 인 경우, $O_{m,k}$ ($m=2, \dots, N_s$)는 수학식 9의 점화식으로 갱신된다.

[0082]

수학식 9

$$O_{m,k} = \max_{j=1, \dots, N_l} \left\{ \max \left\{ O_{m,k-1}, O_{m-1,k-E_{m,j}^{\text{unit}}} + Q_{m,j} \right\} \right\}$$

[0083]

이때, O_{N_s, E^*} 의 값은 최대 평균 최대신호 잡음비와 대응된다. 이 점화식을 바탕으로 본 발명에서 최적
품질 레벨 선택 알고리즘(QSA)이 도 5와 같이 제안된다. 먼저 변수 $S_{m,k}$ ($m=1, \dots, N_s$ and $k=1, \dots, E^*$)는
에너지 버킷 k에서 최적의 평균 최대신호 잡음비 $O_{m,k}$ 를 갖도록 하는 세그먼트 m의 품질 레벨을 기록한다.

위의 세 단계를 이용하여 품질 선택 알고리즘은 최대 평균 최대신호 잡음비 O_{N_s, E^*} 를 찾는다(11~28

라인). 그 다음 $O_{N_s \times E^*}$ 를 역으로 추적하여 x_{mj} 값을 찾아낸다(30~34 라인). 이러한 품질 선택 알고리즘은 $O(N_s E^* N_D)$ 의 시간 복잡도를 갖는다.

[0085] 지금까지 상술한 것처럼 본 발명은 컴퓨터에 의해 실행되는 프로그램 모듈과 같은 컴퓨터에 의해 실행가능한 명령어 또는 미디어 재생장치의 에너지 관리 과정을 포함하는 기록 매체의 형태로도 구현될 수 있다. 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 매체 및 통신 매체를 모두 포함할 수 있다. 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. 통신 매체는 전형적으로 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈, 또는 반송파와 같은 변조된 데이터 신호의 기타 데이터, 또는 기타 전송 메커니즘을 포함하며, 임의의 정보 전달 매체를 포함한다.

[0086] 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.

[0087] 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.

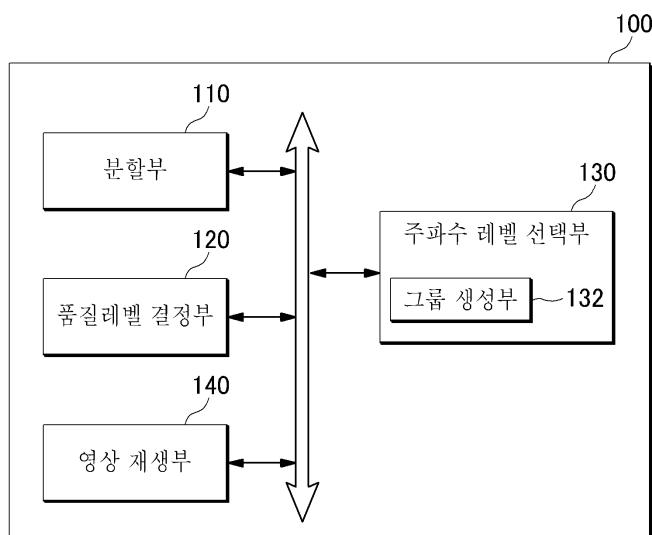
부호의 설명

[0088]

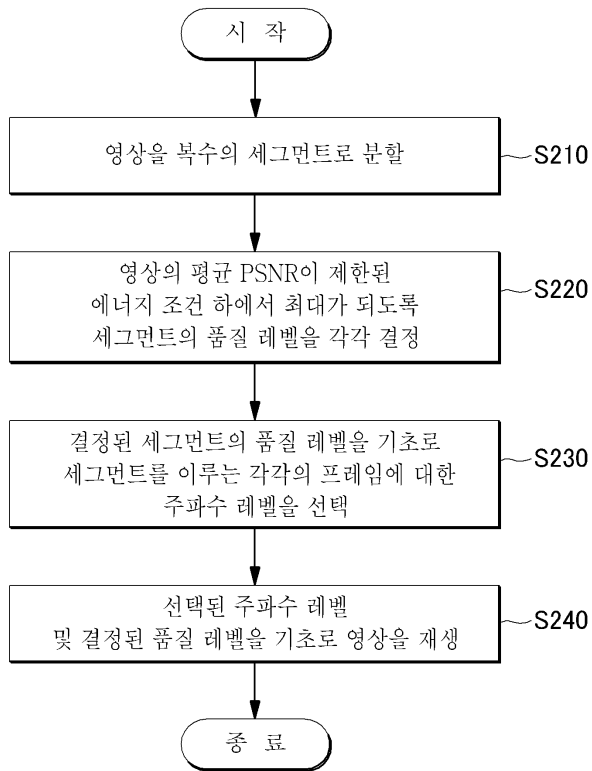
100: 미디어 재생장치	110: 분할부
120: 품질레벨 결정부	130: 주파수 레벨 선택부
132: 그룹 생성부	140: 영상 재생부

도면

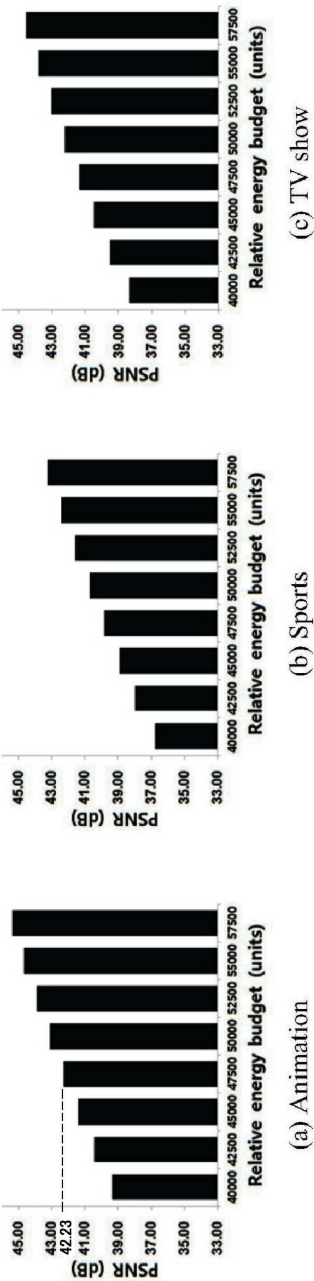
도면1



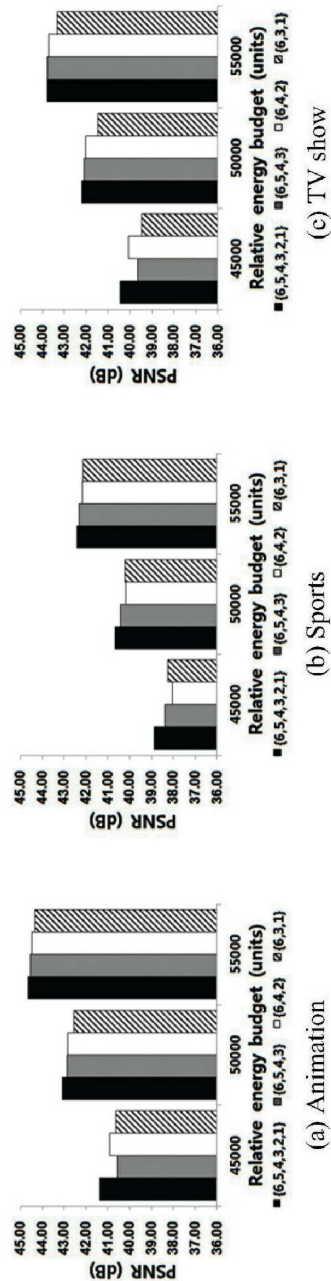
도면2



도면3



도면4



도면5

```

1: Temporary variables:  $m, k$  and  $j$ ;
2: for  $m = 0$  to  $N_S$  do
3:   for  $k = 0$  to  $E^*$  do
4:      $O_{m,k} \leftarrow 0$ ;
5:      $S_{m,k} \leftarrow 1$ ;
6:   end for
7:   for  $j = 1$  to  $N_l$  do
8:      $x_{m,j} \leftarrow 0$ ;
9:   end for
10: end for
11: for  $k = 1$  to  $E^*$  do
12:   if  $k \geq E_{1,1}^{\text{unit}}$  then
13:      $O_{1,k} \leftarrow \max_{j \in \{j | E_{1,j}^{\text{unit}} \leq k\}} Q_{1,j}$ ;
14:      $S_{1,k} \leftarrow \arg \max_{j \in \{j | E_{1,j}^{\text{unit}} \leq k\}} Q_{1,j}$ ;
15:   end if
16: end for
17: for  $m = 2$  to  $N_S$  do
18:   for  $k = 1$  to  $E^*$  do
19:     if  $O_{m-1,k-E_{m,j}^{\text{unit}}} > 0$  then
20:        $O_{m,k} \leftarrow \max_{j=1,\dots,N_l} \left\{ \max \{ O_{m,k-1}, O_{m-1,k-E_{m,j}^{\text{unit}}} + Q_{m,j} \} \right\}$ ;
21:       if  $O_{m,k} = O_{m,k-1}$  then
22:          $S_{m,k} \leftarrow S_{m,k-1}$ ;
23:       else
24:          $S_{m,k} \leftarrow \arg \max_{j=1,\dots,N_l} O_{m-1,k-E_{m,j}^{\text{unit}}} + Q_{m,j}$ ;
25:       end if
26:     end if
27:   end for
28: end for
29:  $m \leftarrow N_S, k \leftarrow E^*$ ;
30: while  $m > 0$  do
31:    $x_{m,S_{m,k}} \leftarrow 1$ ;
32:    $k \leftarrow k - E_{m,S_{m,k}}$ ;
33:    $m \leftarrow m - 1$ ;
34: end while

```