

논문 2013-50-9-10

저전력 움직임 추정을 위한 데이터 재사용 스캔 방법 (Data Reusable Search Scan Methods for Low Power motion Estimation)

김 태 선*, 선 우 명 훈**

(Tae Sun Kim and Myung Hoon Sunwoo[©])

요 약

본 논문은 저전력 움직임 추정장치를 구현하기 위한 전역 탐색 및 고속 탐색용 데이터 재사용 스캔 방법을 제안한다. 제안하는 최적화된 소 구역 분할방법은 탐색 영역을 여러 개의 소 구역으로 나누어 기존의 smart snake scan 방법과 비교 하였을 때 같은 양의 데이터 재사용에 필요한 재구성 가능한 레지스터 어레이를 반으로 줄일 수 있다. 또한 제안하는 중심 편향 탐색 스캔방법은 다양한 고속탐색 알고리즘의 데이터 재사용 가능성을 향상 시킬 수 있다. 제안하는 탐색 순서는 기존의 래스터 스캔과 snake scan 방법에 비해 평균적으로 각각 26%와 16.1%의 반복된 데이터 로딩을 줄일 수 있다. 따라서 제안하는 스캔 방법은 메모리의 접근 횟수를 줄일 수 있기 때문에 저전력과 고성능의 움직임 추정 구현에 적합하다.

Abstract

This paper proposes the data reusable search scan methods for full search and fast search to implement low power Motion Estimation (ME). The proposed Optimized Sub-region Partitioning (OSP) method which divide search region into several sub-region can reduce the number of the required Reconfigurable Register Array (RRA) by half compared to the existing smart snake scan method for the same data reusability. In addition, the proposed Center Biased Search Scan method (CBSS) for various fast search algorithms can improve the data reusability. The performance comparisons show that the proposed search scan methods can reduce the average redundant data loading about 26.9% and 16.1% compared with the existing raster scan and snake scan methods, respectively. Due to the reduction of memory accesses, the proposed search scan methods are quite suitable for low power and high performance ME implementation.

Keywords : motion estimation/motion compensation (ME/MC), low-power design, loop accelerator

I. 서 론

영상의 저장과 전송은 스마트폰과 스마트패드 같은 많은 모바일 어플리케이션에서 중요한 요소 중 하나이다. 그러나 가공되지 않은 비디오 시퀀스는 크기가 매우 크기 때문에 영상 압축이 필요하다. 수년 동안 효과적인 영상 압축을 위해 MPEG-2, MPEG-4, H.261,

H.263, H.264^[1], HEVC^[2] 같은 영상 압축 표준이 개발되어 졌다. 이러한 비디오 코덱들은 움직임 예측과 변환 부호화의 혼합으로 이루어져 있다. 영상 코덱에서 블록 기반 움직임 추정은 가장 많은 연산을 차지하는 부분이다.

잘 알려진 전역탐색은 가장 간단한 탐색 방법이다. 하지만 탐색 영역 안에 있는 모든 지점들을 남김없이 탐색하기 때문에 가장 많은 연산량을 가지고 있다. 많은 고속 탐색 알고리즘들이 [3~8]과 같은 전역 탐색의 큰 연산량을 줄이기 위해 개발되었다. 이러한 고속탐색은 탐색 결과가 전역탐색과 같은 손실이 없는 탐색과 탐색 결과가 전역탐색과 다른 손실이 있는 탐색으로 나뉜다. [3~4]와 같은 손실이 없는 탐색은 전역탐색과 동

* 학생회원, ** 평생회원, 아주대학교 전자공학부
(Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University)

[©] Corresponding Author(E-mail: sunwoo@ajou.ac.kr)

※ This work was supported by the Mid-career Researcher Program through an NRF grant funded by the MEST (2013031132).

접수일자: 2013년7월25일, 수정완료일: 2013년8월27일

일한 성능을 보이면서 불필요한 후보군을 가능한 빨리 제거함으로써 연산속도가 전역탐색 보다 빠르다. 손실이 있는 고속 탐색 알고리즘 중 가장 대표적인 것은 후보 군을 줄이는 것이다. 이런 고속탐색 알고리즘에는 TSS(Three Step Search)^[5], 다이아몬드 탐색^[6], 헥사곤 탐색 등이 포함된다. 최근 H.264와 HEVC에서는 다중 참조영상과 다양한 블록 사이즈를 사용하여 움직임 추정의 복잡도가 매우 증가 하였다.

논문 [9~10]의 전역탐색의 경우 데이터 흐름이 규칙적이고 조작 과부하가 낮아 하드웨어로 구현하기 쉬워 기존의 움직임추정은 주로 전역 탐색에 맞추어 설계되었다. 하지만 전역 탐색은 연산 량이 많기 때문에 스마트 폰이나 스마트패드 같은 저 전력 실시간 어플리케이션에 맞지 않다. 이런 이유로 [11~13]같은 여러 가지 움직임추정 알고리즘을 지원하는 구조가 개발되었다. [11]에서는 전역탐색과 4SS(Four Step Search)을 지원하는 움직임추정 구조가 소개 되었다. 또한 TSS 또는 다이아몬드 탐색같은 고속탐색과 전역탐색을 설정할 수 있는 움직임 추정 구조가 [12~13]에서 소개되었다. 이 구조는 고속탐색의 탐색패턴이나 탐색 방향이 포함된 데이터 구조를 미리 정의 하여 룬이나 룬업 테이블에 저장하는 방식으로 구현되었다.

이 논문은 전역탐색과 고속탐색을 위한 탐색순서를 제안한다. [10]에 제안된 전역탐색을 위한 소 구역 분할 방식에 필요한 레지스터의 숫자를 줄이기 위해 최적화된 소 구역 분할방법을 제안했다. 또한, 고속탐색의 탐색패턴이 다르기 때문에 전역탐색의 재사용률 향상에 유용한 위의 탐색 순서는 고속탐색에 적용할 수 없다. 때문에 이 논문에서는 고속 탐색을 위한 중심 편향 탐색 스캔방법을 제안한다. 이 효과적인 두 데이터 재사용 방법은 참조데이터의 반복적인 로딩을 줄일 수 있다.

이 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 기존의 데이터 재사용에 효율적인 탐색순서를 소개하였다. III장에서는 효과적인 탐색 순서와 그에 대한 구조를 제안하였다. 제안한 구조에 대한 시뮬레이션 결과는 IV장에 나와 있다. 마지막으로 V장에서 결론을 서술한다.

II. 기존의 데이터 재사용 스캔 오더

스캔 오더는 데이터 재사용률을 증가 시키는 데 매우 중요한 역할을 한다. 기존의 움직임 추정 구조들은 일

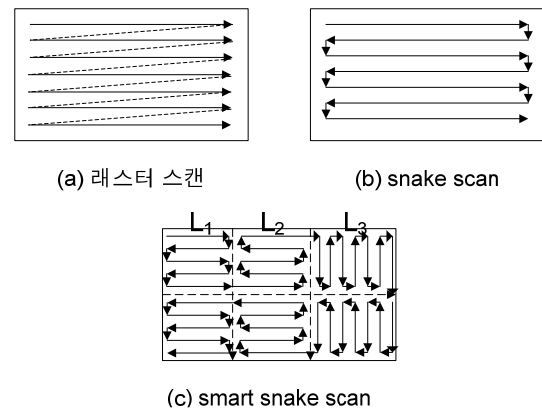


그림 1. 움직임 추정을 위한 서치 스캔 오더
Fig. 1. Search scan order for ME.

반적으로 그림 1에 나와 있는 라스터 스캔을 사용한다. 라스터 스캔에서 탐색은 왼쪽에서 오른쪽으로 진행된다. 따라서 라스터 스캔은 가로줄의 참조데이터 재사용에 매우 효과적이다. 예를 들어 $N \times N$ 크기의 블록에서 좌상단의 탐색지점을 찾게 된다면 $N \times N$ 블록 크기의 모든 참조 픽셀을 메모리에서 불러와야 한다. 하지만 그 다음 탐색 지점에서는 $(N-1) \times N$ 의 데이터를 재사용 할 수 있기 때문에 $1 \times N$ 의 픽셀만 메모리에서 새로 불러 오면 된다. 한 줄의 탐색이 끝난 후에는 다시 $N \times N$ 의 픽셀을 메모리로부터 불러와야 한다.

그림 1(b)의 snake scan은 데이터 재사용률을 향상시킨 스캔 오더 방법이다. snake scan은 첫 번째 줄에서 왼쪽으로부터 오른쪽으로 진행하고, 두 번째 줄에는 오른쪽에서 왼쪽으로 진행한다. 그 후 세 번째 줄에서는 첫 번째 줄과 같이 왼쪽에서 오른쪽으로 진행하고 그 이후로는 이와 같은 방식으로 계속 진행한다. snake scan은 가로로 탐색을 진행하는 동안 라스터 스캔처럼 $(N-1) \times N$ 픽셀만큼 재사용 되지만 가로방향의 탐색이 끝난 후 세로 방향으로 데이터를 불러 올 때는 라스터 스캔과는 다르게 $N \times (N-1)$ 픽셀을 재사용 할 수 있다. [10]에서 소개된 smart snake scan 은 다양한 데이터 재사용을 통해 반복되는 데이터 로드를 최소화 할 수 있다. smart snake scan 에서 탐색 영역은 서로 겹쳐지지 않는 정사각의 부분영역으로 나뉜다. 그림 1(c)는 여섯 개의 부분영역으로 나뉜 예이다. 각 부분영역에서 탐색순서는 기본적으로 snake scan 으로 움직인다. 하지만 탐색 방향은 바뀔 수 있다. L1 영역에서 탐색은 위에서 아래로 진행되고 L2에서는 아래에서 위로 진행된다. L2의 탐색이 끝난 후 L3영역에서는 행을 기반으로 하는 본래의 snake scan 과는 다르게 열을 기반으로 하는 snake scan 으로 바뀌어 동작한다.

각 부분 영역의 크기는 파라미터 M에 의해서 제한된다. $(M-1) \times (N-1)$ 크기의 RRA(Reconfigurable Register Array)를 갖는 smart snake scan은 간단하고 데이터 재사용에 효과적이기 때문에 전역탐색 구현에 매우 적합하다.

그러나 부분영역을 나누는 방법이 너무 엄격하여 효과적으로 다른 탐색 알고리즘에 적용할 수 없다. 이런 스캔 오더와 RRA 업데이트 방식은 다음의 두 가지 이유로 고속탐색 알고리즘의 구현에는 사용될 수 없다. 첫째, RRA에 저장되는 참조데이터의 일관성이 떨어진다. 전역탐색은 다음에 탐색할 탐색 지점이 정해져 있는데 반해 다이아몬드 탐색이나 헥사곤 탐색과 같은 탐색 알고리즘의 경우 현재 탐색 결과에 따라 다음 탐색 지점이 달라진다. 둘째, PE(Processing Element) 어레이와 RRA 사이의 데이터 처리가 복잡하다. RRA는 탐색 영역의 이전 행과 열의 모든 픽셀 데이터를 가지고 있을 수 없고 PE 어레이는 탐색패턴에 따라 재사용데이터의 위치나 크기가 필요하다. 이런 이유로 본 논문에서는 고속탐색 알고리즘을 위한 탐색 진행 순서와 데이터 재사용 방법을 제안한다.

III. 제안하는 스캔 오더

1. 최적화된 소 구역 분할방법

위에 언급한 바와 같이 너비나 높이의 최댓값이 M인 부분영역을 지원하기 위한 RRA의 크기는 $(M-1) \times (N-1)$ 이다. 그러나 만약 탐색 방향을 자유롭게 조절할 수 있다면, 부분 영역의 최대 높이나 너비는 더 이상 RRA의 크기를 제한하지 않는다. 이러한 성질을 이용하여 본 논문에서는 최적화된 소 구역 분할방법을 포함하는 새로운 데이터 재사용 탐색 방법과 탐색 방향 조작 방법을 제안한다.

최적화된 소 구역 분할방법은 새로운 부분영역 세트를 생성하기 위한 레지스터의 최대 숫자를 의미하는 파라미터 D 사용한다. 만약 탐색 영역의 높이나 너비가 정해지면, 높이나 너비가 파라미터 D보다 클 경우에만 새로운 부분영역의 세트를 생성하기 위해 탐색영역이 나뉜다. 파라미터 D는 부분영역의 크기를 제한하는 M과 비슷한 역할을 한다. 그러나 두 파라미터 사이에는 다른 점이 존재 한다. 만약 부분영역의 높이나 너비 중 하나가 파라미터 D보다 작거나 같게 제한된다면 다른 부분은 파라미터D에 의해 제한될 필요가 없다. 따라서 32×32 크기의 탐색 영역을 크기가 16인 파라미터 D

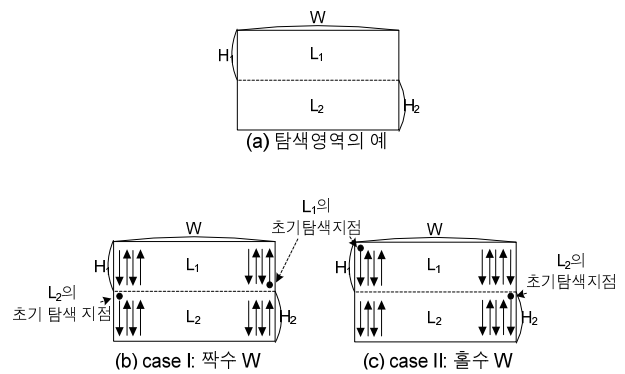


그림 2. 제안하는 전역탐색을 위한 탐색 순서와 방향
Fig. 2. Proposed search order and direction for FS.

를 이용하여 두개의 32×16 의 영역으로 나눌 수 있다. 그림 2(a)는 최적화된 소 구역 분할방법을 이용하여 두개의 부분영역 L1과 L2로 나눈 예시이다.

파라미터 D에 의해 부분영역이 나누어지면 그 다음으로 탐색방향과 순서가 결정된다. 탐색 방향은 탐색영역의 너비나 높이에 따라 나누어진다. 만약 너비가 높이보다 크다면 탐색 진행은 위에서 아래 또는 아래에서 위로 진행하는 열 단위 탐색이고 높이가 너비보다 크다면 탐색 진행은 왼쪽에서 오른쪽이나 오른쪽에서 왼쪽으로 진행하는 행 단위 탐색으로 진행된다. 그 예로 그림 2(b)와 2(c)는 너비가 높이보다 큰 경우의 탐색 시작 지점과 초기 탐색 진행 방향을 보여준다.

2. 중심 편향 탐색 스캔방법

다이아몬드 탐색, 헥사곤 탐색, 십자 탐색 등 대부분의 움직임추정 알고리즘은 탐색패턴이 대칭적이다. 따라서 재사용 가능한 데이터는 중앙 후보지점에 집중되어 있다. 제안하는 중심 편향 탐색 스캔방법은 탐색패턴의 중앙에 해당하는 참조 데이터들을 RRA에 저장한다. 그런 후에 탐색은 탐색패턴의 오른 측면부터 진행되고 오른 측면의 탐색이 끝난 후에 왼 측면으로 탐색이 진행된다. 오른 측면이나 왼 측면의 탐색이 진행되는 동안 PE 어레이에서 왼쪽이나 오른쪽으로의 픽셀이동을 지원하는 쉬프트 레지스터가 데이터 재사용을 위해 사용된다. RRA는 가운데 지점을 탐색하거나 탐색 방향이 바뀔 때 사용된다. 그림 3은 제안하는 중심 편향 탐색 스캔방법을 보여주는데 자세한 설명은 다음과 같다.

첫째, 탐색 영역내의 탐색 후보지점이 있는 모든 행의 중앙지점을 살핀다. 만약에 중앙 지점을 탐색한다면, 중앙지점에 해당하는 $N \times N$ 참조픽셀이 메모리로부터 PE 어레이로 로딩 된다. 또한 이 참조픽셀들은 PE 어

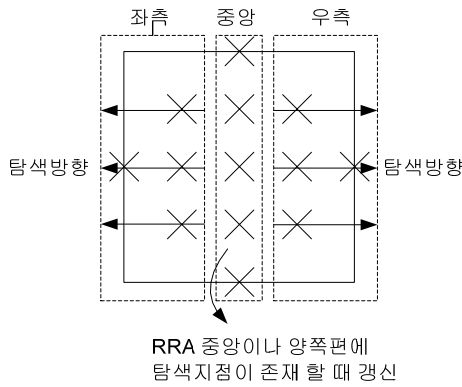


그림 3. 제안하는 중심 편향 탐색 스캔방법
Fig. 3. Proposed Center Biased Search Scan(CBSS) method.

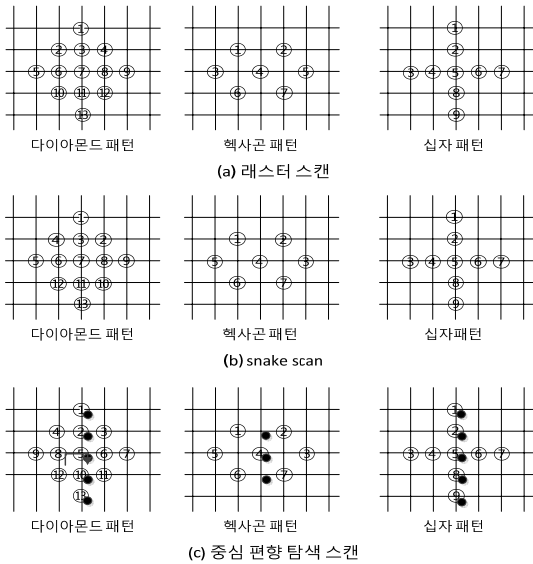


그림 4. 스캔 오더 방식에 따른 탐색패턴의 탐색 순서
Fig. 4. Search order for each search pattern according to scan order method.

레이에서 RRA로 저장된다. 반면에 행의 중앙지점에서 탐색을 하지 않고 중앙지점의 왼쪽이나 오른쪽에 탐색지점이 있는 경우에는 중앙지점의 참조픽셀이 바로 RRA로 저장된다. 중앙지점의 연산이 끝나면 같은 행에서 중앙지점에서 가장 가까운 오른쪽 후보 지점으로 탐색이 진행된다.

다음 탐색지점들을 연산하기 위해 참조 데이터들은 RRA에서 PE 어레이로 전파된다. 이 단계에서 RRA는 갱신되지 않는다. 그 다음으로 스캔은 현재 행의 왼 측면에 남아있는 후보지점들로 진행된다. 왼 측면의 스캔이 시작하기 전에 PE 어레이는 RRA에 저장되어 있는 참조 데이터로 다시 갱신된다. 다시 말하자면, 중심 지점의 $N \times N$ 참조픽셀들은 PE 어레이에 다시 로딩 된다. 왼 측면 탐색은 오른 측면 탐색과 비슷한 방법으로

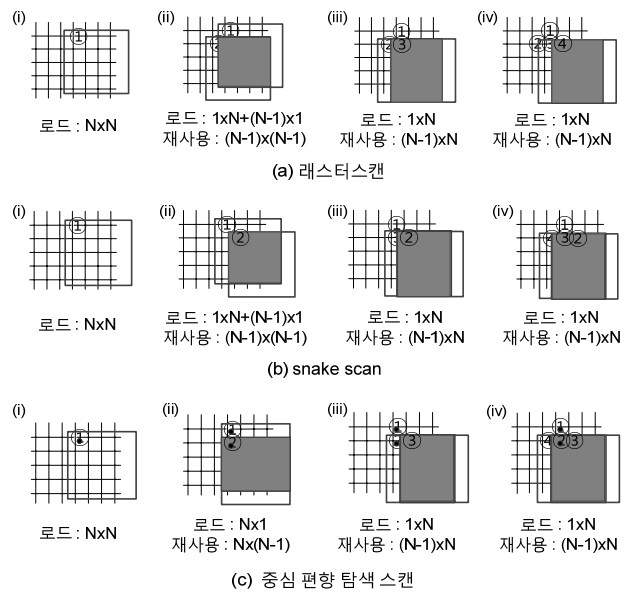


그림 5. 스캔 오더 비교
Fig. 5. Comparison of search scan orders.

진행된다. 현재 행의 모든 탐색이 끝나고 RRA가 중심 지점의 참조데이터를 가지고 있는 경우에 한해 PE 어레이는 또 RRA의 데이터로 갱신 된다.

그림 4는 다양한 탐색패턴에 따른 제안하는 스캔 오더를 보여준다. 래스터 스캔 과 snake scan이 적용된 탐색 순서는 그림 4(a)와 그림 4(b)에 나타나있고 그림 4(c)는 제안하는 스캔 오더를 보여준다. 그림 4(c)의 검은 점이 RRA가 갱신되는 위치이다.

그림 5는 그림 4에서 보여준 각 스캔 오더에 대한 데이터 로드와 재사용에 대한 수치이다. 각 스캔 오더의 (ii)단계에서 래스터 스캔과 snake scan의 경우 $(N-1) \times (N-1)$ 의 데이터만 재사용하는 반면에 제안하는 중심 편향 탐색 스캔방법의 경우 $N \times (N-1)$ 의 데이터를 재사용하여 $(N-1)$ 크기의 데이터로드가 줄어든다.

3. 제안하는 재구성 가능한 PE 어레이

본 논문에서 제안하는 중심 편향 탐색 스캔을 효과적으로 지원하기 위해서 PE 어레이 내부의 데이터를 좌우상하 전 방향으로 모두 이동 가능하여야 한다. 또한 중심 편향 탐색 스캔의 경우 고속탐색 알고리즘을 지원하기 때문에 탐색지점간의 간격이 넓어 기존의 PE구조는 이것을 효율적으로 지원하지 못한다.

다중의 PE로 구성된 2D PE 어레이는 움직임 추정 구조에 일반적으로 사용된다. 그림 6은 [14]-[15]에 사용되는 단일 PE 구조이다. 그림 6의 i, j 는 PE 어레이에서 PE의 위치를 의미한다. 각 PE는 현재 픽셀과 참조

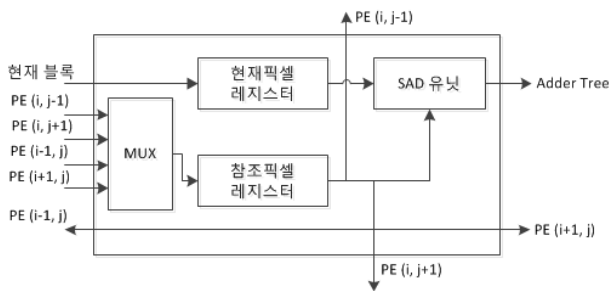


그림 6. 기존의 단일 PE 구조
Fig. 6. Existing architecture for single PE.

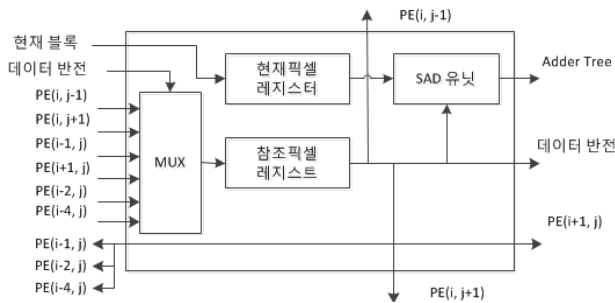


그림 7. 제안하는 단일 PE 구조
Fig. 7. Proposed architecture for single PE.

픽셀을 저장하기 위한 두 개의 레지스터와 SAD 연산을 위해서 하나의 SAD 유닛을 가지고 있다. PE 내부의 MUX는 참조픽셀 입력방향을 선택하는데 사용된다.

기존의 구조는 한 번에 한 픽셀씩 이동하므로 탐색 지점이 연속되어 있는 전역탐색에서는 효율적이지만 고속탐색을 지원하기 위해서는 다음 탐색지점의 데이터를 불러오는데 여러 클럭이 걸리기 때문에 효과적이지 않다. 그래서 본 논문에서는 고속탐색과 중심 편향 탐색 스캔방법에 효과적인 PE 구조를 제안한다.

그림 7에 보인 제안하는 구조와 기존 구조의 주요 차이점은 기존의 한 픽셀씩 이동하는 것이 아닌 매 클럭마다 4, 2, 1픽셀씩 데이터를 이동할 수 있는 데이터 경로이다. 또한 제안하는 구조는 데이터 반전이라는 특수한 데이터경로를 지원하여 중심 편향 탐색스캔 방법에서의 왼쪽 후보 지점에서의 이동도 효과적으로 지원한다. 예를 들어 왼쪽으로 4픽셀을 이동해야 할 경우 데이터 반전을 통해 데이터의 좌우를 바꾼 후 오른쪽으로 4픽셀 이동하고 다시 데이터 반전을 하면 왼쪽으로 4픽셀 이동한 것과 같은 결과를 얻을 수 있다.

IV. 실험 결과

서로 다른 스캔 오더의 데이터 재사용률을 비교하기 위한 중복 로딩 비율 R 은^[10] 다음같이 정의되어 있다.

$$R = \frac{L - S}{S} \quad (1)$$

S는 탐색영역 안에 있는 참조 픽셀의 수이고 L은 탐색이 진행되는 동안 실질적으로 로딩되는 참조 픽셀의 수이다. R은 탐색영역의 각 픽셀이 탐색이 진행되는 동안 중복되지 않고 한 번씩만 로딩되었을 때 0이 된다.

표 1은 래스터 스캔, snake scan, smart snake scan 과 제안하는 스캔을 포함한 다양한 스캔 오더의 전역탐색에서의 R(중복 로딩 비율)과 이를 구하기 위해 필요한 S(참조 픽셀수), L(로딩 픽셀수)을 나타내고 있다. R은 대표적이 두 가지 경우인 탐색 윈도우가 32 x 32 인 CIF영상과 탐색 윈도우가 128 x 96인 HD영상에 대하여 계산되었다.

만약 탐색영역의 너비와 높이 모두 파라미터 D보다 작거나 같다면 탐색영역은 하나의 블록으로 연산이 되고 중복 로딩 비율은 0이 된다. 제안하는 전역 탐색을 위한 최적화된 소 구역 분할방법 스캔방법은 같은 크기의 RRA를 사용할 때 smart snake scan 보다 더 좋은 데이터 재사용률을 보여주고 있고 RRA크기가 반일 때도 거의 근접하거나 더 나은 성능을 보여주고 있다.

표 2는 고속 탐색 알고리즘 패턴에 따른 다양한 스캔 오더의 중복 데이터 로딩 비율을 보여준다. 실험 결과

표 1. 전역 탐색에서의 다양한 스캔 방식에 따른 데이터 재사용률

Table 1. Data reuse ratio for various scan methods for FS.

스캔 방법	2P=32, 2Q=32, N=16, CIF			2P=128, 2Q=96, N=16, 1080p		
	S	L	R	S	L	R
래스터	2209	24064	989	15873	219648	1283
Snake	2209	16624	652	15873	196848	1140
Smart snake (M=16)	2209	3844	83	15873	46128	191
Smart snake (M=32)	2209	2099	0	15873	26508	67
제안하는 방법 (D=16)	2209	2674	21	15873	25878	63
제안하는 방법 (D=32)	2209	2209	0	15873	19923	25.5

표 2. 고속 탐색에서의 다양한 스캔 방식에 따른 데이터

Table 2. Data reuse ratio for various scan methods for Fast search.

스캔 방법	다이아몬드 패턴			헥사곤 패턴			십자 패턴		
	S	L	R	S	L	R	S	L	R
래스터 스캔	388	568	0.4 6	356	506	0.4 2	384	444	0.16
Snake scan	388	508	0.3 1	356	446	0.2 5	384	444	0.16
제안하는 방법	388	448	0.1 5	356	384	0.0 8	384	384	0

에 따르면 제안하는 고속 탐색 알고리즘을 위한 중심 편향 탐색 스캔방법 방법은 기존의 래스터 스캔과 snake scan과 비교하여 각각 26.9%와 16.1%의 평균적인 중복 데이터 로딩을 줄일 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 저 전력 움직임추정 장치를 위한 데이터 재사용 가능한 탐색 스캔 방법을 제안하였다. 시스템릭 PE 어레이와 RRA는 보통 전역탐색의 데이터 재사용을 위해 사용된다. 제안하는 최적화된 소 구역 분할방법 방법은 [10]논문의 smart snake scan 방법과 같은 재사용률을 보이면서도 RRA의 크기는 반으로 줄일 수 있다. 고속탐색 알고리즘의 불규칙적인 데이터 흐름 때문에 RRA를 사용하는 것은 데이터 재사용을 줄이는데 효과적이지 못하다. 제안하는 중심 편향 탐색 스캔방법은 탐색 순서를 바꿈으로써 데이터 재사용률을 향상시킬 수 있다. 성능 비교에서 볼 수 있듯이 평균 중복 데이터 로딩은 래스터 스캔 과 snake scan방법과 비교했을 때 각각 26.9%, 16.1% 감소시킬 수 있다. 그러므로 제안하는 탐색 스캔 방법은 스마트폰이나 스마트 패드 같은 저 전력 움직임 추정 어플리케이션에 적합하다.

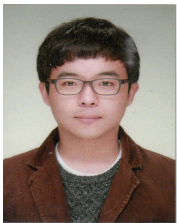
REFERENCES

[1] Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification, ITU-T Rec. H.264 and ISO/IEC 14496-10 AVC, Joint Video Team (JVT) of ITU-T VCEG and ISO/IEC MPEG, Document JVT-G050, May 2003.
 [2] Thomas Wiegand, Woo-Jin Han, Benjamin

Bross, Jens-Rainer Ohm, and Gary J. Sullivan, "WD1: Working Draft 1 of High-Efficiency Video Coding," ITU-T SG16/WP3 Doc. JCTVC-C403, Guangzhou, China, Oct. 2010.
 [3] Lien Fei Chen, Shien-Yu Huang, Chi-Yao Liao, and Yeong-Kang Lai, "Hardware efficient coarse-to-fine fast algorithm for H.264/AVC variable block size motion estimation," in Proc. IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), May 2009, pp. 1657-1660.
 [4] H. M. Wang, J.-K. Lin, and J.-F. Yang, "A successive termination and elimination method for fast H.264/AVC SATD-based inter mode decision," IET Signal Processing, vol. 3, issue 3, pp. 165-176, May 2009.
 [5] Luo Tao, Yao Su-ying, Shi Zai-feng, and Gao Peng, "An improved three-step search algorithm with zero detection and vector filter for motion estimation," in Proc. IEEE International Conference on Computer Science and Software Engineering, Dec. 2008, pp. 976-970.
 [6] Obianuju Ndili and Tokunbo Ogunfunmi, "Hardware-oriented modified diamond search for motion estimation in H.264/AVC," in Proc. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Sept. 2010, pp. 749-752.
 [7] A. M. Tourapis, O. C. Au, and M. L. Liou, "Highly efficient predictive zonal algorithms for fast block matching motion estimation," IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 12, no. 10, pp.934-947, Oct. 2002.
 [8] Z. Chen, P. Zhou, and Y. He, "Fast integer pel and fractional pel motion estimation for JVT," JVT-F017, Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCE, 6th Meeting, Japan, Dec. 2002.
 [9] Yeong-Kang Lai and Liang-Gee Chen, "A data-interlacing architecture with two-dimensional data-reuse for full-search block-matching algorithm," IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 8, no. 2, pp.124-127, April 1998.
 [10] Xing Wen, Oscar C. Au, Jiang Xu, Lu Fang, Run Cha, and Jiali Li, "Novel RD-optimized VBSME with matching highly data re-usable hardware architecture," IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 21, no 2, pp. 206-219, Feb. 2011.
 [11] Tung-Chien Chen, Yu-Han Chen, Sung-Fang Tsai, Shao-Yi Chien, and Liang-Gee Chen, "Fast algorithm and architecture design of low power

- integer motion estimation for H.264/AVC,” IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 17, no. 5, pp.568-577, May 2007.
- [12] W. M. Chao, C. W. Hsu, Y. C. Chang, and L. G. Chen, “A novel hybrid motion estimator supporting diamond search and fast full search,” in Proc. IEEE International Symposium on Circuits and Systems, May 2002, pp.492-495.
- [13] T. Li, S. Li, and C. Shen, “A novel configurable motion estimation architecture for high-efficiency MPEG-4/H.264 encoding,” in Proc. IEEE Asia and South Pacific Design Automation Conf., vol. 2, Jan. 2005, pp. 1264-1267.
- [14] J. L. Nunez-Yanez, A. Nabina, E. Hung, and G. Vafiadis, “Cogeneration of fast motion estimation processors and algorithms for advanced video coding,” IEEE Trans. On Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, vol. 20, no.3, pp. 437-448, March 2012.
- [15] T. Dias, S. Momcilovic, N. Roma, and L. Sousa, “Adaptive motion estimation processor for autonomous video devices,” EURASIP Journal on Embedded Systems, vol. 2007, Article ID 57234, pp.1-10, 2007.

저 자 소 개



김 태 선(학생회원)
2012년 아주대학교 전자공학 학사 졸업.
2013년 현재 아주대학교 전자공학 석박사 통합과정 재학.

<주관심분야 : 멀티미디어 코덱, 멀티미디어 신호 처리, 멀티미디어용 ASIP설계>



선 우 명 훈(평생회원)
1980년 서강대학교 전자공학 학사 졸업.
1982년 한국과학기술원 전자공학 석사 졸업.
1982년~1985년 한국전자통신연구원(ETRI) 연구원

1985년~1990년 Univ. of Texas at Austin 전자공학 박사.

1990년~1992년 Motorola, DSP Chip Division (미국)

1992년~현재 아주대학교 전자공학부 교수

2011년~현재 IEEE CASS Board of Governor

2011년~현재 IEEE Fellow Member

2012년~현재 대한전자공학회 반도체 소사이어티 회장

<주관심분야 : SoC 설계, VLSI Architecture, 통신 및 멀티미디어 ASIP 설계, 저전력 설계>