

가변 블록 크기 움직임 추정 기법에서 탐색 영역 데이터의 재사용과 조기 중단 기법의 적용 Reusing Search Window Data and Exploiting Early Termination in Variable Block Size Motion Estimation

박 태 욱, 허 아 름, 이 성 수*
Taewook Park, Ahrum Hur, Seongsoo Lee**

Abstract

In HEVC, motion estimation is performed independently for each variable block size. So it requires several times of search window data, and also it is difficult to exploit early termination. In this paper, a new method is proposed to exploit search window data and early termination in variable block size. When applied to TZS algorithm, it reduces pixel comparison and search window data accesses to 1/3.7 ~ 1/2.9 with negligible image quality degradation.

요 약

HEVC에서는 가변 블록 크기마다 각각 독립적으로 움직임 추정을 수행하기 때문에 단일 블록 크기일 때보다 몇 배의 탐색 영역 데이터가 필요하며 조기 중단 기법의 적용도 어렵다. 본 논문에서는 가변 블록 크기에서도 탐색 영역 데이터를 재사용하고 조기 중단 기법도 적용하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법을 TZS 알고리즘에 적용한 결과, 화질 저하가 거의 없이 화소 비교 연산량과 탐색 영역 데이터 액세스를 1/3.7 ~ 1/2.9로 줄였다.

Key words : Motion Estimation, Variable-Size Block, Data Reuse, Early Termination, HEVC

* School of Electronic Engineering, Soongsil University, sslee@ssu.ac.kr, 02-820-0692

★ Corresponding author

※ Acknowledgment

"This research was supported by Industrial Core Technology Development Program (10052009) and System IC Commercialization R&BD Program (10049498) funded by the Ministry of Trade, industry & Energy, Korea. It was also supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Korea (2014R1A1A2059625)."

Manuscript received Mar 21, 2016; accepted Mar 22, 2016

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

최근 널리 사용되는 HEVC[1]와 같은 동영상 압축 국제 표준은 지원하는 영상이 크기 때문에 많은 메모리 액세스를 필요로 하며, 여러 구성 프로세스 중에서 가장 많은 메모리 액세스를 차지하는 움직임 추정[2][3]의 경우 실시간 수행을 보장하기 위해서는 높은 사양의 하드웨어를 갖추어야 하는 어려움이 따른다.

HEVC 등에서 압축률을 높이기 위해 사용하는 가변 블록 크기의 경우, 각 블록 크기마다 각각 독립적으로 움직임 추정을 수행하기 때문에 단일 블록 크기일 때보다 몇 배의 탐색 영역 데이터를 액세스해야 한다.

또한 움직임 추정 기법에서는 연산량과 메모리 액세스를 줄이기 위해서 조기 중단 기법[4]을 많이 사용하지만, 가변 블록 크기에서는 화소간 비교를 수행하는 단위 처리기가 각 블록 크기마다 배정되어 독립적으로 수행되기 때문에 몇몇 단위 처리기가 조기에 중단되더라도 다른 단위 처리기까지 모두 중단되지 않으면 전체 움직임 추정기는 조기에 동작을 중단할 수 없어서 연산량과 메모리 액세스를 줄이지 못한다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 가변 블록 크기에서 탐색 영역 데이터의 재사용과 조기 중단 기법의 적용 방법을 제안하였다.

II. 탐색 영역 데이터의 재사용

움직임 추정은 그림 1과 같이 현재 프레임의 블록(기준 블록)을 이전 프레임의 일정 영역(탐색 영역)과 비교하여 차이 정도를 나타내는 수학적 연산값인 SAD(Sum of Absolute difference)가 가장 낮은 지점을 찾는 연산이다.

HEVC의 경우 최대 64x64에서 최소 8x8까지의 블록 크기를 사용할 수 있다. 기존의 HEVC 표준 소프트웨어 모델인 HM[6]의 경우 프레임을 여러 개의 CU(coding unit)으로 나눈 후, 각각의 CU를 다시 여러 개의 가변 크기 PU(prediction unit)로 나누어 움직임 추정을 수행한다. 이때, 1개의 64x64 PU에 대해 움직임 추정을 수행한 후, 차례대로 4개의 16x16 PU, 16개의 8x8 PU, 64개의 4x4 PU에 대해 움직임 추정을 수행한다.

이들 움직임 추정은 서로 독립적으로 수행되므로 각 블록 크기의 움직임 추정마다 탐색 영역 데이터를 프레임 메모리에서 새로 들고 와야 한다. 소프트웨어 모델과 달리 하드웨어 구현 시에는 탐색 영역 데이터를 읽어들이기 위한 메모리 대역폭이 큰 문제가 된다. 따라서 그림 2와 같이 최상위 크기 PU를 탐색하기 위해 읽어들이는 탐색 영역 데이터를 하위 크기 PU들의 탐색에 재사용하도록 하였다.

이 경우, 최상위 크기 PU만 탐색하면 하위 크기 PU들의 탐색이 동시에 끝나기 때문에 메모리 대역폭과 연산량이 크게 줄어드는 장점이 있지만, 최상위 크기 PU와 하위 크기 PU들이 같은

위치를 탐색해야 하는 제약이 따르기 때문에 어

```
SADmin=0; MVx=0; MVy=0;
for(m=0; m<#range; m++) {
  for(n=0; n<#range; n++) {
    SAD=0;
    for(i=0; i<#size; i++) {
      for (j=0; j<#size; j+)
        SAD+=curframe[i][j]-prevframe[i+m][j+n];
      if(SAD>SADmin)
        break; // Early Termination
    }
    if(SAD<SADmin) {
      SADmin=SAD; MVx=m; MVy=n;
    }
  }
}
```

Fig. 1. Pseudocode of motion estimation

그림 1. 움직임 추정 기법의 유사 코드

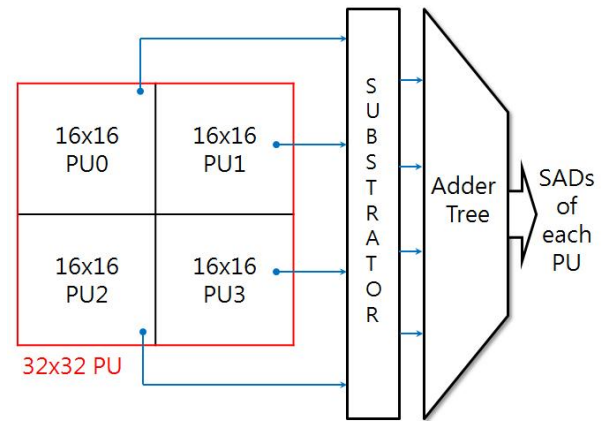


Fig. 2. Hardware architecture for search window data reuse

그림 2. 탐색 영역 데이터 재사용을 위한 하드웨어 구조

는 정도의 화질 저하가 발생할 가능성도 있다.

III. 조기 중단 기법의 적용

움직임 추정에서는 SAD가 가장 낮은 지점을 찾기 때문에 그림 1에서 현재까지 축적된 부분 SAD가 지금까지 찾은 최소 SAD값을 넘어서게 되면 해당 탐색점의 비교 연산을 조기 중단하고 다음 탐색점으로 넘어가는데 이것이 조기 중단 기법이다.

그림 2와 같이 제안된 하드웨어 구조는 하나의 최상위 크기 PU가 연산을 할 때 동일한 탐색점의 하위 크기 PU들도 동시에 연산을 하도록 설계되었다. 이 경우 최상위 크기 PU를 기준으로

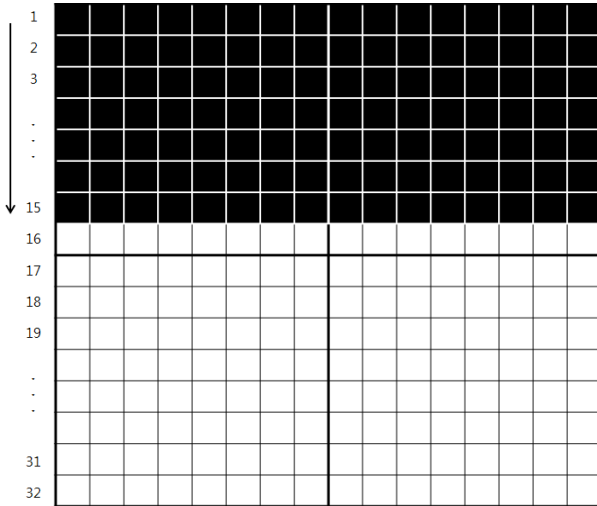


Fig. 3. Conventional memory access order

그림 3. 기존의 메모리 액세스 순서

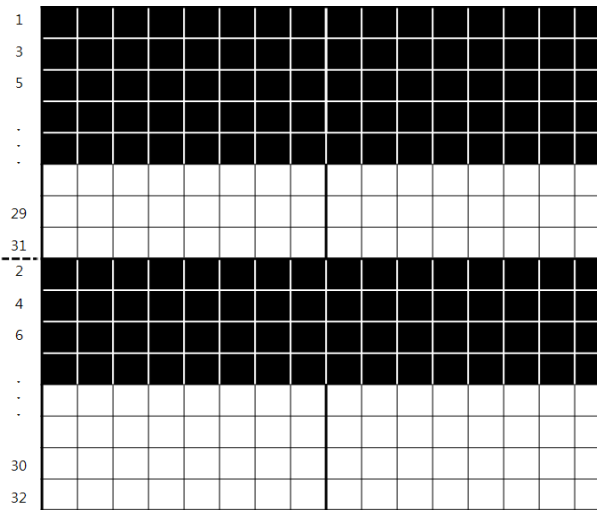


Fig. 4. Change of memory access order in horizontal rows

그림 4. 가로 줄 방향 메모리 액세스 순서 변경

최상위 크기 PU가 현재의 최소 SAD값을 초과하였을 때 아직 종료되지 않은 모든 하위 크기 PU에 대해서도 함께 조기 중단시킬 수밖에 없다. 이때 그림 3과 같이 최상위 크기 PU가 위에서 아래로 화소값 비교를 수행하기 때문에 상단에 있는 하위 크기 PU들은 거의 늘 탐색을 완료하는 반면에 하단에 있는 하위 크기 PU들은 거의 늘 조기 종료되는 문제점이 발생한다.

따라서 본 논문에서는 그림 4와 같이 메모리에서 현재 프레임과 이전 프레임의 화소 데이터를 호출할 때 가로 줄들의 순서를 바꾸어 읽어들이도록 한다. 이에 따라 하위 크기 PU들의 탐색도 최대한 많이 완료될 수 있도록 하였다.

Table1. Simulation results of 'Keiba' sequence

표 1. 시퀀스 'Keiba'의 시뮬레이션 결과

Algorithm	Original TZS	Modification for Data Reuse Only	Modification for Data Reuse and Early Termination
PSNR (dB)	33.3763	33.3763	33.3633
Pixel Comparison (pixel/s)	1,521,815,757	760,907,876	475,001,442
Memory Access (byte/s)	1,522,215,117	761,307,236	475,400,802

Table2. Simulation results of 'Traffic' sequence

표 2. 시퀀스 'Traffic'의 시뮬레이션 결과

Algorithm	Original TZS	Modification for Data Reuse Only	Modification for Data Reuse and Early Termination
PSNR (dB)	36.7007	36.6969	36.6342
Pixel Comparison (pixel/s)	7,138,310,554	3,574,312,346	1,922,499,856
Memory Access (byte/s)	7,142,406,554	3,578,408,346	1,926,595,856

IV. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 HM (HEVC test Model) 13.0[6]을 사용하여 진행하였다. CTU크기는 32x32로 설정하였고 PU는 32x32, 16x16 모드만을 사용하였으며 움직임 추정 알고리즘은 TZSearch를 사용하였다. 테스트에 사용한 영상은 크기가 작은 Keiba 시퀀스(832x480 화소, 512 Kbps 전송 비트율)와 크기가 큰 Traffic 시퀀스(2560x1600 화소, 4 Mbps 전송 비트율)를 사용하였다.

시뮬레이션 결과는 표 1 및 표 2와 같다. 탐색 영역 데이터 재활용을 위해 그림 2의 방법을 사용하면 화소 비교 연산량 및 메모리 액세스가 50% 정도 줄어들고, 조기 중단 기법의 작용을 위해 그림 4의 방법을 추가로 적용하면 화소 비교 연산량 및 메모리 액세스가 37~46% 정도 추가로 줄어든다. 표 1과 표 2에서 보면 제안하는 기법은 화소 비교 연산량 및 메모리 액세스를 기존에 비해 1/3.7 ~ 1/2.9로 크게 줄일 수 있으며, PSNR로 표현된 화질 저하는 0.01 ~ 0.07 dB로 거의 무시할만한 수준임을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 가변 블록 크기를 사용하는 HEVC 압축 국제 표준에서 탐색 영역 데이터의 재사용과 조기 중단 기법을 적용할 수 있는 새로운 방법을 제안하였으며, 시뮬레이션 결과 화질 저하는 무시할만한 수준임에 반해 화소 비교 연산량 및 메모리 액세스는 기존에 비해 1/3.7 ~ 1/2.9로 줄일 수 있었다.

References

- [1] G. Sullivan, J. Ohm, W Han, T. Wiegand, "Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 22, no. 15, pp. 1649-1668, Sep. 2012.
- [2] H. Yang and S. Lee, "Motion Estimation Algorithm to Guarantee Hard Realtime Operation", Journal of IKEEE, vol. 17. no. 1, pp. 36-43, Mar. 2013.
- [3] H. Bae and J. Chong, "A Simple Block-Based Motion Estimation Algorithm for Discontinuity Blocks", Journal of IKEEE, vol. 6. no. 1, pp. 94-101, Jun. 2002.
- [4] Z. Zhang, S. Kwong, X. Wang, and L. Xu, "Early Termination for TZSearch in HEVC Motion Estimation", Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, pp. 1389-1393, 2013.
- [5] J. Kim, J. Yang, K. Won, and B. Jeon, "Early Determination of Mode Decision for HEVC", Proceedings of Picture Coding Symposium, pp. 449-452, 2012.
- [6] HM Reference Software 13.0, https://hevc.hhi.fraunhofer.de/svn/svn_HEVCSoftware

BIOGRAPHY

Taewook Park (Student Member)



2014 : BS degree in Electronic Engineering, Soongsil University.
2016 : MS degree in Electronic Engineering, Soongsil University.
<Main Interest> HEVC, Digital System Design

Ah-rum Hur (Student Member)



2015 : BS degree in Electronic Engineering, Soongsil University.
2015~ : MS candidate in Electronic Engineering, Soongsil University.
<Main Interest> HEVC, Microprocessor

Seong-soo Lee (Life Member)



1991: BS degree in Electronic Engineering, Seoul National University.
1993: MS degree in Electronic Engineering, Seoul National University.
1998: PhD degree in Electrical Engineering, Seoul National University.
1998~2000: Research Associate, University of Tokyo.
2000~2002: Research Professor, Ewha Womans University.
2002~Now: Professor in School of Electronic Engineering, Soongsil University.
<Main Interest> HEVC, Low-Power SoC, Automotive SoC, Battery Management