

일반논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제27권 제3호, 2022년 5월 (JBE Vol.27, No.3, May 2022)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2022.27.3.361>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

MAE 기반 예측 정확도 함수를 이용한 VVC의 고속 화면간 CU 분할 알고리즘

원 동 재^{a)}, 문 주 희^{a)†}

Fast Inter CU Partitioning Algorithm using MAE-based Prediction Accuracy Functions for VVC

Dong-Jae Won^{a)} and Joo-Hee Moon^{a)†}

요 약

VVC(Versatile Video Coding) 표준에서는 블록 분할 기술로써 QT+MTT(Quaternary Tree plus Multi-Type Tree) 분할 구조가 채택되었다. QT+MTT 분할 구조는 우수한 부호화 효율을 제공하지만, BT(Binary Tree)와 TT(Ternary Tree) 분할 타입으로 인한 블록 분할의 확장성 때문에, 전반적인 부호화 복잡도가 크게 증가하였다. 본 논문에서는 MAE(Mean of the Absolute Error)에 기반한 예측 정확도 함수를 이용하여, BT와 TT 분할 타입을 위한 화면간 CU(Coding Unit) 분할 알고리즘의 고속화 기법을 제안한다. 제안하는 고속화 기법은 부호화 복잡도 감소율의 일관성과 안정적이고 낮은 부호화 손실을 통해, 저복잡도 VVC 부호화기 설계 시에 실용적인 방법으로 활용될 수 있다. RA(Random Access) 실험 환경에서 휘도 성분의 BD(Bjontegaard Delta) 비트율은 1.0%~2.1% 증가한 반면에 부호화 시간 복잡도는 24.0%~31.7% 감소시킬 수 있었다.

Abstract

Quaternary tree plus multi-type tree (QT+MTT) structure was adopted in the Versatile Video Coding (VVC) standard as a block partitioning tool. QT+MTT provides excellent coding gain; however, it has huge encoding complexity due to the flexibility of the binary tree (BT) and ternary tree (TT) splits. This paper proposes a fast inter coding unit (CU) partitioning algorithm for BT and TT split types based on prediction accuracy functions using the mean of the absolute error (MAE). The MAE-based decision model was established to achieve a consistent time-saving encoding with stable coding loss for a practical low complexity VVC encoder. Experimental results under random access test configuration showed that the proposed algorithm achieved the encoding time saving from 24.0% to 31.7% with increasing luminance Bjontegaard delta (BD) rate from 1.0% to 2.1%.

Keyword : VVC, Block partitioning, Inter CU, Split mode skip, MAE

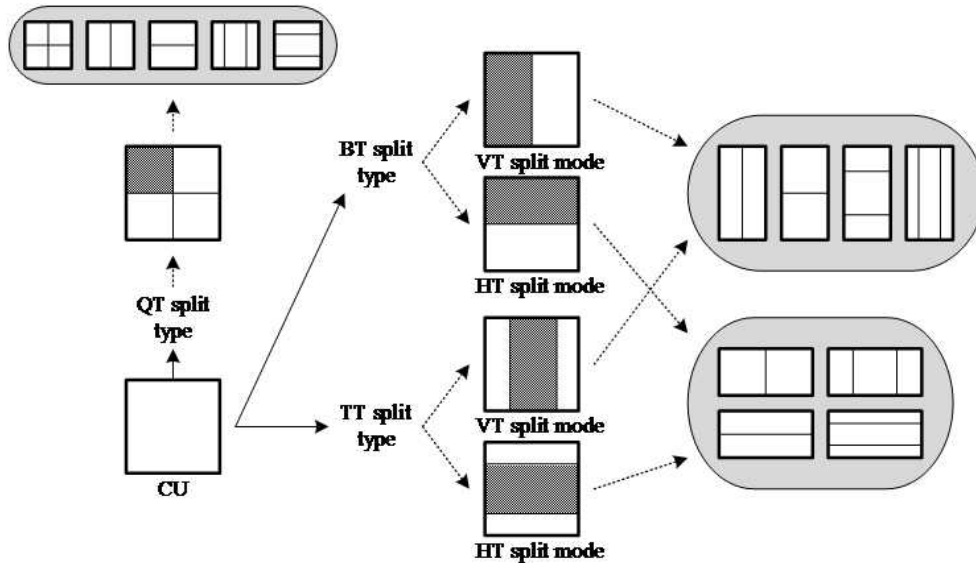


그림 1. VVC의 재귀 분할 구조
Fig. 1. Recursive partitioning structure in VVC

1. 서 론

ITU-T SG 16 WP3 (VCEG)와 ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11 (MPEG)의 합작 그룹인 JVET(Joint Video Experts Team)에 의해서 VVC(Versatile Video Coding)^[1] 첫번째 버전의 표준화가 2020년 7월에 완료되었다. VVC 표준은 HEVC(High Efficiency Video Coding)^[2] 표준과 비교하여 동일 화질 대비 우수한 비트율 절감 효과를 제공한다. HEVC와 VVC의 부호화 성능을 위한 핵심 특징은 블록 분할 방식에 있다. HEVC와 VVC의 블록 분할 방식은 다중 깊이 레벨을 가진 트리 기반 분할 구조에 기초하고 있다. HEVC는 정사각형 CU(Coding Unit)를 동일한 크기를 가진 4개의 정사각형 Sub-CU들로 재귀적으로 분할하는 QT(Quaternary Tree) 분할 구조를 채택하고 있다. 반면에,

VVC에서는 QT 분할 구조와 MTT(Multi-Type Tree) 분할 구조를 합친 QT+MTT(QT plus MTT)^[3] 분할 구조를 채택하고 있다. MTT 분할 구조는 CU를 2개의 직사각형 Sub-CU들로 재귀 분할하는 BT(Binary Tree) 분할 타입(split type)과 3개의 직사각형 Sub-CU들로 재귀 분할하는 TT(Ternary Tree) 분할 타입으로 구성된다. BT와 TT 분할 타입에는 각각 HT(Horizontal Tree)와 VT(Vertical Tree) 라는 2가지 분할 모드(split mode)가 있다. 그림 1은 전술한 VVC의 QT+MTT 재귀 분할 구조를 설명하는 그림이다.

이러한 QT+MTT 분할 구조의 유연성 덕분에 HEVC 분할 구조에서보다 부호화 효율이 크게 증가했지만, 부호화 복잡도 또한 상당히 증가하게 되었다. JVET에서 보고된 바에 따르면, RA(Random Access) 실험 환경^[4]에서 HEVC의 부호화 복잡도 대비 VVC의 부호화 복잡도가 대략 10배 증가한 것으로 보고되었고, 여기서 블록 분할 방식에 따른 부호화 복잡도 증가가 높은 비중을 차지한다.

최근, VVC의 부호화 복잡도를 줄이기 위해서 다양한 CU 분할 고속화 기법^[5-8]들이 제안되었다. 여기서, CU 분할 고속화 기법들은 RDO(Rate-Distortion Optimization) 과정에서 분할 모드를 조기 종료 시킴으로써 이루어진다. 분할 모드의 조기 종료란, CU를 특정 분할 모드에 의해 Sub-CU

a) 세종대학교 정보통신공학과(Department of information and communication engineering, Sejong university)

‡ Corresponding Author : 문주희(Joo-Hee Moon)
E-mail: jhmoon@sejong.ac.kr
Tel: +82-2-3408-3194

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9055-9398>

· Manuscript received March 21, 2022; Revised April 4, 2022; Accepted April 4, 2022.

들로 재귀 분할하는 것을 RDO 과정에서 더이상 수행하지 않겠다는 것을 의미한다. 이에 따라서, 현재 부호화 CU가 조기 종료되는 분할 모드에 의한 하위 깊이 Sub-CU들로 분할되지 않음으로써 RDO 과정에서의 부호화 시간을 절약할 수 있다. 화면간 픽처(inter picture) 보다는 화면내 픽처(intra picture)에 적용될 수 있는 고속화 기법들이 보다 많이 제안되었다^{5,6}. 화면간 픽처를 위한 고속 부호화 기법으로는 Tang 등이 제안한, Canny 에지 검출기(edge detector)를 이용한 공간적 기울기 특성을 활용하여 설계된 고속 QT+MTT 분할 알고리즘⁷이 있다. 해당 알고리즘은 블록 내 텍스처의 가로와 세로 방향 공간적 기울기를 계산하여, 대세가 되는 기울기 방향과 반대되는 방향의 분할 모드를 조기 종료한다. 그러나, 이는 화면간 CU에서 부호화 성능의 일관성이 블록 내 텍스처의 공간적 기울기 특성에 지나치게 의존되는 문제점이 발생한다. Xiong 등은 HEVC에서 잠재적 SAD(Sum of Absolute Difference)에 기반한 고속 화면간 CU 사이즈 결정 방법⁸을 제안하였다. 잠재적 SAD는 CU의 움직임 벡터를 추정하는 과정에서, 자연스럽게 알 수 있는 Sub-CU들의 SAD를 의미한다. CU 단위의 움직임 추정으로 보상된 예측 블록의 SAD와 CU 내 Sub-CU들의 잠재적 SAD들의 합을 비교하여, 2Nx2N 화면간 PU(Prediction Unit) 파티션을 제외한 나머지 화면간 PU 파티션들 모두를 조기 종료할지 말지를 결정하게 된다. 즉, 해당 알고리즘은 화면간 PU 파티션들을 선택적으로 종료시키는 결정 방법을 제공하지 않는다.

본 논문에서는 MTT 분할 구조에서 분할 모드의 조기 종료를 통한 화면간 CU의 고속 분할 알고리즘을 제안한다. 조기 종료되는 분할 모드를 결정하기 위한 수단으로써, 각 분할 모드 별 MAE(Mean of the Absolute Error)에 기반한 예측 정확도 함수를 이용한다. 해당 예측 정확도 함수는 CU 및 PU 단위로 계산되며, 각 단위 별 MAE를 분할 모드마다 비교하여, 조기 종료 되는 분할 모드를 결정한다. 본 논문의 II장에서는 MAE 기반의 예측 정확도 함수를 정의하고, VVC에서 MTT 분할의 율-왜곡 이득에 대해서 분석한다. III장에서는 MAE 기반의 예측 정확도 함수를 이용한 고속 화면간 CU 분할 알고리즘을 설명하고, IV장에서는 실험 결과에 대한 평가 및 분석을 한다. 마지막 V장에서는 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

II. 분할 모드 조기 결정을 위한 예측 정확도 함수

1. CU 크기 및 예측 정확도에 따른 율-왜곡 이득 분석

MTT 분할 구조에서 CU가 하위 깊이로의 MTT 분할로 인해 얻게 될 이득을 분석하기 위해, 수식 (1)과 같이 정의되는 RS(Rate-distortion cost Saving)를 사용했다. RS는 여러 CU 크기에 대해서 예측 정확도 별로 분석된다.

$$RS = \frac{(\alpha \times J_{upper\ CU}) - J_{current\ CU}}{(\alpha \times J_{upper\ CU})} \times 100 \quad (1)$$

α 는 $(w \times h)/(w_u \times h_u)$ 로 정의한다. w 와 h 는 현재 부호화 CU의 가로와 세로 길이를 나타내며, w_u 와 h_u 는 현재 부호화 CU를 포함했던 상위 깊이의 CU 크기를 나타낸다. 이때, 현재 부호화 CU는 상위 깊이 CU로부터 MTT 분할 구조를 통해 분할된 Sub-CU이다. 그리고, $J_{current\ CU}$, $J_{upper\ CU}$ 는 현재 부호화 CU와 상위 깊이 CU의 율-왜곡 RD(Rate-Distortion) 비용을 의미한다. 수식 (1)의 RD 비용은 RDO 과정에서 고려되는 모든 CU에서 조사되었다. 즉, CU의 조사 범위는 부호화가 완료된 후 결정된 최적 블록 분할 형태에서의 CU들로 국한되지 않는다는 의미이다. 언급한 CU의 RS를 분석하기 위해, VVC의 참조

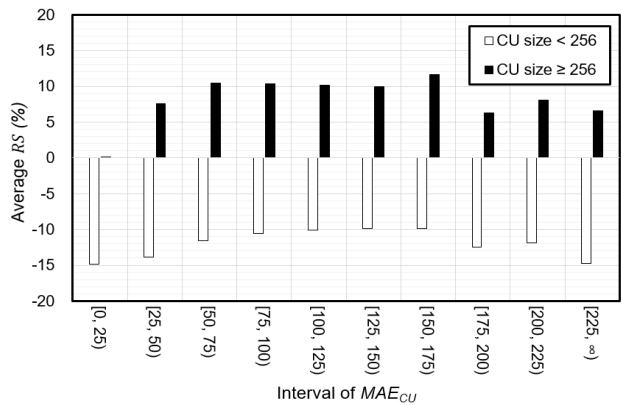


그림 2. CU 크기에 따른 평균 RS와 MAE_{CU} 사이의 관계
 Fig. 2. Relationship between average RS and MAE_{CU} based on CU size

소프트웨어 VTM-11.0^[9]의 10bit 동작 모드에서 실험을 진행하였다. 해당 실험은 표준화에서 사용되었던 공통 실험 환경^[4]의 Class B/C/D 테스트 영상들을 이용하여 수행되었다. 그림 2는 CU의 최적 화면 간 예측 모드의 예측 정확도에 기반한 평균 RS(%) 통계를 나타낸다.

RS의 평균은 RDO 과정에서 고려되는 모든 CU들로부터 계산된다. VVC에서 사용되는 예측 기법들 중에서 각각의 CU에 대한 최적의 예측 모드가 결정된 후, 해당 CU의 예측 정확도를 측정하기 위해, CU 기반 MAE 함수 MAE_{CU} 를 수식 (2)와 같이 정의한다.

$$MAE_{CU} = MAE(CU) = \frac{1}{w \times h} \sum_{y=0}^{h-1} \sum_{x=0}^{w-1} |Org(x,y) - Pred(x,y)| \quad (2)$$

(x,y) 는 현재 부호화 CU 내 화소 좌표를 의미하며, $Org(x,y)$ 와 $Pred(x,y)$ 는 현재 부호화 CU의 원본 화소와 예측 화소를 의미한다. 그림 2에서 흰색 막대와 검은색 막대는 각각 지정된 구간에 속한 MAE 값을 갖는 CU 그룹의 평균 RS를 나타낸다. CU 크기(size)는 CU 내 화소의 수를 의미하는 것으로, 흰색 막대는 CU 내 화소의 수가 256 미만, 검은색 막대는 CU 내 화소의 수가 256이상인 CU로부터 계산된 RS를 나타낸다. 그림 2를 통해서 CU 크기와 MAE_{CU} 를 기반으로, 2가지 현상을 관찰할 수 있었다. 첫째로, MAE_{CU} 가 매우 낮다면, 평균 RS가 CU 크기와 상관없이 매우 제한적이라는 것이다. MAE_{CU} 구간 [0,25)를 통해서 이를 확인할 수 있다. 두번째로, CU 크기가 256 이상인 CU에서는 MAE_{CU} 구간 [0,25)을 제외하고 RS가 대략 9%

정도 증가되었고, CU 크기가 256 미만인 CU에서는 MAE_{CU} 구간과 상관없이 RS가 대략 12% 감소했음을 확인할 수 있다. 이를 통해 2가지 결론을 내릴 수 있었다. 첫째로, 높은 예측 정확성을 담보할 만큼 현재 CU의 MAE_{CU} 가 충분히 작다면, 현재 CU에서 추가적인 BT 혹은 TT 분할 타입의 필요성이 높지 않다는 것이다. 두번째로, 현재 CU의 크기가 크고 MAE_{CU} 가 클수록, BT와 TT 분할 타입에서 분할 모드의 조기 종료 결정 방법을 정교하게 설계할 필요가 있다는 것이다.

2. PU 기반의 예측 정확도 함수

PU 기반의 예측 정확도는 수식(2)에서 정의된 CU 기반의 MAE와 동일하게 정의될 수 있으며, PU 기반 MAE는 MIT 분할 구조에서 BT와 TT 분할 타입의 조기 종료 가능성을 확인하기 위해서 계산된다. 이때 사용되는 PU들은 그림 3에 나타나 있으며, VVC에서 사용되는 BT와 TT 분할 타입에서 HT 및 VT 분할 모드들과 동일한 형태의 CU 파티션(partition)을 형성한다. PU 기반 예측 정확도를 얻기 위해, 각 파티션에 속한 PU들은 서로 다른 움직임 정보들에 의해서 움직임 보상되어 예측된다. 여기서, 각 PU의 움직임 정보는 VVC의 화면 간 예측 모델인 GPM(Geometric Partitioning Mode)^[10]의 머지 리스트(merge list)에 포함된 단방향 움직임 벡터들 중에서 결정된다. 이때, 각 PU의 최적 움직임 벡터는 GPM 모드의 머지 리스트에서 해당 PU의 SAD가 최소가 되게 하는 움직임 벡터로 결정한다.

그림 3의 PU 기반 CU 파티션마다 2가지의 PU 기반의 MAE 함수를 정의한다. 첫번째 PU 기반 MAE 함수 $MAE_{PU_{min}}$ 는 수식 (3)에 의해서 정의된다. 그림 3의 PU 기

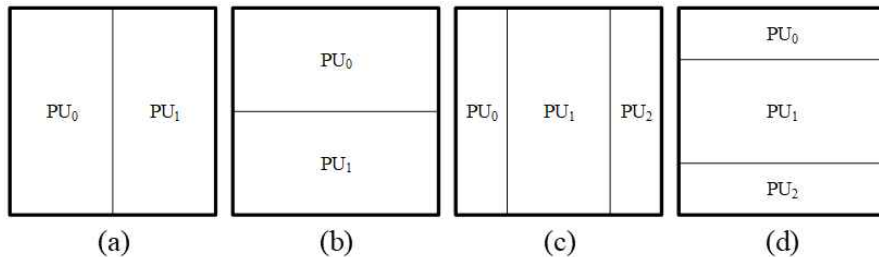


그림 3. 조기 종료 되는 분할 모드 결정을 위한 PU 기반 CU 파티션: (a) BT 분할 타입의 VT 분할 모드를 위한 파티션, (b) BT 분할 타입의 HT 분할 모드를 위한 파티션, (c) TT 분할 타입의 VT 분할 모드를 위한 파티션, (d) TT 분할 타입의 HT 분할 모드를 위한 파티션

Fig. 3. PU-based CU partitions for early skipped split mode decision: (a) Partition for VT split mode for BT, (b) Partition for HT split mode for BT, (c) Partition for VT split mode for TT, (d) Partition for HT split mode for TT

반 CU 파티션마다 PU들의 MAE들 중, 최소 MAE를 선택하는 방법이다.

$$MAE_{PU_{min}}(mode) = \underset{j}{\operatorname{argmin}}(MAE(PU_j)) \quad (3)$$

$MAE(PU_j)$ 는 수식 (2)의 $MAE(CU)$ 와 동일한 기능을 수행하나, CU 단위가 아닌 PU 단위의 MAE를 계산한다. j 는 각 PU의 인덱스를 의미하는데, BT 분할 타입 모양의 CU 파티션에서는 0~1, TT 분할 타입 모양의 CU 파티션에서는 0~2까지 인덱스를 할당하게 된다. $mode$ 는 BT 및 TT 분할 타입의 HT 혹은 VT 분할 모드 중 하나를 의미한다. 두번째 PU 기반 MAE 함수 $MAE_{PU_{avg}}$ 는 수식 (4)에 의해서 정의된다. 그림 3의 CU 파티션마다 PU들의 MAE를 가중합하는 방법이다. BT 분할 타입 모양의 CU 파티션에서는 각 PU의 가중치를 동일하게 배분하고, TT 분할 타입 모양의 CU 파티션에서는 가운데 영역의 면적이 인접한 2개 영역의 면적의 2배이기 때문에, 1:2:1 가중치를 이용하여 PU들의 MAE를 가중합한다.

$$MAE_{PU_{avg}}(mode) = \begin{cases} \frac{MAE(PU_0) + MAE(PU_1)}{2} & \text{for BT} \\ \frac{MAE(PU_0) + 2MAE(PU_1) + MAE(PU_2)}{4} & \text{for TT} \end{cases} \quad (4)$$

III. 제안하는 조기 분할 결정 알고리즘

그림 4는 제안하는 알고리즘의 흐름도이다. II장에서 정의한 MAE_{CU} , $MAE_{PU_{min}}$, $MAE_{PU_{avg}}$ 를 이용하여, 화면간 픽처에서 MTT 분할 구조의 분할 모드들을 조기 종료하기 위한 화면간 CU의 고속 분할 알고리즘을 제안한다.

그림 4의 흐름도는 CU의 BT와 TT 분할 타입에 대해서 독립적으로 동작한다. 먼저, BT 및 TT 분할 타입의 HT와 VT 분할 모드들은 수식 (5)를 만족할 경우, 현재 부호화 CU에서 더이상 분할하지 않고, 모두 조기 종료된다.

$$MAE_{CU} < kT \left(1 + \frac{QP_{Ref}}{50} \right), \quad (5)$$

$$\text{where } T = \begin{cases} 10 & w \times h \leq 64 \\ 7 & 64 < w \times h \leq 256 \\ 5 & 256 < w \times h \leq 1024 \\ 2 & 1024 < w \times h \end{cases}$$

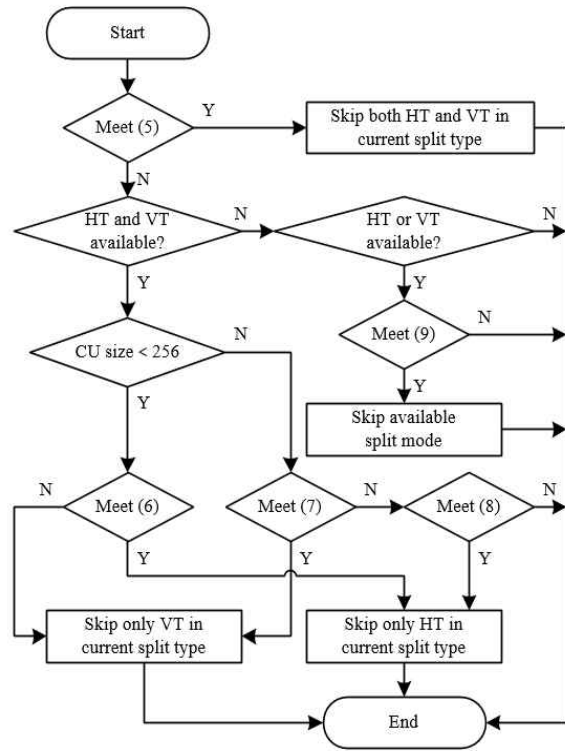


그림 4. 분할 모드의 조기 종료 결정을 위한 흐름도
 Fig. 4. Flowchart for early skipping decision of split mode

T 는 그림 2에서 조사한 바를 이용하여, CU 크기가 작으면 조기 종료의 가능성이 더 높도록 설계되었다. k 는 부호화 복잡도를 조절하기 위한 파라미터이다. QP_{Ref} 는 참조 픽처의 QP(Quantization Parameter)로써, QP가 증가할수록 예측 에러가 증가하는 경향을 반영하기 위해 사용된다.

수식 (5)가 만족하지 않고 CU 크기가 256 미만인 경우, BT와 TT 분할 타입에서 각각 1가지 분할 모드만 조기 종료된다. 현재 부호화 CU에서 각 분할 타입 별로 HT와 VT 분할 모드가 모두 적용 가능할 때, 수식 (6)을 이용하여 조기 종료되는 분할 모드가 결정된다.

$$MAE_{PU_{min}}(VT) < MAE_{PU_{min}}(HT) \quad (6)$$

수식 (6)이 만족할 경우, 각 분할 타입의 HT 분할 모드를 조기 종료하고, 그렇지 않으면 VT 분할 모드를 종료한다. 만일, CU 크기가 256 이상인 경우에는 수식 (7)과 (8)을 이용하여 조기 종료되는 분할 모드를 결정한다. 여기서는, 그

$$(MAE_{PU_{min}}(VT) < MAE_{PU_{min}}(HT)) \&\& (MAE_{PU_{avg}}(HT) < MAE_{PU_{avg}}(VT)) \quad (7)$$

$$(MAE_{PU_{min}}(VT) < MAE_{PU_{min}}(HT)) \&\& (MAE_{PU_{avg}}(VT) < MAE_{PU_{avg}}(HT)) \quad (8)$$

림 2의 분석을 바탕으로 한 정교한 결정 모델이 적용된다.

수식 (7)이 만족할 경우 각 분할 타입의 VT 분할 모드를 조기 종료한다. 만약 수식 (7)이 만족하지 않으면 수식 (8)의 만족 여부를 확인한다. 수식 (8)이 만족할 경우 각 분할 타입의 HT 분할 모드를 조기 종료하고, 수식 (7)과 (8)이 모두 만족하지 않을 경우에는 조기 종료되는 분할 모드가 없다고 결정한다. 현재 부호화 CU에서 각 분할 타입 별 HT 혹은 VT 분할 모드 중 한가지 모드만 적용이 가능할 때에는 수식 (9)를 이용하여, 해당 적용 가능한 한가지 분할 모드의 조기 종료 여부를 결정한다.

$$MAE_{PU_{min}}(mode_{avail}) > MAE_{PU_{corCU}} \quad (9)$$

$mode_{avail}$ 은 BT 및 TT 분할 타입에서 각각 현재 부호화 CU의 분할 모드로 적용 가능한 모드를 의미한다. $MAE_{PU_{corCU}}$ 는 현재 부호화 CU의 MAE_{CU} 를 계산할 때 이용되었던 잔차 신호 블록에서, $MAE_{PU_{min}}$ 을 갖는 PU와 동일 위치의 영역에서 계산된 MAE를 의미한다. 만약 수식 (9)를 만족한다면, 현재 부호화 CU의 적용 가능한 분할 모드를 조기 종료한다.

IV. 실험 결과

1. 실험 설정

제안하는 알고리즘은 VVC 참조 소프트웨어 VTM-11.0 버전에 구현되었다. RA main10 환경에서 실험을 진행하였고, VVC 공통 실험 환경[4]의 Class A~D 테스트 영상들을 이용하였다. 부호화 성능은 BD(Bjontegaard delta)^[11] 비트율에 의해서 측정되었고, 부호화 복잡도는 수식 (10)을 이용하여 부호화 시간 감소율 TS 를 계산하여 측정하였다.

$$TS = \frac{Encoding\ Time_{Ref} - Encoding\ Time_{Pro}}{Encoding\ Time_{Ref}} \times 100 \quad (10)$$

$Encoding\ Time_{Ref}$ 와 $Encoding\ Time_{Pro}$ 는 각각 VTM-11.0^[9] 인코더와 제안하는 인코더에서 부호화에 걸린 총 시간을 의미한다. 본 논문에서는 서론에서 소개한 화면간 픽처를 위한 부호화 고속화 기법들 중, Tang 등이 제안한 Canny 에지 검출기를 이용한 공간적 기울기 특성을 활용하여 설계된 고속 QT+MTT 분할 알고리즘^[7]과 제안하는 알고리즘을 비교 분석할 것이다. 공정한 비교를 위해서 참조 알고리즘으로 선택된 Tang 알고리즘을 VTM-11.0에 구현하였고, 제안하는 알고리즘과의 부호화 복잡도 효율성을 비교 및 분석하였다. 제안하는 알고리즘을 위해 2가지 실험을 수행하는데, 각 실험에서는 수식 (5)의 부호화 속도 제어 파라미터인 k 를 달리한다. 제안하는 알고리즘의 Test 1에서는 k 를 1로, Test 2에서는 k 를 2로 설정하고, 두 실험 모두에서 BT와 TT 분할 타입에 따른 k 의 변화는 없다.

2. 실험 결과 및 분석

제안하는 알고리즘의 Test 1과 2에서는 TS 는 각각 24.0%와 31.7%이고, BD 비트율은 각각 1.0%와 2.1% 증가하였다. 참조 알고리즘에서는 TS 가 30.8%, BD 비트율은 3.4% 증가하였다. 참조 알고리즘과 Test 2의 결과를 비교해보면 TS 는 비슷하지만, BD 비트율 손실은 참조 알고리즘에서 1.3% 크다는 것을 확인할 수 있다. 이는, 화면간 픽처에서 CU의 최적 분할 경계선은 참조 알고리즘에서 사용된 공간 영역의 텍스처 경계선 보다는 제안하는 알고리즘에서 사용된 MAE 기반의 움직임 경계선에 의해서 정확하게 검출되기 때문이다. 결과적으로 제안하는 알고리즘을 기반으로 설계된 VVC 인코더가 참조 알고리즘을 기반으로 설계된 VVC 인코더보다 부호화 성능과 복잡도 사이의 트레이드오프(trade-off) 측면에서 더 우수하다는 것을 알 수 있다.

표 1. 실험 결과
 Table 1. Experimental results

Class	Test sequences	Reference algorithm ^[7]		Proposed algorithm			
		BD rate (%)	<i>TS</i> (%)	Test 1		Test 2	
				BD rate (%)	<i>TS</i> (%)	BD rate (%)	<i>TS</i> (%)
A1	Tango2	2.4	24.7	0.9	23.2	1.3	29.8
	FoodMarket4	2.9	50.3	0.4	24.2	0.4	31.5
	Campfire	1.0	5.5	1.1	26.3	1.7	30.5
A2	CarRobot	5.2	26.9	0.8	23.5	1.6	30.4
	DaylightRoad2	4.2	36.5	0.9	23.0	1.6	28.1
	ParkRunning3	1.7	31.1	0.9	28.7	2.1	38.3
B	MarketPlace	3.5	32.4	0.5	23.0	1.4	31.5
	RitualDance	6.2	44.6	1.4	24.7	2.2	30.8
	Cactus	4.2	39.9	0.8	24.7	1.4	31.9
	BasketballDrive	5.8	48.9	1.1	26.1	1.6	33.2
	BQTerrace	2.0	32.5	0.6	21.1	2.2	31.5
C	BasketballDrill	2.7	31.4	1.3	24.5	2.3	33.2
	BQMall	8.9	43.3	1.3	23.3	3.1	33.7
	PartyScene	2.0	25.9	1.0	25.3	2.0	33.3
	RaceHorses	2.3	25.1	1.0	25.1	1.9	30.6
D	BasketballPass	3.1	23.8	1.3	21.6	3.6	32.0
	BQSquare	1.4	10.4	1.0	19.1	2.9	31.9
	BlowingBubbles	2.6	24.7	1.1	24.7	3.0	30.5
	RaceHorses	2.8	27.2	1.2	23.6	3.3	30.4
Average		3.4	30.8	1.0	24.0	2.1	31.7
STD		2.0	11.6	0.3	2.1	0.8	2.1

추가적으로, 각 실험에서 *TS*와 *BD* 비트율의 표준 편차 (STD)를 계산하여, 각 고속화 알고리즘의 안정성을 측정하였다. 참조 알고리즘은 *TS*와 *BD* 비트율의 표준 편차가 각각 2.0과 11.6이고, 제안하는 알고리즘의 Test 1과 2에서 *TS*의 표준 편차는 2.1로 동일하고, *BD* 비트율의 표준 편차는 각각 0.3 및 0.8이다. 참조 알고리즘에서 사용된 텍스처 경계선에 기반한 CU 분할 방법은 영상에 존재하는 에지 (edge) 분포에 따라 영상 별로 성능 변화가 크게 나타나는 현상이 존재할 수 밖에 없다. 이를 통해, 제안하는 알고리즘은 참조 알고리즘보다 다양한 테스트 영상에서 부호화 시간 감소율이 일관되게 안정적이고, 부호화 성능의 편차 또한 작게 유지한다는 것을 확인 할 수 있다. 이는, 제안하는 알고리즘이 저복잡도 VVC 인코더의 실용적 설계 측면에서 훨씬 유용하게 활용될 수 있다는 것을 보여준다.

V. 결론

본 논문에서는 CU와 PU 기반 MAE 예측 정확도 함수를 사용하여 화면간 픽처에서 CU의 분할을 고속화할 수 있는 알고리즘을 제안했다. CU 기반 MAE 함수는 CU의 최적 화면 간 예측 모드를 이용하여 움직임 보상된 예측 블록을 이용하여 계산한다. PU 기반 MAE 함수는 GPM 머지 리스트의 움직임 정보들을 이용하여 움직임 보상된 예측 블록을 이용하여 계산한다. 현재 부호화되는 CU에서 MAE 기반 예측 정확도 함수들을 이용하여 HT와 VT 분할 모드의 조기 종료 여부를 결정하게 되며, BT 및 TT 분할 타입에서 각각 독립적으로 수행된다. RA 실험 환경에서 제안 알고리즘은 부호화 손실이 *BD* 비트율 1.0%~2.1%로 나타났고, 부호화 시간이 24.0%~31.7% 감소하였다. 또한, 제안 알고리

좁은 비트율 손실과 부호화 시간 감소에 대해서 변화폭이 크지 않아 저복잡도 VVC 인코더의 실용적 설계에 유리할 수 있다.

참 고 문 헌 (References)

[1] B. Bross, J.-R. Ohm, G. J. Sullivan, and Y.-K. Wang, "Developments in international video coding standardization after AVC, with an overview of Versatile Video Coding (VVC)", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 109, No.9, pp.1463-1493, September 2021.
doi: <https://doi.org/10.1109/JPROC.2020.3043399>

[2] G. J. Sullivan, J.-R. Ohm, W.-J. Han, and T. Wiegand, "Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) standard", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 22, No.12, pp.1649-1668, December 2012.
doi: <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2012.2221191>

[3] Y.-W. Huang, J. An, H. Huang, X. Li, S.-T. Hsiang, K. Zhang, H. Gao, J. Ma, and O. Chubach, "Block partitioning structure in the VVC standard", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 31, No.10, pp.3818-3833, October 2021.
doi: <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2021.3088134>

[4] F. Bossen, J. Boyce, K. Suehring, X. Li, and V. Seregin, "JVET common test conditions and software reference configurations for SDR video", *Joint Video Experts Team of ITU-T SG 16 WP 3 and ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11, JVET-N1010*, March 2019.

[5] Q. Zhang, Y. Zhao, B. Jiang, L. Huang, and T. Wei, "Fast CU partition decision method based on texture characteristics for H.266/VVC", *IEEE Access*, Vol. 8, pp.203516-203524, November 2020.
doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3036858>

[6] Y. Li, G. Yang, Y. Song, H. Zhang, X. Ding, and D. Zhang, "Early intra CU size decision for Versatile Video Coding based on a tunable decision model", *IEEE Transactions on Broadcasting*, Vol. 67, No.3, pp.710-720, September 2021.
doi: <https://doi.org/10.1109/TBC.2021.3073556>

[7] N. Tang, J. Cao, F. Liang, J. Wang, H. Liu, X. Wang, and X. Du, "Fast CTU partition decision algorithm for VVC intra and inter coding", *IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems*, Bangkok, Thailand, November 2019.
doi: <https://doi.org/10.1109/APCCAS47518.2019.8953076>

[8] J. Xiong, H. Li, F. Meng, Q. Wu, and K. N. Ngan, "Fast HEVC inter CU decision based on latent SAD estimation", *IEEE Transactions on Multimedia*, Vol 17, No.12, pp.2147-2159, December 2015.
doi: <https://doi.org/10.1109/TMM.2015.2491018>

[9] VVC Test Model (VTM) reference software version 11.0, https://vcgit.hhi.fraunhofer.de/jvet/VVCSoftware_VTM/-/tags/VTM-11.0 (accessed Dec. 2020).

[10] H. Gao, S. Esenlik, E. Alshina, and E. Steinbach, "Geometric partitioning mode in Versatile Video Coding: algorithm review and analysis", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 31, No.9, pp.3603-3617, September 2021.
doi: <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2020.3040291>

[11] G. Bjontegaard, "Calculation of average PSNR differences between RD-curves", *ITU-T SC16/Q6, VCEG-M33*, April 2001.

저 자 소 개

원 동 재



- 2014년 2월 : 세종대학교 정보통신공학과 학사
- 2014년 3월 ~ 2022년 2월 : 세종대학교 정보통신공학과 박사 (석박사통합)
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-2434-5567>
- 주관심분야 : Image coding & transmission, Image Processing, MPEG

문 주 희



- 1985년 : 서강대학교 전자공학과 학사
- 1987년 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사
- 1992년 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사
- 1992년 ~ 1994년 : 한국과학기술원 전자정보연구소
- 1994년 ~ 1999년 : 현대전자 정보통신연구소 수석연구원
- 1999년 ~ 현재 : 세종대학교 정보통신공학과 교수
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-9055-9398>
- 주관심분야 : Image coding & transmission, Image Processing, Digital TV, MPEG