

Schéma de compression vidéo basé sur l'exploitation d'un décodeur intelligent

D-K. Vo-Nguyen^{1,2}, J. Jung¹, J-M. Thiesse³ et M. Antonini²

¹Orange Labs
38-40 rue du Général Leclerc
92794 Issy-les-Moulineaux, France
{dangkhoa.vonguyen, joelb.jung}@orange.com

²Laboratoire I3S (Université de Nice Sophia-Antipolis - CNRS)
2000 route des Lucioles - Les Algorithmes - bât. Euclide B
06900 Sophia Antipolis, France
am@i3s.unice.fr

³ATEME
26 Burospace - Route de Gisy
91570 Bièvres, France
jm.thiesse@ateme.com

Résumé

L'efficacité de codage de la nouvelle norme de codage vidéo, High Efficiency Video Coding (HEVC), est fortement liée à une meilleure exploitation des redondances spatio-temporelles, par l'augmentation du nombre de modes de codage mis en compétition. Cependant, cette compétition massive implique une augmentation du débit pour la signalisation des modes sélectionnés, ce qui apparaît comme une limitation possible pour la future génération d'encodeur.

Cet article propose un nouveau schéma de codage qui rompt avec les approches conventionnelles. Il exploite un décodeur plus évolué capable de reproduire les choix de l'encodeur en s'appuyant sur les références causales, supprimant ainsi la nécessité de signaler les modes et leurs paramètres associés. Le schéma général de ce nouveau codec et une implémentation particulière sont décrits. Les résultats expérimentaux dans les conditions de test standards annoncent une réduction moyenne du débit de 1,8% à qualité égale par rapport à HEVC pour un large ensemble de séquences vidéo.

Mots clefs

HEVC, Décodeur Intelligent, Codage Vidéo.

1 Introduction

High Efficiency Video Coding (HEVC) [1], successeur de H.264/MPEG-4 AVC, est la nouvelle norme de

codage vidéo développée par le groupe JCT-VC issu de la collaboration entre l'ISO/IEC MPEG et l'ITU-T/VCEG. Comme ses prédécesseurs, la capacité de compression de HEVC vient de l'utilisation des prédictions Inter et Intra qui exploitent les redondances respectivement dans le temps et l'espace. Par rapport aux normes précédentes, HEVC dispose notamment d'un nombre plus élevé de modes de codage et de paramètres associés [2]. Ainsi, le partitionnement en quad-tree permet de fractionner une unité de codage (CU) en différents blocs de taille variant de 64×64 à 8×8 ; la prédiction Intra comprend désormais jusqu'à 35 modes de codage contre seulement 9 dans H.264/AVC; en Inter, les modes AMVP (Advanced Motion Vector Prediction) et Merge disposent respectivement de deux et cinq prédicteurs en compétition. L'introduction de ces nouveaux modes et paramètres de codage permet une prédiction plus précise mais génère une augmentation significative du débit dédié à leur signalisation. Dans le futur où beaucoup plus de modes pourraient être ajoutés, cette surcharge deviendrait une limite à la performance de compression.

Pour surmonter cette limite et améliorer encore l'efficacité du codage, plusieurs approches ont été proposées et peuvent être classifiées en deux grandes catégories. La première consiste à réduire le coût de signalisation des informations de codage, notamment par l'utilisation du mode le plus probable (MPM) : dans [3] et [4], il est proposé de réduire dynamiquement le nombre de prédicteurs Intra pour diminuer le coût de leur signalisation. Dans [5], un prédicteur Intra optimal est déterminé de façon adaptative à partir des pixels causaux uniquement,

économisant donc la signalisation associée. Il existe aussi des approches qui exploitent la complexité au décodeur pour dériver le choix de l'encodeur, supprimant ainsi la signalisation associée. Nous les regroupons dans une seconde catégorie, dite "Décodage Intelligent" (Smart Decoder - SDec) dans la mesure où le décodeur est doté de la capacité à retrouver les décisions faites par l'encodeur. Plusieurs approches y sont proposées, en particulier celles basées sur le "Template Matching" qui exploite la zone causale autour du bloc à coder pour dériver des vecteurs de mouvement sans avoir à les signaler. Ce principe peut être appliqué en Intra [6] où le bloc à coder prend comme prédicteur un bloc dans la région reconstruite de l'image courante après avoir évalué la similitude de leurs pixels causaux voisins. D'autres variantes de ce principe appliqué en Inter [7, 8, 9] proposent des solutions d'estimation de mouvement conjointe à l'encodeur et au décodeur dans le but de réduire le coût de transmission des vecteurs de mouvement. Cependant, aucune de ces méthodes ne permet d'économiser la signalisation des modes de codage comme proposé dans ce papier.

Cet article s'oriente vers les prochaines générations de codec après HEVC dans lesquelles le nombre de modes et de paramètres de codage mis en compétition sera certainement à nouveau augmenté. Pour préparer à cette perspective où la réduction de la charge de signalisation devient cruciale, nous proposons un nouveau paradigme de codage qui vise à réduire la signalisation des modes et paramètres de codage. La sélection du mode et des paramètres de codage pour le bloc courant est effectuée sur les zones causales, permettant ainsi au décodeur de les déterminer à l'identique sans que l'encodeur ne les signale. Cette nouvelle approche peut être ainsi classée dans la catégorie "Décodage Intelligent", en se distinguant toutefois de celles basées sur le "Template Matching" qui visent à éliminer la signalisation du vecteur de mouvement.

La suite de cet article est organisée comme suit : la section 2 décrit notre schéma de codage et décodage intelligent en présentant leur description générale et les avantages par rapport au schéma classique. Une première implémentation du nouveau codec est ensuite proposée et analysée. Puis, les résultats expérimentaux sont présentés dans la section 3. Nous concluons finalement dans la section 4 en précisant différentes perspectives possibles pour les futurs travaux.

2 Méthode proposée

2.1 Description générale du schéma de codage SDec

Une unité de prédiction (PU) est le bloc élémentaire pour la prédiction dans le codage vidéo avec HEVC. Pour coder une PU, un mode de codage ainsi que ses paramètres associés sont nécessaires. Dans un schéma de codage classique, les modes avec leurs paramètres de codage sont mis

en compétition sur la PU courante. Le mode optimal qui minimise le coût débit-distorsion (R-D) est choisi pour coder la PU courante et est signalé dans le flux binaire. Dans le schéma de codage proposé, au lieu de transmettre cette information de codage optimale calculée sur la PU courante, nous proposons d'utiliser celle calculée sur une PU causale appelée *PU de référence SDec*. Le débit dédié à la signalisation est ainsi économisé.

Dans la suite du document, on utilise les notations suivantes :

- P la PU en cours de codage,
- P' la PU de référence SDec choisie parmi n candidats (P'_1, \dots, P'_n) ,
- (M_1, \dots, M_m) m modes de codage, chacun ayant un ensemble de paramètres associés $(S_1^{M_i}, \dots, S_q^{M_i})$, (par exemple, M_1 peut être le mode Intra HEVC, et $(S_1^{M_1}, \dots, S_q^{M_1})$ les différentes directions Intra horizontal, vertical, DC...)
- M_P^* et S_P^* le mode et le paramètre optimal choisis par SDec pour coder P ,
- $Pred_{M_P^*, S_P^*}(P)$ la prédiction de P utilisant M_P^* et S_P^* ,
- $\varepsilon_T(P)$ le résiduel de texture après avoir codé P ,
- $sdec_ref$ l'élément de syntaxe qui signale P' ,
- $sdec_flag$ l'élément de syntaxe qui signale si SDec est choisi pour coder P .

La partie gauche de la figure 1 détaille le processus de codage SDec qui peut être décrit en quatre étapes :

Etape 1 :

Tout d'abord, un ensemble (P'_1, \dots, P'_n) de n candidats pour la PU de référence SDec P' est choisi parmi les PUs causales prédéterminées. Il est possible de considérer un unique candidat ($n = 1$).

Cette étape peut être mise en œuvre de trois manières différentes. Cette manière de procéder ne varie pas d'une PU à l'autre et elle est connue par le décodeur qui sait la reproduire.

- P' est choisie parmi une liste de candidats PUs prédéterminées. $sdec_ref$, qui est donc l'indice du candidat sélectionné, est signalé.
- P' est une PU calculée dynamiquement par un vecteur de mouvement. Ce dernier est alors considéré comme $sdec_ref$ et est signalé.
- P' est une PU prédéterminée (le bloc colocalisé de P par exemple), il n'y a pas besoin de signaler $sdec_ref$.

Il faut noter que dans le schéma proposé, la sélection de la référence est cruciale car elle détermine le mode et le paramètre de codage utilisés pour coder la PU courante. Une bonne référence P' doit être en corrélation avec la PU courante P de sorte que l'information de codage calculée sur P' soit adaptée à P et fournisse ainsi une bonne prédiction de cette dernière.

Etape 2 :

La deuxième étape consiste à calculer le mode de codage optimal pour chaque PU candidat P'_i . Tous les modes de codage avec leurs différents paramètres associés sont mis en compétition pour le codage de P'_i . Ils ne

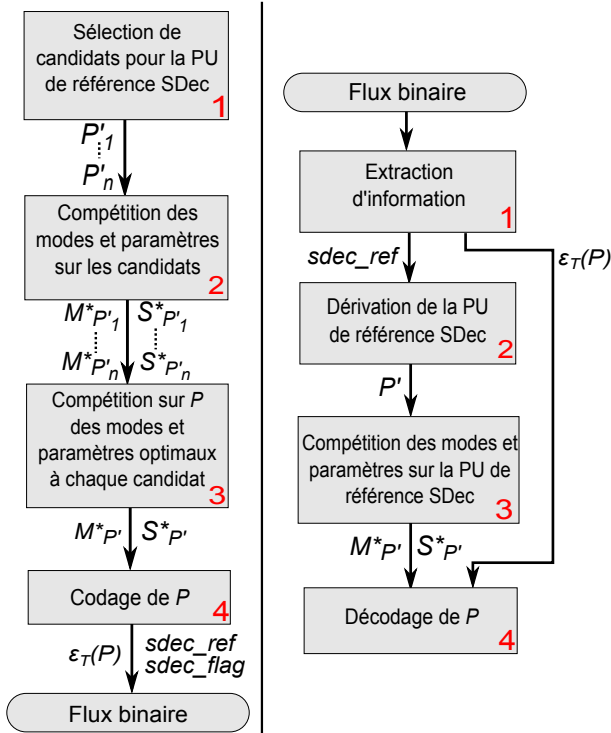


Figure 1 – Schéma de codage (gauche) et de décodage (droite) SDec

sont pas appliqués sur P . Plus précisément, chaque couple $(M_j, S_l^{M_j})_{j \in [1..m], l \in [1..q]}$ de mode et de paramètre est utilisé pour coder P'_i afin d'évaluer le meilleur au sens R-D :

$$J = D + \lambda R$$

avec J le coût R-D, D la distorsion, R le débit estimé du codage, et λ le multiplicateur de Lagrange qui dépend du paramètre de quantification. Etant donné que les modes et leurs paramètres associés ne sont pas transmis, R n'inclut pas le coût pour la signalisation de ces derniers. Le calcul du coût R-D nécessite aussi le résiduel de texture issu de chaque codage de P'_i utilisant $(M_j, S_l^{M_j})$ qui est calculé comme suit :

$$\varepsilon_T(P'_i) = P'_i - \text{Pred}_{M_j, S_l^{M_j}}(P'_i)$$

A la fin de cette étape, chacun des n candidat P'_i a un couple de mode et paramètre de codage optimal, noté $(M^*_{P'_i}, S^*_{P'_i})$, qui minimise le critère J .

Etape 3 :

La troisième étape détermine, toujours par compétition basée sur le critère R-D et parmi n modes de codage optimaux pour les n candidats, le mode optimal pour la PU courante. De façon plus détaillée, chaque couple $(M^*_{P'_i}, S^*_{P'_i})_{i \in [1..n]}$ est appliqué pour coder P . Les n coûts R-D résultant de ces n codages sont comparés pour déterminer le meilleur couple qui minimise ce critère. Le candidat associé à ce couple optimal est alors choisi comme la PU de référence SDec P' .

On note que cette étape n'existe pas s'il n'y a qu'un can-

didat P' .

Etape 4 :

Dans la dernière étape, P est codée en utilisant le mode et le paramètre optimal $(M^*_{P'}, S^*_{P'})$ de la PU P' déterminée lors de l'étape précédente. Un résiduel de texture résultant du codage de P est finalement calculé pour indiquer l'erreur de la prédiction par rapport à la PU originale :

$$\varepsilon_T(P) = P - \text{Pred}_{M^*_{P'}, S^*_{P'}}(P)$$

Concernant la signalisation dans le flux binaire, SDec nécessite la transmission d'uniquement trois types d'informations pour chaque PU codée en SDec : un élément de syntaxe ($sdec_flag$) qui signale l'utilisation du mode SDec parmi les autres modes de codage (Intra, Inter, Merge...), un élément de syntaxe ($sdec_ref$) qui indique la PU de référence SDec, et le résiduel de texture $\varepsilon_T(P)$. Notons que grâce au schéma proposé, le mode de codage et ses paramètres associés pour la PU courante ne sont pas signalés.

2.2 Description générale du schéma de décodage SDec

Au niveau du décodeur, une PU P codée en SDec signalée par $sdec_flag$ est décodée en appliquant le schéma de décodage SDec. Ce dernier a quatre étapes principales comme montrées dans la partie droite de la figure 1 :

Dans la première étape, l'extraction du flux binaire est effectuée pour récupérer les informations nécessaires au décodage, à savoir $sdec_ref$ pour déterminer la PU de référence SDec P' et le résiduel de texture $\varepsilon_T(P)$.

Dans la deuxième étape, le décodeur dérive P' à l'aide de l'indice $sdec_ref$ (dans le cas où $n > 1$).

La troisième étape consiste à mettre en compétition tous les modes de codage et leurs paramètres associés sur P' . Simulant le processus de codage de l'encodeur, le décodeur procède au codage de P' en appliquant tous les modes et paramètres de codage disponibles pour retrouver finalement le couple mode et paramètre optimal $(M^*_{P'}, S^*_{P'})$ qui minimise le critère R-D.

Dans la dernière étape, le décodage de la PU courante est effectué en utilisant le mode et le paramètre optimal $(M^*_{P'}, S^*_{P'})$ issus de la compétition sur la PU de référence SDec P' . Le résiduel $\varepsilon_T(P)$ extrait du flux binaire est ajouté pour reconstruire P .

2.3 Avantages et inconvénients

La possibilité d'ajouter un nombre illimité de modes et de paramètres de codage en compétition sans souffrir au coût excessif de signalisation s'avère un atout majeur pour le schéma SDec. Des modes de codage très différents avec leurs paramètres associés peuvent être mis en compétition, et par conséquent, l'adaptation au contenu ou aux caractères spécifiques d'une séquence peut être automatiquement gérée. La seule limite réside dans la capacité de traitement allouée par les dispositifs dédiés au codage et

décodage suivant le besoin de leurs tâches.

En autorisant un large nombre de modes en compétition, ce schéma SDec permet aussi d'intégrer des techniques de codage qui échouent traditionnellement en raison du poids excessif de leurs paramètres intrinsèques, tels que l'"Echantillonnage compressé" [10] qui nécessite la transmission des transformées et des facteurs d'échantillonnage, la "Prédiction Intra à courte distance" (SDIP) [11, 12] ou le "Partionnement géométrique" [13]. L'application des processus complexes, par exemple l'apprentissage automatique, dans le codage vidéo devient également possible grâce à la nouvelle capacité de traitement fournie par SDec au décodeur.

L'inconvénient majeur du schéma proposé est la complexité supplémentaire au niveau du décodeur étant donné que tous les modes et paramètres de codage doivent être mis en compétition pour retrouver la solution optimale. Cependant, cette complexité est entièrement modulable. En effet, l'allocation de ressource nécessaire pour effectuer une tâche peut être négociée et adaptée à la volée pour le cas des applications interactives ou configurée par profils pour les autres.

2.4 Implémentation du schéma SDec

Nous proposons dans cette section une implémentation du schéma général SDec qui permet de bénéficier de ses avantages tout en restant conforme à sa spécification. Des restrictions sont appliquées sur la manière de sélectionner la PU de référence SDec et au niveau des modes de codage mis en compétition.

2.3.1 Choix pour la PU de référence SDec

Concernant le choix pour la PU de référence SDec P' , nous évaluons deux méthodes simples suivantes :

SDec 1 : utiliser une PU causale prédéterminée pour P' (*sdec_ref* non signalé)

P' devient l'unique candidat sur lequel tous les modes et paramètres de codage sont mis en compétition lors de la deuxième étape du schéma général SDec ($n = 1$). Nous proposons d'utiliser la PU colocalisée de la PU courante, située dans l'image précédente.

SDec 2 : P' choisie parmi deux PU causales prédéterminées comme candidats (*sdec_ref* signalé comme indice)

Cette configuration augmente la probabilité que l'une des deux PUs candidates soit pertinente pour le codage de P . Par contre, elle nécessite un débit plus important pour la signalisation de la PU de référence SDec. Après des tests préliminaires, nous avons constaté que deux candidats est un bon compromis. Nous considérons donc deux candidats ($n = 2$) : la PU colocalisée de P , noté P'_1 , et celle à gauche de P'_1 , noté P'_2 . Ces deux PUs sont situées dans l'image précédente.

2.3.2 Choix des modes de codage utilisés

Le nombre de modes de codage disponibles appliqués

dans la deuxième étape du schéma SDec est limité au mode Intra uniquement ($m = 1$). Les paramètres de ce dernier, qui sont les directions Intra, sont mis en compétition sur les candidats pour la PU de référence SDec. Plus précisément, comme il existe 35 directions Intra pour la luminance et 6 pour la chrominance dans HEVC, le nombre q de paramètres disponibles est respectivement 35 et 6 lors de l'application du schéma général SDec à la luminance et à la chrominance.

2.3.3 Signalisation du mode SDec

Le mode SDec est mis en compétition avec les modes de codage classiques et signalé par *sdec_flag* pour chaque PU. Dans cet article, nous suivons le schéma de signalisation mentionné dans [14].

3 Résultats expérimentaux

Dans cette section, nous testons l'implémentation proposée du schéma général SDec, développée avec le modèle de test de HEVC (HM). Le mode SDec est mis en compétition avec tous les autres modes de codage existants (Merge, Inter, Intra). Les statistiques associées sont ensuite analysées.

3.1 Protocole de test

Les tests sont réalisés avec le codeur HM version 7.0. Les deux méthodes du schéma SDec proposées dans la section précédente sont testées. Toutes les deux versions sont configurées selon les protocoles de test standards définis par JCT-VC avec le profil "Low Delay-P-Main" (LD-P-Main).

Pour évaluer les performances du codec SDec, l'ensemble des séquences de test standard de HEVC est utilisé. Elles sont classées en fonction de leur résolution (classe A 2560×1600, class B 1920×1080...) ou leur contenu visuel (classe F). D'autres séquences connues pour leur complexité sont également ajoutées. En faisant varier la valeur du paramètre de quantification (QP), trois plages de QPs ont été sélectionnées pour étudier la performance du codage selon différents débits : bas débit (LBR) : QP 27-32-37-42, moyen débit (MBR) : QP 22-27-32-37 et haut débit (HBR) : QP 17-22-27-32. Les pourcentages de gain sont mesurés à l'aide de la métrique de Bjøntegaard (taux B-D) [15] qui représente la différence moyenne entre deux courbes de débit-distorsion sur la plage de QPs considérée.

Le tableau 1 donne le gain en débit pour la luminance des deux versions testées avec les trois plages de débits considérées. Les deux versions donnent systématiquement un gain pour toutes les séquences étudiées.

Nous avons obtenu des gains en moyenne de 1,8%, 0,8% et 0,5% en LBR, MBR et HBR respectivement lorsque l'on compare la performance de *SDec 1* à la version HM7.0 de référence sur les séquences de test standards. Sur les séquences supplémentaires, *SDec 1* montre qu'il est également très efficace avec un gain en moyenne

Classes de séquences	SDec 1			SDec 2		
	LBR	MBR	HBR	LBR	MBR	HBR
Class A	2,6	1,1	0,6	2,8	1,2	0,7
Class B	2,0	0,8	0,4	2,1	0,8	0,5
Class C	1,9	0,7	0,4	2,0	0,9	0,5
Class D	1,5	0,5	0,3	1,5	0,6	0,3
Class E	1,4	0,8	0,7	1,3	0,6	0,6
Class F	1,3	0,8	0,6	1,4	0,9	0,6
Moyenne	1,8	0,8	0,5	1,9	0,9	0,5
RollingTomatoes 1088p	2,6	2,8	1,7	3,0	3,1	1,9
PedestrianArea 1088p	3,0	1,6	1,1	3,4	1,9	1,2
InToTree 1088p	0,7	0,9	0,5	0,5	1,0	0,6
RushHour 1080p	3,8	2,0	1,6	3,8	2,1	1,7
Tennis 1080p	3,2	1,5	0,9	3,8	1,9	1,2
Crew 720p	3,1	1,5	0,8	3,0	1,5	0,9
Moyenne	2,7	1,7	1,1	2,9	1,9	1,2

Tableau 1 – Gain en débit de SDec 1 et SDec 2 par rapport à HM7.0 de référence (en pourcentage)

de 2,7%, 1,7% et 1,1% respectivement en LBR, MBR et HBR. Nous remarquons aussi que SDec 1 est particulièrement performant à bas débit en donnant des gains jusqu'à 3,8% pour les séquences dont le mouvement est complexe.

Avec la deuxième version SDec 2 où la PU de référence SDec est choisie parmi deux candidats prédéterminés, un gain légèrement supérieur pour la luminance est obtenu sur l'ensemble de séquences de test. Cette augmentation de gain montre qu'une meilleure prédiction est obtenue grâce à des informations supplémentaires fournies par le second candidat. Des gains de 1,9%, 0,9% et 0,5% en moyenne en LBR, MBR et HBR respectivement par rapport à la version HM7.0 de référence sont obtenus. Sur les séquences supplémentaires, des gains de 2,9%, 1,9% et 1,2% sont atteints respectivement pour les trois plages de QPs utilisées.

Notons par ailleurs que le temps d'encodage est augmenté par un facteur de deux et de trois respectivement pour SDec 1 et SDec 2 par rapport à la version de référence. Cela est dû notamment à la mise en compétition de toutes les directions Intra sur les candidats. Le temps de décodage est aussi triplé par rapport à celui du codec classique. Toutefois, ce surcoût pourra être réduit significativement avec l'utilisation des techniques plus avancées comme la parallélisation par exemple, ou la mise en place des raccourcis judicieux qui ne sont pas dans la portée de cette publication.

3.2 Analyse des résultats

3.2.1 Taux de sélection du mode SDec

Soit n_{SDec} le nombre de PUs codées en SDec et n_{tot} le nombre total de PUs codées lors du codage d'une séquence. Nous définissons le taux de sélection du mode SDec comme le pourcentage de PUs codées en SDec :

$$\frac{n_{SDec}}{n_{tot}} \times 100\%$$

Le tableau 2 présente le taux de sélection du mode SDec pour les deux versions SDec 1 et SDec 2 testées sur les séquences de test standard en MBR. On obtient un taux de sélection significatif de 6,8% et 7,8% respectivement, ce qui prouve que le mode SDec proposé est efficace par rapport à des modes de codage existants.

Classe de séquences	SDec 1	SDec 2
Class A	11,4	12,8
Class B	6,7	7,8
Class C	6,6	8,0
Class D	4,6	5,4
Class E	2,5	2,7
Class F	8,9	9,9
Moyenne	6,8	7,8

Tableau 2 – Taux de sélection du mode SDec pour SDec 1 et SDec 2 en moyen débit (en pourcentage)

3.2.2 Mode remplacé par SDec

En considérant SDec 1 testé en MBR, le tableau 3 donne, pour chaque taille de PU, la répartition en pourcentage des modes de codage classiques qui sont remplacés par le nouveau mode SDec introduit. En d'autres termes, il permet de répondre à la question : quel est le deuxième meilleur mode de codage en termes de coût R-D lorsque SDec est sélectionné ?

Taille PU	Skip	Merge	Intra	Intra
8×8	21,3	12,4	17,7	48,5
16×16	10,6	9,9	12,4	67,1
32×32	11,2	4,9	11,6	72,3
64×64	0,1	2,2	4,2	93,5

Tableau 3 – Répartition des modes de codages classiques remplacés par SDec dans SDec 1 en moyen débit (en pourcentage)

Le résultat montre que le mode SDec remplace essentiellement le mode Intra classique, et particulièrement pour les PUs de taille 64×64. En outre, les modes classiques autres que Intra ont également été remplacés, ce qui confirme SDec comme un mode de codage prometteur capable de rivaliser avec les autres modes existants. Cette analyse fournit une information précieuse pour réduire la complexité d'un codec utilisant le schéma SDec. Concrètement, le temps de codage sera réduit en désactivant certains modes standards dans certaines configurations lorsque SDec est reconnu comme plus performant. Cette perspective n'est cependant pas l'objet de cette publication.

Notons toutefois que même si la prédiction Intra est utilisée dans cette implémentation, SDec reste un mode

Inter étant donné qu'il exploite le mode et le paramètre de codage d'une référence située dans l'image précédemment décodée.

4 Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté un nouveau schéma de codage qui exploite la capacité de traitement du décodeur pour réduire la signalisation des modes et des paramètres de codage. Ces derniers sont calculés sur la PU de référence SDec au lieu d'être calculés directement sur la PU courante, économisant ainsi des bits habituellement dédiés à leur signalisation. Le schéma proposé ouvre de nombreuses perspectives, dont l'intégration d'outils performants qui souffrent classiquement d'une signalisation trop lourde. Bien que la configuration choisie (choix pour la PU de référence, modes de codage considérés...) soit basique, cette première implémentation de SDec montre une amélioration de la performance de compression avec un gain de près de 2% en moyenne à qualité égale par rapport à HEVC pour un ensemble de séquences standards.

En perspective, la performance du schéma SDec dépendant largement de la sélection de la PU de référence SDec qui fournit le mode et le paramètre pour le codage de la PU courante, des travaux pour améliorer la pertinence de la PU de référence choisie sont judicieux. De même, implémenter d'autres modes de codage plus performants est une autre voie d'amélioration. Enfin, réduire le temps d'exécution s'avère être une voie d'amélioration à court terme.

Références

- [1] ITU-T. High efficiency video coding. *ITU-T Recommendation H.265*, Avril 2013. <http://www.itu.int/rec/T-REC-H.265-201304-I>.
- [2] G.J. Sullivan, J. Ohm, Woo-Jin Han, et T. Wiegand. Overview of the high efficiency video coding (hevc) standard. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 22(12) :1649–1668, 2012.
- [3] G. Laroche, J. Jung, et B. Pesquet-Popescu. Intra coding with prediction mode information inference. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 20(12) :1786–1796, 2010.
- [4] Dae-Yeon Kim, Ki-Hun Han, et Yung-Lyul Lee. Adaptive intra mode bit skip in intra coding. Dans *IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems, 2008. APCCAS 2008*, pages 446–449, 2008.
- [5] S.A. Negusse. Improving intra pixel prediction for h. 264 video coding. Mémoire de D.E.A., Blekinge Institute of Technology, Mai 2008.
- [6] T.K. Tan, C.S. Boon, et Y. Suzuki. Intra prediction by template matching. Dans *2006 IEEE International Conference on Image Processing*, pages 1693–1696, 2006.
- [7] K. Sugimoto, M. Kobayashi, Y. Suzuki, Sadaatsu Kato, et Choong Seng Boon. Inter frame coding with template matching spatio-temporal prediction. Dans *2004 International Conference on Image Processing, 2004. ICIP '04*, volume 1, pages 465–468 Vol. 1, 2004.
- [8] S. Kamp, M. Evertz, et M. Wien. Decoder side motion vector derivation for inter frame video coding. Dans *15th IEEE International Conference on Image Processing, 2008. ICIP 2008*, pages 1120–1123, 2008.
- [9] J. Ballé S. Kamp et M. Wien. Multihypothesis prediction using decoder side motion vector derivation in inter frame video coding. *Proc. SPIE Visual Communications and Image Processing VCIP*, 9, 2009.
- [10] T.T. Do, Xiaoan Lu, et J. Sole. Compressive sensing with adaptive pixel domain reconstruction for block-based video coding. Dans *17th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 2010*, pages 3377–3380, 2010.
- [11] Xiaoran Cao, Changcai Lai, Yunfei Wang, Lingzhi Liu, Jianhua Zheng, et Yun He. Short distance intra coding scheme for high efficiency video coding. *IEEE Transactions on Image Processing*, 22(2) :790–801, 2013.
- [12] J. Jung J.-M. Thiesse et M. Antonini. Hybrid-1d macroblock prediction for video compression. *17th European Signal Processing Conference*, pages 554–558, 2009.
- [13] O. Divorra Escoda, Peng Yin, Congxia Dai, et Xin Li. Geometry-adaptive block partitioning for video coding. Dans *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2007. ICASSP 2007*, volume 1, pages I–657–I–660, 2007.
- [14] J.-M. Thiesse. *Codage Vidéo Flexible par Association d'un Décodeur Intelligent et d'un Encodeur Basé Optimisation Débit-Distorsion*. Thèse de doctorat, Nice Sophia-Antipolis University, Avril 2012.
- [15] G. Bjøntegaard. Calculation of average psnr differences between rd curves. *VCEG-M33, ITU-T VCEG, 13th Meeting, Austin, TX, USA*, Avril 2001.