

4K/8K映像に向けたHEVC符号化技術の開発

Development of HEVC Video Coding Technology for 4K/8K Visual Applications

西 孝 啓
Takahiro Nishi

杉 尾 敏 康
Toshiyasu Sugio

笹 井 寿 郎
Hisao Sasai

松 延 徹
Toru Matsunobu

要 旨

HEVCとは、ISOとITU-T (International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector) が共同開発した最新の画像符号化国際標準方式であり、2013年1月に技術仕様が確定した。予測パラメータの多様化などにより、従来の画像符号化標準方式の半分のデータサイズで同等画質を実現しており、4K/8Kテレビ放送やインターネット4K配信などの4K/8K動画アプリケーションへ採用が拡大しつつある。HEVC標準方式には、当社が提案した低処理量の適応算術符号化技術や高効率の動き情報予測技術が採用されている。本稿ではそれらの技術内容、および、ソフトコーデックや低消費電力LSI向けに開発した当社独自の低処理で高画質なHEVC符号化アルゴリズムから、適応ビット量割り当て技術と適応予測パラメータ選択技術を紹介する。

Abstract

HEVC is the latest video coding international standard jointly developed by the ISO and the International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector (ITU-T), and its technical specification was finalized in January 2013. HEVC achieved comparable picture quality at half the data size of the prior video coding standard, and its application is spreading widely in areas such as 4K/8K TV broadcasting and video on demand services over the Internet. The HEVC standard adopted our proposed low-complexity adaptive arithmetic coding and high-efficiency motion vector prediction technologies. This paper introduces these technologies, and some of our low-complexity, high-quality HEVC encoding technologies such as adaptive quantization and adaptive prediction parameter selection, which were developed for software codecs and low-power consumption LSIs.

1. はじめに

近年、スマートフォンなどモバイル環境でのインターネット動画視聴の拡大につれて、モバイルデータ通信トラフィックが年々増加を続けており[1]、動画像データの効率的な圧縮が課題となっている。HEVC (ITU-T^(注1) H.265 | ISO/IEC^(注2) 23008-2 High efficiency video coding) は、従来標準方式より高い圧縮性能を目指してISOとITU-Tが共同で開発し、2013年1月に技術仕様策定を完了した最新の画像符号化標準方式である[2]。従来の標準方式であるH.264/AVC (ITU-T H.264 | ISO/IEC 14496-10 Advanced video coding) に比べて半分のデータサイズで同等の画質を実現できる[3]ことから、モバイルに限らず、インターネット4K配信や4K/8K TV放送、ULTRA HD Blu-ray^(注3) など4K/8K動画アプリケーションへの採用が拡大しており、監視カメラなどセキュリティ用途への応用も見込まれている。当社は、2010年の開始当初よりHEVC標準化に参加し、4K/8K TV放送など高解像度、高ビットレートに対応した民生機器や低消費電力への要求が強いモバイル機器の実用化を睨(にら)み、処理量の

削減など機器実現性を高める数々の技術提案を行った。

本稿では、まず第2章においてHEVC標準方式の特長を整理し、第3章で、当初のHEVC標準方式案の課題と、HEVC標準方式に採用された当社技術のなかから、低処理量の適応算術符号化技術と高効率動き情報予測技術を紹介する。第4章では、HEVC標準方式の実用化に向けた課題を説明し、その対策として動画配信コンテンツ符号化向けソフトエンコーダやカメラ商品向け低消費電力LSIなどへの展開に向けて開発した、当社独自の低処理で高画質なHEVC符号化アルゴリズムのなかから、適応ビット量割り当て技術と適応予測パラメータ選択技術を紹介する。

2. HEVC標準方式の特長

H.264/AVCとHEVCの相違点を、第1表にまとめる。基本方式に大きな違いはないが、①予測/変換ブロックサイズの大規模化と予測精度の向上など、画面内/画面間予測符号化基本ツールの強化、②動きベクトル予測における候補ベクトルの拡充、③画素適応オフセットの追加など、随所に圧縮効率を向上する技術が導入されるとともに、エンコーダが選択できる予測パラメータの組合せが拡充された。

(注1) International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector

(注2) International Electrotechnical Commission

(注3) Blu-Ray Disc Associationの登録商標または商標

第1表 H.264/AVCとHEVCの対比

Table 1 Comparison between H.264/AVC and HEVC

	H.264/AVC	HEVC
符号化ブロック	16×16	8×8, 16×16, 32×32, 64×64
予測ブロック	4×4-16×16単位	4×4-64×64単位
画面間予測	6-tap補間フィルタ 動きベクトル予測 (1候補)	8-tap補間フィルタ 動きベクトル予測 (複数候補)
画面内予測	8方向+DC	33方向+DC+Planer
周波数変換	4×4, 8×8 DCT	4×4-32×32 DCT, 4×4 DST
量子化	4×4, 8×8量子化 マトリクス	4×4-32×32量子化 マトリクス
ループ内フィルタ	デブロッキングフィルタ	デブロッキングフィルタ 画素適応オフセット
可変長符号化	コンテキスト適応算術 符号化 コンテキスト適応可変長 符号化	コンテキスト適応算術 符号化
並列化ツール	スライス分割	スライス分割 タイル分割 算術符号同期

DC : Direct Current

DCT: Discrete Cosine Transform

DST: Discrete Sine Transform

3 HEVC標準方式に貢献した当社技術

本章では、当初のHEVC標準方式案の課題を説明し、HEVC標準方式に採用された当社技術のなかから、代表的な2つの技術を紹介する。1つ目は、H.264/AVCでも高速処理の実現が課題とされていた算術符号化に関するもので、処理量の削減や並列処理による高速化を可能とする技術である。2つ目は、動きベクトル予測に関するもので、実装負荷を抑えつつ動きベクトル符号量をさらに削減する技術である。

3.1 HEVC標準方式案の課題と取り組み

当初のHEVC標準方式案は、H.264/AVCに比べて複雑な実装を必要とするものになっており、特に4K/8K TV放送など高解像度、高ビットレートに対応した民生機器の実現性や実装コストに懸念があった。これは、H.264/AVCの圧縮効率を大きく上回ることが目標とされ、符号化ツールの強化や予測パラメータの多様化などによって圧縮効率を追求する余り、隣接ブロック情報に基づいた適応的な符号化・復号処理など、復号済みの情報への依存度が従来に比べて高まっていたことが一因である。

この懸念に対し、HEVC標準方式の合理化を目指し、同等以上の圧縮効率をより簡単な処理で実現する方式の開発に取り組み、低処理量の適応算術符号化技術や高効

率の動き情報予測技術などを提案した。

3.2 低処理コンテキスト適応算術符号化方式

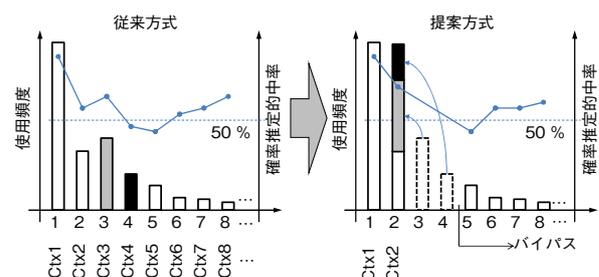
コンテキスト適応算術符号化（以下、CABAC）は可変長符号化方式の一種であり、H.264/AVCにも用いられている。符号化済み情報に応じて二値シンボル化した情報を算術符号化するCABACは、圧縮効率が高い反面、算術符号化処理がシンボルごとに直前の状態に依存するため並列化できず、高速処理実現のボトルネックとなっていた。HD機器に比べて高いビットレートへの対応が必要となる4K/8K機器の実用化では、CABACの高速処理実現はより大きな課題となる。

これに対し、CABACの圧縮効率を維持しつつ高速処理を可能とする、確率推定モデルの最適設計技術やバイパス符号化連結技術を開発した。以下に詳細を説明する。

[1] 確率推定モデル設計の最適化

CABACでは、コンテキストと呼ばれる隣接ブロックのフラグ情報などの符号化済みの情報に基づき、各シンボルの生起の確率を推定するモデルを切り替え/更新することで確率推定の的中率を向上し、高い圧縮効率の算術符号化を実現している。

各シンボル（1, 2, 3, ..., n）に対応する確率推定モデル（Ctx1, Ctx2, ..., CtxN）の使用頻度（棒グラフ）と確率推定の的中率（折れ線グラフ）の例を、第1図に示す。第1図左のグラフに示すように、確率推定モデルの使用頻度の高さや確率推定の的中率の間には相関があることに着目し、使用頻度が中程度で特性が類似する複数の確率推定モデルを統合して使用頻度を高める技術を開発した。これにより、統合前に比べて確率推定の的中率が向上し、圧縮効率を向上しつつ確率推定モデル数を削減することができる。例えば、8×8, 16×16, 32×32の3種類のDCT係数の符号化においては、DCT係数値が非ゼロであることを示す情報の確率推定モデルの設計に、この技術を適用できる。また、第1図における5以降のシンボルなど、確率推定モデルの使用頻度が低く確率推定の



第1図 確率推定モデルの使用頻度と確率推定の的中率

Fig. 1 Frequency of use and hit ratio of probability model

が50%前後のシンボルに対しては、確率を50%固定とする「バイパス符号」としても圧縮効率に影響がないことに着目し、処理量が少ないバイパス符号を積極的に使用する方針とした。

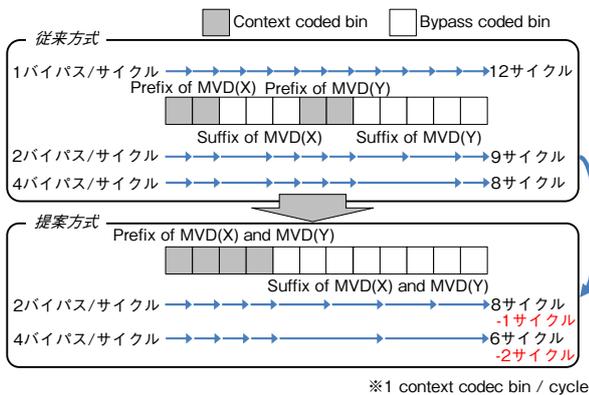
以上の考えに基づいて確率推定モデルの再設計を行い、圧縮効率を落とすことなく、確率推定モデル数をH.264/AVC比40%未満に削減し、全体の符号量の50%以上を低処理のバイパス符号とした。

[2] バイパス符号の連結化

確率推定モデルを使用するシンボル (Context coded bin) は、シンボルごとに確率推定モデル更新が必要であり、1シンボルずつ処理する必要がある。一方、バイパス符号化するシンボル (Bypass coded bin) では、確率を50%に固定して符号化するため、連続する複数のシンボルを並列に処理することができる[4]。

これらの特性に着目し、バイパス符号を連結する第2図に示す方式を開発した。この方式では、並列処理を容易とするため、確率推定モデルを使用するシンボルとバイパス符号化するシンボルを交互に符号化する変数 (例えば差分動きベクトルの水平成分と垂直成分) について符号化する順序を入れ替え、バイパス符号を連結する。これにより、複数のバイパス符号を1サイクルで処理可能な構成の実装において、従来の符号化順序に比べて必要な処理サイクル数を削減できる。

本提案を皮切りにバイパス符号の連結化に関する審議が活発化し、網羅的にバイパス符号の連結化が施された。これにより、バイパス符号のスループットは2.8倍に高められた[5]。

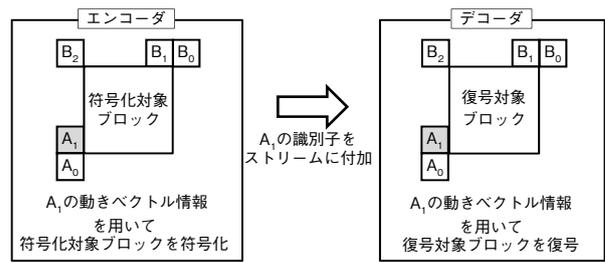


第2図 バイパス符号の連結
Fig. 2 Bypass coded bin grouping

3.3 高効率動き情報予測技術

HEVCでは、符号化対象ブロックに空間的に隣接する複数ブロックの動きベクトルの1つを選択し、それを符号

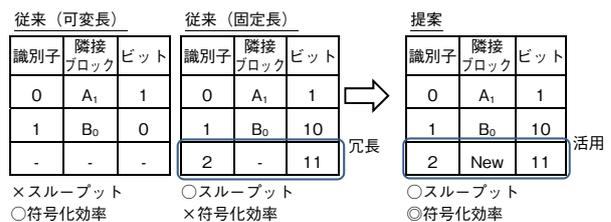
化対象ブロックの動きベクトルとする符号化モード (以下、マージモード) が導入された。マージモードで動きベクトルを参照できる隣接ブロック位置と、そのうちの1つを選択して符号化・復号する例を第3図に示す。マージモードでは、エンコーダが選択した動きベクトルを有する隣接ブロックの識別子をストリームに付加し、デコーダは識別子に従って同一の動きベクトルを選択して復号する。



第3図 HEVCにおけるマージモードの例
Fig. 3 Example for merge mode in HEVC

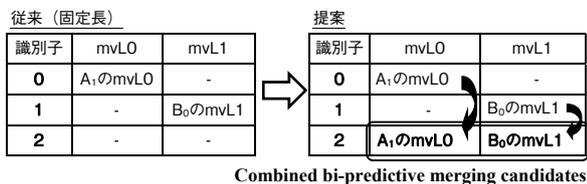
当初のHEVC標準方式案には、参照可能な隣接ブロックの数をを用いて、ブロックごとに付与されるこの識別子の符号化方法を切り替え、符号量を削減する仕組みがあった。しかしながら、この仕組みでは、各ブロックの識別子を復号する際に参照可能な隣接ブロック数を算出する必要があるため、これらを並列には処理できず、復号処理のスループットが低下していた。一方、並列処理を可能とするために識別子を固定長符号とすると、隣接ブロックが割り当てられない冗長な識別子が発生し、圧縮効率が2%~3%低下してしまう。このように実装インパクトを抑えつつ、効率を向上することがマージモードの課題であった。

この課題に対し、冗長な識別子を利用した圧縮効率向上技術を開発した。提案方式を第4図に示す。この方式では、隣接ブロックの動きベクトル情報に基づいて新規候補を生成し、冗長であった識別子に割り当てる。



第4図 マージモードの課題と当社提案
Fig. 4 Issue with merge mode and our proposed method

新規候補として、combined bi-predictive merging candidates（以下、コンバイン候補）やzero motion vector merging candidates（以下、ゼロベクタ候補）を追加した。ここでは前者について説明する。コンバイン候補は、隣接ブロックの動きベクトル情報を組み合わせ、双予測の動きベクトルを有する。例えば、隣接ブロック A_1 の前方予測の動きベクトルと B_0 の後方予測の動きベクトルなどを組み合わせて双予測の動きベクトルとし、これをコンバイン候補とする。一例を、第5図に示す。これにより、隣接ブロックが一方の予測のみを用いて符号化されていた場合でも、双予測を用いるマージモードを選択できるようになる。コンバイン候補とゼロベクタ候補の追加により、圧縮効率が2%向上することを確認した。



第5図 マージモードにおけるコンバイン候補の例
Fig. 5 Combined bi-predictive merging candidates

以上説明した、識別子の固定長符号化とコンバイン候補およびゼロベクタ候補の追加により、復号処理のスループット向上と圧縮効率向上を両立できた。

4. 実用化アルゴリズムの開発

本章では、機器やサービスへのHEVC導入に向けた課題を説明し、この課題の解決に向けて開発した当社独自のHEVC符号化アルゴリズムのうち、主観画質向上効果が大きい適応ビット量割り当て技術と、処理量の削減効果が大きい適応予測パラメータ選択技術を紹介する。また、これらの技術を導入した当社エンコーダソフトによるHD画像符号化の処理時間と画質を、HEVC標準化で提案技術評価の基準として使用されている参照エンコーダソフト（以下、HM）の第10版（以下、HM10）と比較する。HM10は、HEVC第1版の技術仕様が確定した際の参照エンコーダソフトである。

4.1 機器やサービスへのHEVC導入に向けた課題と取り組み

機器やサービスにHEVCを導入し普及させるためには、高画質なHEVCコンテンツを効率よく制作できるエンコーダ機器・環境を整備することが重要である。HMでは、予測/変換ブロックサイズなどの全予測パラメータの組

合せについて入力画像を一旦符号化し、その結果に基づいて最も圧縮効率の高い組合せを選択する。HEVC標準方式では、第3章で述べたとおり標準方式レベルでの簡素化は図られているが、H.264/AVCと比べると、エンコーダが選択可能な予測パラメータの組合せパターンは増加しているため、HMは、高い圧縮効率を実現している一方で、例えば2時間の映画の符号化に数十日も必要とする。このように、動画配信コンテンツ符号化など実時間符号化が必須でない用途を想定しても、圧縮効率を維持しつつ大幅な高速化を実現することが課題であった。

この課題に対し、HMと同等以上の圧縮効率を実現しつつ、商業的に利用価値があると考えられるHD画像の実時間符号化を実現することを目標に、符号化アルゴリズムとエンコーダソフトを開発した。

4.2 適応ビット量割り当て技術

HM10による符号化画質は、大きな破綻が少ない一方でぼけが強い傾向があり、特に4K/8Kなど高解像度画像の符号化において画質改善の余地がある。これは、映像の細部を表現する周波数成分が、予測や量子化により消失してしまうためである。そこで、人間の視覚特性上劣化が認知されにくい高周波数成分のビット量を抑制し、低周波数成分へビット量を配分する適応ビット量割り当て技術を開発した。

本技術では、平坦部やエッジ部などの画像の特徴に応じて高周波成分と低周波成分のビット配分を適応的に切り替え、人間の視覚特性上劣化が目立つ周波数成分にビットを多く配分することで、HM10と同等の符号量で精細感の高い符号化画質を実現した。

4.3 適応予測パラメータ選択技術

前述のとおり、HMは2時間の映画の符号化に数十日も必要であり、動画配信コンテンツ符号化など商業目的で使用するには、大幅な高速化が必要である。第1表で示したとおり、予測ブロックサイズや画面内予測モードなど、エンコーダが選択できる予測パラメータの組合せパターンは、H.264/AVCに比べて大幅に増加しており、高い圧縮効率を目指した符号化に長い処理時間が必要となる主たる要因となっている。この課題に対し、圧縮効率を維持しつつ大幅な処理量の削減を実現する、予測パラメータ選択アルゴリズムを開発した。

本アルゴリズムでは、符号化対象ブロックの画面間/画面内の相関に応じて、適応的に予測ブロックサイズや画面内予測モードの絞り込みを行い、予測パラメータの組合せパターン数を削減した。5種類のHD画像を用いた符号化時間の測定により、圧縮効率を維持しつつ処理量

を平均で1/5程度まで削減できていることを確認した。導入前を100%とした本アルゴリズム導入後の符号化時間を、第2表に示す。削減効果にばらつきが生じているのは、画像の特徴に依存して絞り込み度合いが変化するためである。

第2表 適応予測パラメータ選択導入後の符号化時間

Table 2 Reduced complexity by adaptive mode selection

画像A	画像B	画像C	画像D	画像E	平均
20.7%	17.3%	21.3%	18.7%	24.3%	20.4%

4.4 HD画像符号化処理時間の比較

HD画像(1280×720p)を符号化したときの速度性能を、第3表に示す。当社ソフトエンコーダは、前節で説明した適応予測パラメータ選択技術に代表される低処理量アルゴリズムの導入に加え、マルチコアCPUを活用する並列処理化やソースコード最適化を実施することで、HM10に比べて約480倍の高速化を実現し、HD画像の実時間符号化を可能とした。速度向上の内訳は次のとおりである。

- ・低処理量アルゴリズム：15倍
- ・コード最適化：2倍
- ・並列処理化：16倍

第3表 1280×720p画像符号化時の処理性能

Table 3 Encoding Processing Performance for 1280x720p

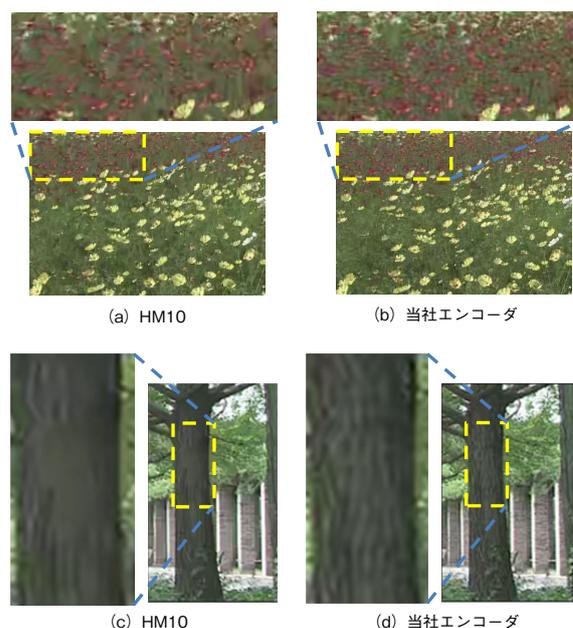
	HM10	当社
フレームレート	0.07 fps	34.1 fps
実時間比 (30 fps想定)	432倍	0.9倍

実験環境 OS: Windows^(注4) 7 Professional 64 bit
CPU: Intel Xeon^(注5) E5-2697 v2 2.7GHz

4.5 主観画質の比較

HM10と当社ソフトエンコーダを用いてHD画像(1280×720p)を約1 Mbit/sで符号化し、符号化画質を比較した。テスト画像には、ハイビジョン・システム評価用標準動画像 第2版[6]を元に、解像度を変換した映像を用いた。

符号化結果の一例を第6図に示す。HM10では、(a)の赤い花や花の茎、(c)の木の幹や柱など細かなテクスチャが潰れてしまうが、当社エンコーダでは、(b)、(d)に示すように、これらのテクスチャの再現性が向上していることがわかる。



第6図 符号化画質の例

Fig. 6 Examples of coded picture quality

5. まとめ

当社は、HEVC標準化に開始当初より参加し、処理量の削減など4K/8K時代の到来を睨んだ技術提案を通じて、H.264/AVC比2倍の圧縮効率を維持しつつ、機器実現性を大きく向上することに貢献した。今日、HEVC標準方式は、インターネット4K配信や4K/8K TV放送、ULTRA HD Blu-rayなど4K/8K動画アプリケーションへの採用が拡大している。

開発した符号化アルゴリズムならびにソフトエンコーダは、高解像度かつ高品位の映像を手軽に扱える環境の普及に向け、当社映像機器・ソリューションへ展開を進めている。

参考文献

- [1] “Cisco Visual Networking Index：全世界のモバイルデータトラフィックの予測、2014～2019年アップデート、” http://www.cisco.com/web/JP/solution/isp/ipngn/literature/pdf/white_paper_c11-520862.pdf, 参照 Oct.23, 2015.
- [2] B. Bross, et al., “High Efficiency Video Coding (HEVC) text specification draft 10 (for FDIS & Last Call),” document JCTVC-L1003, Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC) of ITU-T SG 16 WP 3 and ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11, Geneva, CH, January 2013.
- [3] TK Tan, et al., “Report on HEVC compression performance verification testing,” document JCTVC-Q1011, Joint

(注4) Microsoft Corp.の登録商標または商標

(注5) IntelおよびXeonはIntel Corp.の登録商標または商標

Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC) of ITU-T SG 16 WP 3 and ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11, Valencia, ES, March 2014.

- [4] Y. - C. Yang, et al., "High-Throughput H.264/AVC High-Profile CABAC Decoder for HDTV Applications," IEEE TCSVT, vol. 19, no. 9, pp. 1395 -1399, 2009.
- [5] V. Sze, et al., "High Throughput CABAC Entropy Coding in HEVC," IEEE TCSVT, vol. 22, no. 12, pp. 1778 - 1791, 2012.
- [6] "ハイビジョン・システム評価用標準動画像 第2版," http://www.nes.or.jp/gaiyo/pdf/manual-rev1_3.pdf, 参照 Oct. 23, 2015.

執筆者紹介



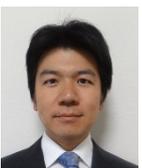
西 孝啓 Takahiro Nishi
AVCネットワークス社 技術本部
R&D Div., AVC Networks Company



杉尾 敏康 Toshiyasu Sugio
AVCネットワークス社 技術本部
R&D Div., AVC Networks Company



笹井 寿郎 Hisao Sasai
AVCネットワークス社 技術本部
R&D Div., AVC Networks Company



松延 徹 Toru Matsunobu
AVCネットワークス社 技術本部
R&D Div., AVC Networks Company