

情報更新性を利用した動画像の空間解像度変換処理手法に関する検討

村崎 仁[†] 児玉 明[‡] 金田 和文[†] 山下 英生[†]

あらまし 動画像符号化において、高機能映像サービスを実現する機能として、MPEG-2において規定されているスケーラビリティ機能がある。スケーラビリティは、受信側の要求に応じた空間解像度、時間解像度、符号化ひずみ等の自由な画質選択機能を実現することができる。しかし、付加情報による符号化効率の低下や利用者側での復号処理量の増大といった問題がある。そこで、新たなスケーラビリティ方式として、スケーラビリティ機能を外部処理的に行なう量子化誤差における更新スケーラビリティが提案されている。本稿では、特に空間解像度における更新スケーラビリティに着目し、実現のための処理手順を述べ、シミュレーション実験にてマクロブロック単位での発生符号量について考察した。

A Study on Video Transcoding in Spatial Resolution using Updatable Scalability Structure

Masashi MURASAKI[†] Mei KODAMA[‡] Kazufumi KANEDA[†] Hideo YAMASHITA[†]

Abstract A scalable bitstream syntax currently is used to realize the scalable video requirement. Compared with non-scalable video decoder, a much more complex video decoder is need to decode scalable bitstreams. However, it is considered that a video decoder should implement as simple as possible to play some quality video which users want. From this view point, a scalable video coding scheme by updatable bitstream is proposed to realize the scalability without scalable video decoder. In this paper, we pay attention to spatial updatable scalability and explain this algorithm. Finally, our proposed method is evaluated from simulation.

1. まえがき

動画像符号化において、高機能映像サービスを実現する機能として、MPEG-2において規定されているスケーラビリティ機能^[1]がある。スケーラビリティは、受信側の要求に応じた空間解像度、時間解像度、符号化ひずみ等の自由な画質選択機能を実現することができる。また、受信側で機能選択が行えるので、同報的なスケーラビリティ

機能として利用者へ提供できる反面、付加情報による符号化効率の低下や利用者側での復号処理量の増大といった問題がある。また、動画像を所望のビットレートに変換する手法としてトランスコード機能^{[2][3]}がある。しかし、トランスコードは再量子化を行うため、高品質から低品質動画像への変換のみが可能であり、低品質から高品質動画像への変換はできない。

そこで文献^[4]では、新たなスケーラビリティ方式として、スケーラビリティ機能を外部処理的に行なう方式を提案している。その方式を”ビットストリーム更新スケーラビリティ(Updatable Scalability)”(以下、更新スケーラビリティ)と呼ぶ。更新スケーラビリティは階層符号化器によって生成されたスケーラブルビットストリームを更新処理器と呼ばれる、復号前の前処理によって、非階層

[†] 広島大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, HIROSHIMA University

[‡] 広島大学情報メディア教育研究センター

Information Media Center, HIROSHIMA University

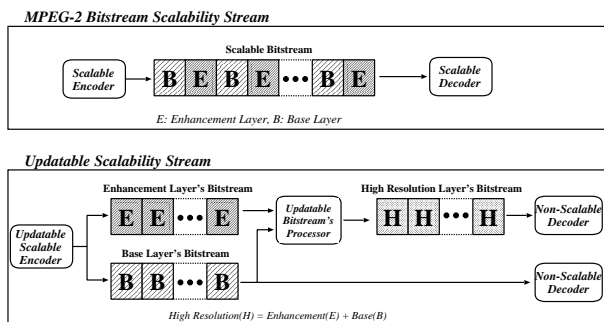


図 1: スケーラビリティのストリーム構造概要

のビットストリームに変換することにより，MP@ML^[1]の復号器によって再生を可能とする情報更新性を考慮した符号化方式である。

文献^[4]では，特に量子化誤差における解像度選択機能を実現している。しかし，空間解像度選択における検討はなされていない。そこで，本研究では，柔軟性のあるビットストリーム変換のための新しい空間スケーラビリティアルゴリズムとして，空間解像度における更新スケーラビリティの処理手順について述べ，シミュレーション実験にて，マクロブロック単位での量子化 DCT 係数と発生符号量に関する考察を行う。

2. 情報更新性を考慮した動画像符号化

本稿で目指す情報更新性を考慮した動画像符号化は，ビットストリームレベルで解像度変換を可能とすることを前提条件としている。すなわち，可逆変換による低解像度動画像から高解像度動画像への変換ができることである。この前提条件に基づいた更新スケーラビリティの特徴を MPEG-2 におけるスケーラビリティ(ビットストリームスケーラビリティと呼ぶ)と比較して述べる。図 1 に 2 つの符号化ストリーム構造の概要図を示す。ビットストリームスケーラビリティは，階層構造を有する情報を送信し，階層構造を有する復号器にてスケーラビリティ機能を復号過程で実現するものである。この場合，復号器は階層構造を持つ必要があるため，一般的な復号器では高品質データを再生できないという問題を有する。それに対して，更新スケーラビリティでは，符号化時は，量子化前までサイマルキャスト符号化と同様に符号化し，量子化 DCT 係数の差分処理を行う。そして，符号化器，復号器の間に新たにビットストリーム更新処理器(以下，更新処理器と呼ぶ)を設け，階層構造を有する情報を更新処理器にて非階層情報へ変換することで，復号器での処理量の負担を削減するものである。

すなわち，復号器自体は階層構造を持つ必要がなく，復号器ではユーザの必要とする有意な情報のみを復号できる。スケーラビリティ機能は更新処理器で行なわれる。

よって，高品質画像を復号器で再生する際，ビットストリームスケーラビリティでは階層数分の復号処理回数が必要であるが，提案スケーラビリティはその必要がなく復号器での処理量が削減できる。

以上をまとめると，スケーラビリティ機能実現のためには，本提案スケーラビリティでは更新スケーラビリティ用符号化器，更新処理器と非階層の復号器にて実現できる。例えば，MPEG-2 で定義されている階層構造を有さない汎用的な復号器(MP@ML 復号器^[1])は，本来スケーラビリティ機能を実現できないが，本提案スケーラビリティを用いることによって実現できる。本稿では，特に空間解像度の選択のための更新スケーラビリティについて検討する。次節では，空間解像度変換が可能な更新スケーラビリティの符号化方式について述べる。

3. 空間解像度更新のための階層符号化方式

3.1 要求条件

前節で述べた情報更新性を考慮した符号化方式(更新スケーラビリティ)を空間解像度変換が可能な方式に応用する場合次のような要求条件を必要とする。まず，マクロブロックタイプの決定は高解像度層で行わなければならない。これは，動きベクトル算出時に低解像度層の動きベクトルは高解像度層のものに比べ，縮小されている分だけ精度が落ちるためである。よって，動きベクトルも高解像度層で算出したものを低解像度層で利用する。

また，更新スケーラビリティでは，量子化 DCT 係数領域で差分符号化を行うので，階層間の空間領域が対応するマクロブロック，すなわち，高解像度層の 4 マクロブロックに対して，低解像度層の 1 マクロブロックのタイプをそろえる必要がある。以上の要求条件から，情報更新性を考慮した空間解像度変換可能な動画像符号化方式では，階層間での制御が必要となる。次節では，上記の要求条件に基づく階層間制御による空間解像度更新スケーラビリティについて述べる。

3.2 階層間制御符号化器

空間解像度変換可能な階層符号化を考えた場合，階層毎独立に符号化制御する方式と，階層間に制約を加えて，一方の階層の符号化制御をもう一方の符号化制御に反映させる階層間制御符号化方式の 2 通りがある。本研究で提案する情報更新性を考慮した空間解像度変換可能な符号化方式では，要求条件より，階層間に制御を加える必要がある。ゆえに，本研究では階層間制御符号化方式を用いる。以下では，符号化時の制御方式について述べ，MPEG-2 空間スケーラビリティ方式と対比して提案手法の符号化方式について述べる。

まず、図2および図3に、階層間制御によるMPEG-2空間スケーラビリティ符号化器と提案方式による符号化器を示す。階層間制御符号化方式は、動きベクトル、マクロブロックタイプ、量子化係数決定時に、一方の層のパラメータに依存させて、もう一方の層のパラメータを決定する。

まず、動きベクトルを制御する場合、高解像度層の動きベクトルを低解像度層で領域に対応する4つのベクトルの中間値を利用する。これは、低解像度層の動きベクトルを高解像度層で用いる場合、高解像度層での動きベクトル精度が落ちるためである。また、マクロブロックタイプの決定は低解像度層の1つのマクロブロックに空間的に対応する高解像度層の4つのマクロブロック領域に対して、1つのタイプを決定し、これを低解像度層で用いることとする。これらのマクロブロックタイプを同一とすることで、発生する係数の特性が同じとなり、変換係数上で差分をとることが可能となる。

量子化係数の制御では、TM5におけるステップ1ではフレームに用いる目標符号量の算出を行い、ステップ2にてのスライスアプローチを用いる。これは、低解像度層で決定した量子化パラメータをスライス毎に決定される階層間量子化係数比率によって、高解像度層の量子化パラメータを制御する。

これらのことから、図2のMPEG-2空間スケーラビリティ方式では、マクロブロックタイプとしては、低解像度層では、イントラ予測、時間予測、高解像度層では、空間予測、時間予測、空間+時間予測がある。これらのマクロブロックタイプは、低解像度層、高解像度層で異なってもよい。なぜならば、本方式では、階層間の差分処理を空間領域において行うため、階層毎のマクロブロックタイプに影響されないからである。また、量子化係数制御におけるTM5のスライスアプローチによって、高解像度層の量子化DCT係数値が大きくなる可能性がある。これは、階層間で空間解像度が異なるため、発生する係数に相関が現れないためである。

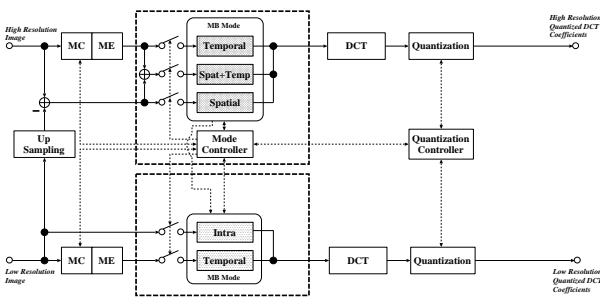


図2: 空間スケーラビリティ符号化方式

一方、図3の提案方式では、マクロブロックタイプとして、高解像度層、低解像度層ともに、イントラ、時間

予測の可能性がある。ただしこれらの予測は空間領域で対応する位置の階層間のマクロブロックで同一でなければならぬ。これは、階層間で予測方式が異なると量子化DCT係数の差分処理が意味をなさなくなるためである。よって、予測方式を決定するために必要な、動きベクトルについても、高解像度層のものを用いる必要がある。符号量制御時のTM5スライスアプローチについては、階層間で、空間解像度が異なるため、階層間で量子化DCT係数のAC成分に相関がない。よって、AC成分の予測をする必要がある。この手法についてはシミュレーション実験の実験条件の項目で述べる。

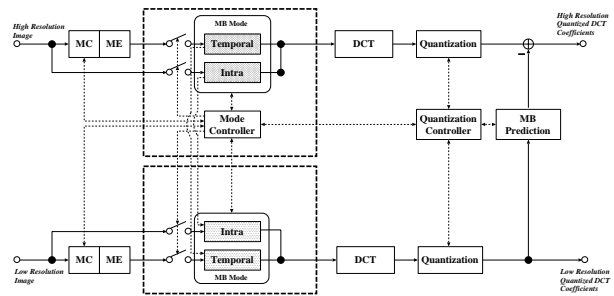


図3: 提案符号化方式

3.3 更新処理器

更新処理器の要求条件としてはビットストリームレベルでの変換を可能とするために可逆変換による更新が必要である、ということが挙げられる。よって高解像度層において、逆量子化、逆DCTを行わない、量子化DCT係数レベルで情報変換を行う必要がある。

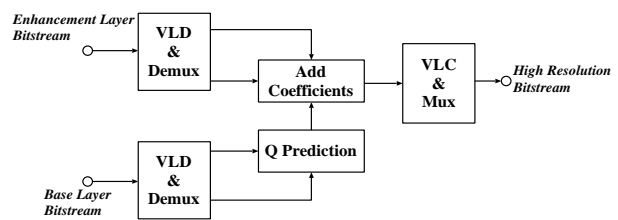


図4: 空間解像度更新スケーラビリティ更新処理器

以上の要求条件を満たす図4に更新処理器のブロック図を示す。すなわち、更新処理器においては、符号化器における上位層ビットストリームの作成手順の逆手順を行う。この際も前節同様、高解像度層のマクロブロック4つ分を低解像度層のマクロブロック1つに対応させ、更新処理を行う。以上のことから本提案方式においては、空間方向における解像度変換処理^[5](例: MPEG-1→MPEG-2)の実現がビットストリームレベルで可能である。更新処

理がなされた高解像度用ビットストリームは、非階層の復号器において再生される。

4. シミュレーション実験

以上の符号化方式において、本研究では、予測方式の違いによる、差分処理における高周波成分の発生符号量への影響について調べる。そこで、符号化制御時の要求条件として、空間解像度更新スケーラビリティにおける符号化時の制御方式を以下ように定める。

- マクロブロックタイプの決定を上位層で行い、階層間の空間領域が対応するマクロブロックタイプを同一とする。すなわち、図5に示すような階層間位置関係のマクロブロックタイプをそろえる。
- DCT 係数の高周波成分を見るという観点から、図5の量子化係数 (MQ) は全て1とし、量子化パラメータ制御による符号量制御は行わない。
- 今回、提案方式におけるイントラもしくは時間予測、MPEG-2 空間スケーラビリティ方式における空間予測、時間予測のみの性質を調べるため、差分処理により発生する高周波成分は残しておかなければならない。そこでイントラマクロブロックにおける DC 予測、ノンイントラマクロブロックにおける有意ブロックパターンは用いないこととする。

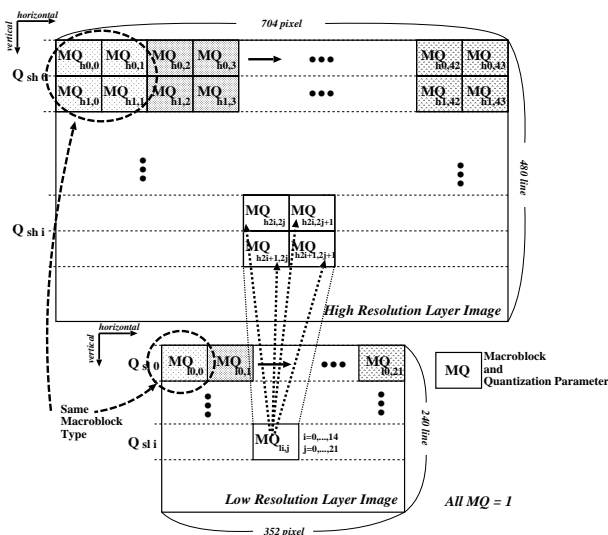


図 5: 符号化制御時のマクロブロックの対応関係

4.1 実験条件

文献 [1] における空間スケーラビリティ方式と本稿で提案する方式を、予測方式によって、量子化 DCT 係数

成分が、特に高周波成分においてどのような特徴があるかを比較し、比較し、考察した。

実験条件を表1に示す。提案方式のマクロブロックの予測方式は、イントラ予測もしくは時間予測である。ただし、提案方式では、これらの予測により算出された階層毎の量子化 DCT 係数値の差分をとる。なお、MPEG-2 空間スケーラビリティの予測方式は、時間予測、空間予測、空間+時間予測である。

本実験では、手法別に同じマクロブロック位置の発生符号量を予測別に調べた。ゆえに、比較する予測方式は、前者を提案方式、後者を MPEG-2 空間スケーラビリティ方式とすると、高解像度層の予測方式はイントラ対空間、イントラ対時間、イントラ対時間+空間、時間対空間、時間対時間、時間対時間+空間の6通りである。これらの予測方式の組合せがある画像領域の、ある1マクロブロックの発生符号量を調べた。

また、提案方式の量子化 DCT 係数予測方式として、手法 A として低解像度層の1つのマクロブロックを高解像度層の4つのマクロブロックに対応させる手法と、手法 A' として、図6のように、低解像度層の量子化 DCT 係数ブロックに逆 DCT を施し、ピクセルの面積を縦横2倍にしたのち、8x8の4領域に対して DCT を施したマクロブロックと高解像度層マクロブロックとの差分をとる手法を用いた。

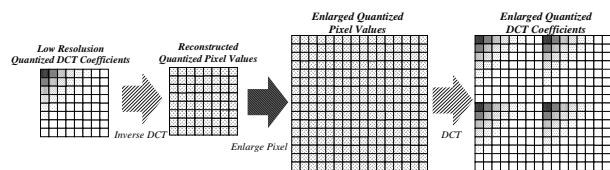


図 6: 低解像度層量子化 DCT 係数ブロックの拡大

表 1: 実験条件

画像フォーマット	ITU-R BT.601 4:2:0
量子化パラメータ	1 に固定
階層構造	高解像度層 704 [pel] × 480 [line] 低解像度層 352 [pel] × 240 [line]
手法 A 手法 A'	提案 (単純差分) 方式 提案 (量子化 DCT 係数予測) 方式
手法 B	MPEG-2 方式
使用ピクチャ	I および P ピクチャ
テストシーケンス	Flower Garden

表 2: イントラ予測 (手法 A/手法 A') と空間予測 (手法 B) の 1 マクロブロック符号量

手法別	符号量 [bit]			
	Y	Cb	Cr	Total
手法 A	1,685	292	268	2,245
手法 A'	1,319	241	245	1,805
手法 B	1,431	288	270	1,989

表 3: イントラ予測 (手法 A/手法 A') と時間予測 (手法 B) の 1 マクロブロック符号量

手法別	符号量 [bit]			
	Y	Cb	Cr	Total
手法 A	1,721	341	255	2,317
手法 A'	1,355	248	195	1,798
手法 B	1,912	483	431	2,826

表 4: イントラ予測 (手法 A/手法 A') と時間+空間予測 (手法 B) の 1 マクロブロック符号量

手法別	符号量 [bit]			
	Y	Cb	Cr	Total
手法 A	2,006	307	287	2,600
手法 A'	1,972	266	289	2,527
手法 B	1,988	311	309	2,608

表 5: 時間予測 (手法 A/手法 A') と空間予測 (手法 B) の 1 マクロブロック符号量

手法別	符号量 [bit]			
	Y	Cb	Cr	Total
手法 A	2,167	423	414	3,004
手法 A'	2,027	372	345	2,744
手法 B	1,649	326	309	2,284

表 6: 時間予測 (手法 A/手法 A') と時間予測 (手法 B) の 1 マクロブロック符号量

手法別	符号量 [bit]			
	Y	Cb	Cr	Total
手法 A	2,150	445	382	2,977
手法 A'	1,799	406	327	2,532
手法 B	1,710	407	279	2,396

4.2 実験結果

高解像度層における提案手法および MPEG-2 空間スケーラビリティ手法の各予測方式の違いによる 1 マクロブロックの発生符号量を表 2~表 7 に示す。表中で手法 A は、階層間量子化 DCT 係数の単純差分による符号化、

表 7: 時間予測 (手法 A/手法 A') と時間+空間予測 (手法 B) の 1 マクロブロック符号量

手法別	符号量 [bit]			
	Y	Cb	Cr	Total
手法 A	2,385	445	441	3,271
手法 A'	2,373	429	418	3,220
手法 B	2,076	363	396	2,835

手法 A' は差分処理時に低解像度層の量子化 DCT 係数領域を拡大による予測を用いた差分符号化方式、手法 B は MPEG-2 空間スケーラビリティ方式である。ただし、イントラ予測 (手法 A/手法 A') と空間予測 (手法 B) は I ピクチャの最も左上のマクロブロック、他の予測方式の比較は、P ピクチャを用いた。用いた P ピクチャのマクロブロックタイプのパターンを図 7 示す。図 7 において、提案方式は色が濃くなる毎に、時間予測、イントラ予測となる。MPEG-2 方式は同様に、時間予測、時間+空間予測、空間予測となる。

提案手法のイントラ予測と MPEG-2 空間スケーラビリティの各予測における符号量を見ると (表 2, 表 3, 表 4), 単純差分による提案符号化方式 (手法 A) は、AC 係数成分の予測ができていないために、発生符号量が最も多くなった。一方、低解像度層の DCT 係数領域拡大による量子化 DCT 係数予測を用いた、提案方式 (手法 A') がいずれの場合においても発生符号量が少ないという結果を得た。これは、提案方式の量子化 DCT 係数予測では、逆量子化せずに DCT 領域を拡大しているため、逆量子化後に予測を行う MPEG-2 空間スケーラビリティ方式 (手法 B) に比べ、係数の精度を保っているからであると考えられる。

一方、提案手法の時間予測と MPEG-2 空間スケーラビリティの各予測における符号量を見ると (表 5, 表 6, 表 7), イントラ予測の場合に比べ発生符号量が多くなっており、手法 A/手法 A' のいずれも手法 B より発生符号量が多い。これは、提案手法 A および A' では、既に時間予測により生成された差分画像同士を量子化 DCT 係数領域で引き算するので、高解像度層の高周波領域には立たなかった AC 係数が低解像度層で立ってしまい差分をとると符号量が増大するためである。このような場合に、提案方式において、ある周波数領域から高周波の成分は時間予測のみで符号化するという手法を用いることで係数予測の失敗を防ぐことができると考えられるが、この点については今後の課題である。

以上のことから、量子化 DCT 係数予測による提案方式では、動き量の大きな画像、すなわち、Flower Garden シーケンスでは木の領域等において選択されるイントラモードにおいて、階層間のマクロブロックを対応する領域で同一として差分符号化する手法が有効であるといえ

る。また，時間予測が多い動き量の少ない画像に対して，高周波成分の差分をとる領域についての検討は今後の課題である。また，量子化 DCT 係数予測について，DCT 領域の画像拡大法^[6]や，DCT の係数行列の高速変換^[7]を応用した手法などについて検討する予定である。

5. まとめ

本稿では，新たなスケーラビリティ方式として，スケーラビリティ機能をストリームレベル，すなわち可逆変換による解像度変換が可能な更新スケーラビリティについて提案し，特に本稿では，ビットストリーム変換のための新しい空間スケーラビリティアルゴリズムとして，空間解像度における更新スケーラビリティの処理手順を述べ，シミュレーション実験にてマクロブロック単位での発生符号量について考察し，量子化 DCT 係数予測を用いた提案方式において，動き量の多い画像，すなわちイントラ予測に対する有効性を示した。

最後に，本研究の一部は，総務省戦略的情報通信研究開発推進制度を活用して行いました。深く感謝いたします。

参考文献

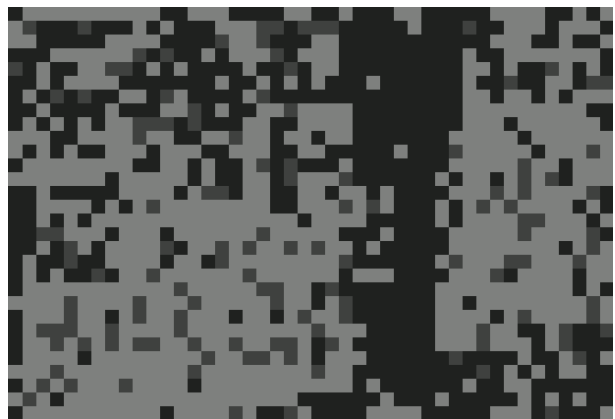
- [1] ISO-IEC 13818-2, International Standard: "Information Technology – Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Recommendation H.262" (1995).
- [2] G. Morrison: "Video Transcoders with Low Delay", IEICE Trans. Commun., **E80-B**, 6, pp. 963–969 (1997).
- [3] 笠井 裕之, 富永 英義, 花村 剛, 亀山 渉: "低遅延 MPEG-2 ビデオトランスコーダ符号量制御方式", 信学論, **J83-B**, 2, pp. 151–164 (2000).
- [4] 児玉 明, 富永 英義: "動画像ビットストリームスケーラビリティとその評価", 信学論, **J80-B-I**, 2, pp. 98–105 (1997).
- [5] Y. Altunbasak, A. J. Patti and R. M. Mersereau: "Super-Resolution Still and Video Reconstruction From MPEG-Coded Video," IEEE Trans. Circuit Syst. Video Technol., **CSVT-12**, 4, pp. 217–226, (2002).
- [6] 新堀 英二, 高木 幹雄: "DCT を用いた Gerchberg-Papoulis の反復法を適用した高画質画像拡大", 信学論, **J76-D-II**, 9, pp. 1932–1940 (1993).
- [7] 加藤 晴久, 佐野 卓, 中島 康之: "DV 符号化情報を利用した MPEG-2 I-picture への高速変換に関する研究", PCSJ2002, P-2.10, pp. 27–28 (2002).



(a) 原画像



(b) 提案方式



(c) MPEG-2 空間スケーラビリティ方式

図 7: マクロブロックパターン (Flower Garden, P-picture)