

|||||
 ショートノート
 |||||

F-TPP:ファジィ推論を用いた TPP 画像圧縮法[†]

何 立風^{*1} 王 立松^{*2} 巢 宇燕^{*3}
 中村 剛士^{*4} 伊藤 英則^{*4}

本論文では、三角平面パッチ (Triangular Plane Patch) を用いた画像圧縮アルゴリズム (TPP 圧縮法) に、ファジィ推論を取り入れた F-TPP 圧縮法 (TPP with Fuzzy reasoning) について述べる。TPP 圧縮法は xy 平面上のある正方領域 (ブロック) 内の輝度曲面を2枚の三角平面パッチによって近似する。その際、ブロックの4頂点の輝度値は、原画像上において、4頂点と同一座標に位置する画素の輝度値をそのまま用いる。しかし、一般に、そうした三角平面パッチは、原画像の輝度曲面の近似に適切であるとはいえない。そこで、本稿では、ブロック内の一定範囲に位置する画素の輝度値を考慮し、ファジィ推論によって、三角平面パッチの4頂点の輝度値を調整し、適切な三角平面パッチによって輝度曲面の近似を試みる。我々は、F-TPP 圧縮法をワークステーション上に実装し、いくつかの実験を行なった。それらの実験において、F-TPP 圧縮法は、TPP 法に比べて圧縮率及び平均変形において、優れた性能を示し、本提案手法の有効性を示すことができた。

キーワード：画像圧縮，ファジィ推論，三角平面パッチ，輝度曲面

1. まえがき

画像データは情報量が極めて大きいことから、記録のために沢山のスペースを必要とする。また、膨大な情報量のデータは、送信にも多くの時間を要する。このため、画像圧縮は、画像処理、情報通信など多くのコンピュータ・サイエンス分野における重要な課題の1つに位置付けられ、さまざまなアプローチによる研究がなされている [3, 4, 5]。その代表的な研究の1つに、山崎らが提案した三角平面パッチ (Triangular Plane Patches) を用いた圧縮方法 [8]、簡単かつ有効な画像圧縮手法の1つとして注目されている。

画像圧縮の目的は、画像コーディング処理を用いて、可能な限り少ない情報量で原画像を近似表現することにある。TPP 圧縮法では、グレースケール画像を、2次元 xy 平面上に与えた輝度値としてとらえ、3次元空間内の立体的な曲面として表現する。この xy 平面を一

定の正方形領域 (ブロック) で区切ったとき、ブロック内の輝度値を2枚の三角平面パッチ¹⁾によって近似することによって、画像圧縮の目的を達成する (図1を参照)。

しかし、TPP 圧縮法では、三角平面パッチを構成するとき、ブロックの4頂点の輝度値は、原画像上の同一座標に位置する画素が保持する輝度値をそのまま用いる。そのため、三角平面パッチの構成が、曲面近似に適切でない場合が多く、TPP 法は無駄なブロック分割を行う場合がみられる。これについては、後節において、詳しく述べる。

本論文では、このような TPP 圧縮法の問題点を解決するために、ファジィ推論を用いた TPP 圧縮法を提案する。本方法では、あるブロックに対して、ブロック内の関連画素が保持する輝度値を考慮し、近似に適切な三角平面パッチを求める。そのため、無駄な分割を抑えることができ、圧縮効率の向上は当然ながら、平均変形の減少も期待できる。

なお、本論文の構成は以下のとおりである。まず、2章では、TPP 圧縮法について簡単に述べる。さらに、3章では、ファジィ推論を用いた三角パッチの構成法について述べる。4章では、いくつかの実験により、我々が提案する方法の有効性を示し、5章で、今後の課題とその解決法について検討する。

[†] F-TPP: TPP Image Compression with Fuzzy Reasoning
 Lifeng HE, Lisong WANG, Yuyan CHAO, Tsuyoshi NAKAMURA and Hidenori ITOH

*1 愛知県立大学 情報科学部
 Faculty of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

*2 ㈱リコー 画像システム本部
 Imaging System Business Group, Ricoh co., LTD

*3 名古屋大学 人間文化情報学工学研究科
 Graduate School of Human Information, Nagoya University

*4 名古屋工業大学 知能情報システム学科
 Dept. of Intelligence and Computer Science, Nagoya Institute of Technology

¹⁾ [8]では、ブロックを四つの三角平面パッチで近似する方法も検討していたが、圧縮効率が2枚の三角平面パッチを用いる方法より低いため、本論文では検討しないものとする。

2. TPP 圧縮法

本節では、文献[8]において提案している三角平面パッチを用いたデジタル画像データの圧縮方法の概要を述べる。

2.1 処理手続き

3次元の直交座標系 xyz 空間の z 軸方向に輝度値をとることによって、2次元 xy 平面上の領域 A に与えられる画像は $f(x,y)$ と表記でき、画像を3次元空間内の立体的な曲面と考えることができる。TPP 圧縮法による画像圧縮処理の流れを以下に示す。

カレントブロック(初期状態では、与えられた画像の xy 平面上の全領域)に対して

- (1) 対角線でカレントブロックを2つの三角形領域に分割し、各三角形の3頂点が保持する輝度値から2枚の三角平面パッチを求める。
- (2) これらの三角平面パッチで原画像を近似した場合の誤差を計算する。誤差が指定した閾値以上であるとき、ステップ1へ戻り、分割する対角線の変更、再度、誤差の計算をする。
- (3) 誤差が閾値以下であれば、このブロックに対する処理を終了する(このようなブロックを最終ブロックと呼ぶ)。そうでない場合、すなわち、誤差が対角線に関わらず、閾値以上であれば、ブロックを十字型に4等分割し、4つのサブブロックを得る。得られた各サブブロックに対して、以上の手続きを再帰的に実行する。

当然ながら、ブロック分割の操作に伴って誤差は小さくなる。特に、最小ブロック($2 \times 2 = 4$ ピクセル)に対しては、誤差がゼロであることが分かる。したがって、この手続きは必ず有限時間内に終了する。

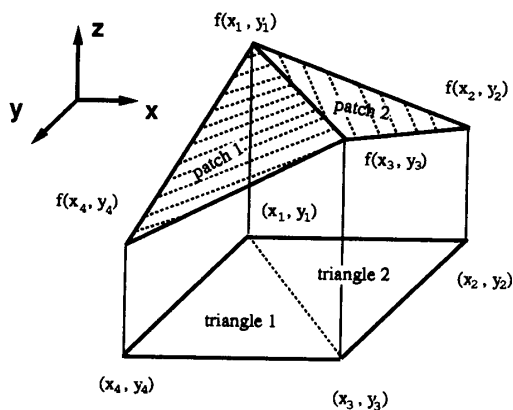


図1 2枚の三角平面パッチによるブロック内輝度値の近似

画像が与えられた xy 平面をブロックで4等分割するとき、分割した状態は4分木を用いて表現される。図2にその例を示す。各最終ブロックは4分木の葉と1対1に対応する。このように4分木によって表現することにより、画像を効率よく保存することができる[1,6]。

圧縮後のデータの総ビット数 T 、原画像の総ビット数が T_0 とすると、圧縮率 c は

$$c = T/T_0 \cdot 100 \text{ [\%]} \quad (1)$$

と表現する。すなわち、圧縮率 c が小さいほど、原画像と比較して、圧縮後のデータ量は小さくなる。

また、三角平面パッチによる近似値と原画像の輝度値との間の誤差を信号対雑音比(SN比) s で測定する。 xy 平面上において、ある三角形領域 T の面積を A 、 T 内の総画素数を N 、 T 上の画素 (x_i, y_i) ($1 \leq i \leq N$) の輝度値を $f(x_i, y_i)$ 、三角平面パッチによる近似値を $g(x_i, y_i)$ とするとき、平均2乗誤差 e^2 は

$$e^2 = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^N [f(x_i, y_i) - g(x_i, y_i)]^2 \quad (2)$$

と表され、 s については

$$s = -20 \log_{10}(e/p) \text{ [dB]} \quad (3)$$

によって計算する。ここで、 p は輝度値 f, g の取り得る最大値を表す。

なお、圧縮した画像データの記録方法及び圧縮された画像の復元方法[6]については、ここでは省略する。

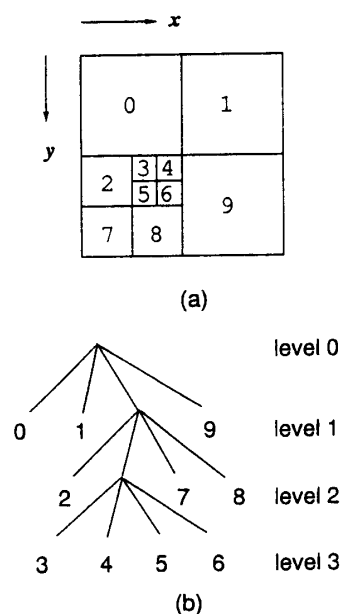


図2 画像のブロック分割(a)と四分木による圧縮画像の表現(b)

3. ファジィ推論を用いた TPP 圧縮法-F-TPP 圧縮法

TPP 圧縮方法から分かるように、圧縮率を向上するには、4分木の葉の数、すなわち、最終ブロックの数を減らすことが効率的である。したがって、ブロックの分割操作は極力抑えた方がよい。

TPP 圧縮法では、三角平面パッチを構成するとき、ブロックの4頂点の輝度値に原画像上の同一座標が保持する輝度値をそのまま用いる。そのため多くの場合、構成した三角平面パッチは原画像の曲面を効率的に近似したものであるとはいえず、適切なパッチであるとは言いがたい。そこで、本論文では、ファジィ推論[9]を用いることによって、TPP 圧縮法に比べ適切な三角平面パッチを構成可能な TPP 圧縮法、F-TPP (TPP with Fuzzy reasoning) 圧縮法を提案する。

F-TPP 圧縮法では、ブロックの4頂点の画素がとる輝度値を、そのブロック内の関連画素を考慮し、ファジィ推論を用いて調整することによって、適切な三角平面パッチを獲得する。

3.1 ファジィ推論について

あるブロックの1頂点の輝度値を調整するためには、この頂点周辺の画素の影響を計算すべきである。この影響の程度は頂点と他の画素間の距離²に関連があると考えられる。直感的に、ある頂点に対して、近傍に位置する画素の影響は高いが、頂点の遠方に位置する画素の影響は低い。このような推論はファジィ推論を用いて簡単に実現できる。表1にファジィ推論ルールを示す。

なお、本稿では、後件部を簡略化した推論法[2]を使用してブロックの頂点がとる輝度値を調整する。ファジィ推論ルールの総数を m としたとき、 $\sigma_1, \dots, \sigma_m$ をファジィ推論ルールの後件部の定数と定める。

表1 ファジィ推論ルール

if 頂点と画素間の距離	then 影響度
非常に近い (VC)	非常に強い (VS)
近い (CL)	強い (ST)
中間 (ME)	中間 (ME)
遠い (FA)	弱い (WE)
非常に遠い (VF)	非常に弱い (VW)

²: 本論文では、ユークリッド距離を用いる。

3.2 輝度値の調整

あるブロックの4頂点それぞれ A, B, C, D 、ブロックの1辺の長さ³を L とする。以下、頂点画素 $u (u=A, B, C, D)$ に対する輝度値の調整方法について述べる。

・距離の正規化

頂点画素 u の輝度値を調整するため、 u と隣接した一定範囲に存在する他の画素が保持する輝度値を考慮する。この範囲を R としたとき、経験から L に対して、 R を表2に示すように定める。

ある1ブロック内に存在し、かつ頂点画素 u を中心とした半径 R の円内に位置する任意の画素 i と、 u の間の距離を $D(u, i)$ とし、これを $[0, 1]$ の範囲に正規化した場合、正規化距離 d_i は、

$$d_i = D(u, i) / R \quad (4)$$

と表現される。

・適合度の計算

d_i に対する各ファジィルールの前件部の適合度 $\mu_k (d_i)$ を求める。 ($k=1, 2, \dots, m$)

・適合度 $\mu_k (d_i)$ をもとに、各ファジィルールの推論結果 R_k を求める。

$$R_{ik} = \mu_k (d_i) \cdot \sigma_k \quad (5)$$

・影響度 ID (Influence Degree) の計算

ブロック内にある画素 i の u に対する影響度 ID_{iu} は、

$$ID_{iu} = \frac{\sum_{k=1}^m R_{ik}}{\sum_{k=1}^m \mu_k (d_i)} \quad (6)$$

と表現される。

・輝度値の調整

ブロックの頂点 u がとる輝度値については、次式を用いて調整する。なお、ここでは、あるブロック内に存在し、かつ頂点画素 u を中心とした半径 R の円内に位置する任意の画素 i の総数を N と仮定した。

表2 隣接範囲 R

$L(pixel)$	3	7	15	31	63 以上
$R(pixel)$	1	2	3	5	7

³: サイズ $2^k \times 2^k$ のブロックの1辺の長さは $2^k - 1$ である。

$$f(x_u, y_u) = \frac{\sum_{i=1}^N ID_{iu} \cdot f(x_i, y_i)}{\sum_{i=1}^N ID_{iu}} \quad (7)$$

3.3 F-TPP 圧縮法のアルゴリズム

F-TPP 圧縮法のアルゴリズムを以下に示す。カレントブロック(初期状態では、与えられた画像の xy 平面上の全領域)に対して

1. ファジィ推論によってブロックの4頂点がとるべき輝度値を調整する。
2. ブロックを対角線で2つの三角形領域に分割し、各三角形の3頂点の調整後の輝度値から2枚の三角平面パッチを求める。
3. 求めた三角平面パッチを用いて、原画像を近似する誤差を計算する。誤差が閾値以上であるとき、ステップ2へ戻り対角線の変換を変えて、再度計算する。
4. 誤差が閾値以下であれば、このブロックに対する処理を終了する。そうでない場合、すなわち、誤差が対角線の変換に関わらずある閾値以上であれば、ブロックを4等分し、4つのサブブロックを得る。得られた各サブブロックに対して、以上の手続きを再帰的に実行する。

4. 実験結果

SunSPARCstation5/85MHz に提案手法である F-TPP 圧縮法を実装し、いくつかのデジタル画像を使用して画像圧縮の実験を行った。その結果、F-TPP 圧縮法は、圧縮率および平均変形の2点において⁴、TPP 圧縮法に比べ良好な結果を得ることができた。

ここでは、代表的な2つの画像に対する実験結果を示す。一つは Lena 顔画像であり、もう一つは Einstein の顔画像である(図4を参照)。いずれも画像サイズ 256×256、輝度値0~255までをとる濃淡値画像である。

各実験には、ファジィ推論ルールの前件部として、図3に示す三角関数で表現したメンバーシップ関数を用いた。また、後件部定数として、表3に示す定数を用いた。

F-TPP 法と TPP 圧縮法の比較評価として、平均変形(average absolute distortion)⁵、圧縮率および実行時間を測定した。

⁴: 一般的に SN 比で評価すべきだが、TPP と F-TPP 圧縮法では、与えられた SN 比で圧縮を行うため、同じ SN 比において圧縮率および平均変形で評価する。

⁵: 画像の総画素数は M 、ある点 $i (1 \leq i \leq M)$ において原画像の輝度値は $f(x_i, y_i)$ 、圧縮データから復元した画像の輝度値は $g(x_i, y_i)$ とすると、平均変形 A は次の式で定義する。

$$A = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |f(x_i, y_i) - g(x_i, y_i)|$$

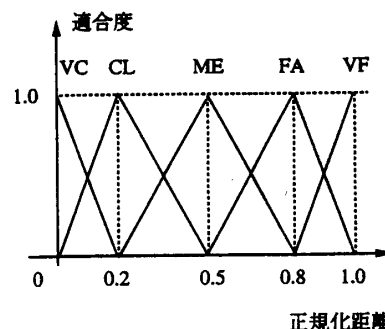


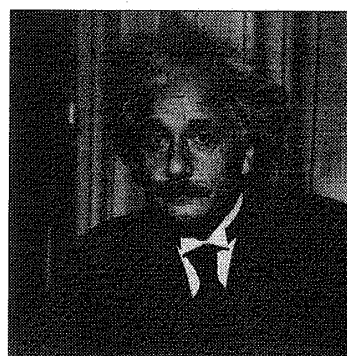
図3 前件部メンバーシップ関数

表3 ファジィ推論ルールの後件部定数

影響度	VS	ST	ME	WE	VW
定数	0.95	0.85	0.45	0.10	0.05



(a) Lena 画像



(b) Einstein 画像

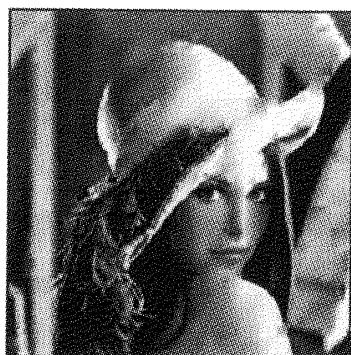
図4 実験用原画像

Lena 画像と Einstein 画像を入力画像データとして用いた実験結果をそれぞれ表4と表5に示す。また、閾値として許容誤差を23.0, 29.0dBに設定した場合の圧縮データから再構成した画像をそれぞれ図5と図6に示す。

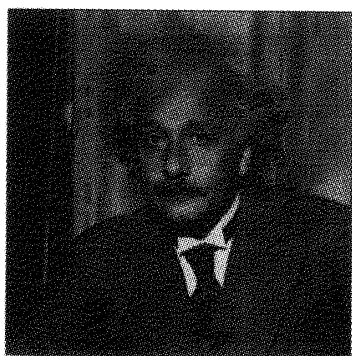
実験結果から分かるように、ファジィ推論を利用し、ブロックの頂点に隣接する画素の輝度値を考慮して、三角平面パッチを調整する F-TPP 圧縮法は、TPP 圧

表4 Lena 画像の実行結果

許容誤差 SN比 (dB)	平均変形		圧縮率 (%)		実行時間 (sec)	
	TPP	F-TPP	TPP	F-TPP	TPP	F-TPP
23.0	6.30	5.13	24.38	20.86	8.58	10.43
26.0	4.71	3.75	33.90	28.42	9.95	12.38
29.0	3.51	2.89	41.58	36.78	11.0	13.26
32.0	1.69	1.37	58.33	53.51	11.18	14.97



(a) Lena 画像



(b) Einstein 画像

図5 SN=23.0 dB で得られた復元画像

縮法に比べ、平均変形の減少と圧縮率の向上を実現した。一方、実行時間については、F-TPP 圧縮法はファジィ推論に計算時間がかかるため、TPP 圧縮法に比べ、実行時間が增加する。

5. むすび

本論文では、TPP 画像圧縮法にファジィ推論を組み込んだF-TPP 圧縮法を提案した。また、このF-TPP 圧縮法を計算機上に実装し、実験を行ない、有効性を示した。

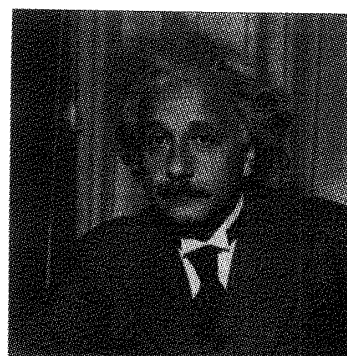
今後の課題としては、つぎの3点を挙げることができる。1つ目は、対象画像のテクスチャによる隣接範囲の調整や、ファジィメンバーシップ関数のパラメータのチューニングによって平均変形と圧縮比率のさらなる改善を目指すことである。2つ目は、他の方法(例えば、一次のスプラインやベーゼパッチなど)と比較

表5 Einstein 画像の実行結果

許容誤差 SN比 (dB)	平均変形		圧縮率 (%)		実行時間 (sec)	
	TPP	F-TPP	TPP	F-TPP	TPP	F-TPP
23.0	4.88	3.61	24.49	21.92	9.23	12.48
26.0	3.64	2.74	33.42	27.52	9.66	13.52
29.0	2.81	2.33	45.51	40.26	10.58	15.87
32.0	1.45	1.21	69.54	65.25	11.62	20.13



(a) Lena 画像



(b) Einstein 画像

図6 SN=29.0 dB で得られた復元画像

する。3つ目は、F-TPP アルゴリズムを並列化し、処理の高速化を目指す。

参考文献

- [1] I. Gargantini: "An effective way to represent quadtree", *Comm. ACM*, Vol.25, No.12, pp.905-910 (1982).
- [2] 水本: ファジィ推論(1), *日本ファジィ学会誌*, Vol.4, No.2, pp.256-264 (1992).
- [3] N. M. Nasrabadi and R. A. King: "Image coding using vector quantization: A review", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.36, pp.957-971 (1988).
- [4] M.T. Orchard and C.A. Bouman: "Color Quantization Images", *IEEE Trans. Sp.*, Vol.39, pp.2677-2690 (1991).
- [5] E. A. Riskin, T. Lookabaugh, P. A. Chou. and R. M. Gray: "Variable rate vector quantization for medical image compression", *IEEE Trans. Med. Imaging*, Vol.9, pp.290-298 (1990).

- [6] H. Samet: "The quadtree and related hierarchical data structures", Computing Surveys, Vol.16, No. 2, pp.187-260 (1984).
- [7] T. Takagi, M. Sugeno: "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control", IEEE Trans. Syst., Man & Cybern., Vol.SMC-15, No.1, pp.116-132 (1985).
- [8] 山崎, 長谷川, 五十嵐: 三角平面パッチを用いた多階調画像データの圧縮, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J75-D-II, No.6, pp.1038-1047 (1992).
- [9] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets", Inform. Contr., Vol.8, pp.338-353 (1965).

[問い合わせ先]

〒480-1198

愛知県愛知郡長久手町

愛知県立大学 情報科学部

何立風

TEL: 0561-64-1111(内線3311)

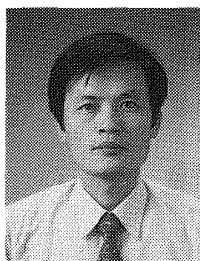
FAX: 0561-64-1108

Email: helifeng@ist.aichi-pu.ac.jp

(1998年7月16日 受付)

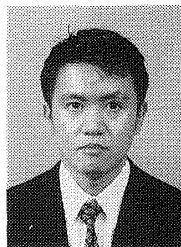
(1998年12月10日 再受付)

著者紹介



何立風 (かりふう)

愛知県立大学 情報科学部地域情報学科
1982年中国西北軽工業学院自動制御学科卒業。同年同大学助手, 1987年同講師。1997年名古屋工業大学工学研究科博士後期課程電気情報工学専攻修了。工学博士。1998年愛知県立大学情報科学部地域情報科学科講師, 1999年同助教授。人工知能, 定理証明, マルチエージェント分散計算, 画像処理, ファジィ推論に関する研究に従事。情報処理学会会員。



中村 剛士 (なかむら つよし)

名古屋工業大学 知能情報システム学科
1993年名古屋工業大学工学部電気情報工学科卒業。1998年同大学院博士後期課程修了。同年, 名古屋工業大学知能情報システム学科助手, 現在に至る。感性情報処理, ファジィ推論等に興味を持つ。博士(工学)。情報処理学会, 日本ファジィ学会各会員。



王立松 (おう りつしょう)

株式会社リコー画像システム本部プリンタ事業部

1995年名古屋工業大学大学院電気情報工学科修士課程修了。1998年同大学院電気情報工学科博士課程修了。工学博士。1998年4月より(株)リコーに勤務。曖昧知識処理, ファジィ制御論理等に興味を持つ。



伊藤 英則 (いとう ひでのり)

名古屋工業大学 知能情報システム学科
1974年名古屋大学大学院工学研究科博士課程電気電子専攻満了。工学博士号取得。1974年日本電信電話公社横須賀研究所勤務。1985年(財)新世代コンピュータ技術開発機構出向。1989年名古屋工業大学教授。現在知能情報システム学科所属。この間, 数理言語理論, 計算機ネットワーク通信, OS, 知識ベースシステムなどの研究開発に従事。電子情報通信学会, 情報処理学会, 人工知能学会, 形の科学学会, 日本ファジィ学会各会員。



巢宇燕 (そう ゆえん)

名古屋大学大学院人間情報文化工学研究科

1984年中国西北軽工業学院機械製造工学科卒業。現在, 名古屋大学大学院人間情報文化工学研究科博士後期課程在学中。画像処理および図面理解, CAD, 定理証明等に興味を持つ。人工知能学会学生会員。

F-TPP : TPP Image Compression with Fuzzy Reasoning

by

Lifeng HE, Lisong WANG, Yuyan CHAO, Tsuyoshi NAKAMURA and Hidenori ITOH

Abstract :

In this paper, we propose an improvement of the digital image compression using Triangular Plane Patches (TPP method). TPP method uses two triangular plane patches to approximate original image's luminance curved surfaces of a block in xy-plane. Since triangular plane patches are constructed according to the original image's luminance values of 4 vertical pixels of the block, they could hardly be suitable ones. Addressing to this problem of TPP method, we use fuzzy reasoning to adjust the luminance values of 4 vertical pixels of a block by considering the influence of some other pixels in the block. In this way, we can derive suitable triangular plane patches for a block by using the adjusted 4 luminance values. Our method has been implemented and experiment results show that the performance of the F-TPP method is better than that of the TPP method.

Keywords : Image Compress, Fuzzy Reasoning, Triangular Plane Patch, Luminance Curved Surface

Contact Address : **Lifeng He**

*Faculty of Information Science and Technology,
Aichi Prefectural University
Nagakute-cho, Aichi-gun, Aichi 480-1198, Japan
TEL : 0561-64-1111 (Ext.3311)
FAX : 0561-64-1108
E-mail : helifeng@ist.aichi-pu.ac.jp*