左右画像で画質差のあるステレオ静止画像における画質推定

Quality Evaluation of Stereoscopic Picture of Disparate Quality in Left- and Right- Picture

正会員 堀田 裕弘[†], 榑田 明[†], 本田 和博[†],
村井 忠邦[†], 正会員 高松 衛[†], 中嶋 芳雄[†]

Yuukou Horita[†], Akira Kushida[†], Kazuhiro Honda[†], Tadakuni Murai[†], Mamoru Takamatsu[†] and Yoshio Nakashima[†]

あらまし 視差補償符号化により、左右画像で画質差が存在するステレオ静止画像の総合画質を推定するための基礎検討として、左右画像それぞれの画質評価値を用いて、ステレオ静止画像の総合画質を推定する方法について検討した。左右画像における低画質画像と高画質画像のそれぞれの主観評価値を説明変数として分散分析を行い、有意と判断された要因を用いて重回帰分析を行うことで、ステレオ静止画像の総合画質を推定した。結果として、低画質画像と高画質画像の主観評価値の線形和で、ステレオ静止画像の総合画質を精度良く近似できることがわかった。また、総合画質に対して、低画質画像は高画質画像よりも約4倍近い影響があることがわかった。

キーワード : ステレオ静止画像, 画質差, 2重刺激劣化尺度法, 分散分析

1. ま え が き

立体画像の研究は、これまでにたくさん行われてきており、次世代映像メディアとしての期待は大きい。近年では、立体ディスプレイの製品化も数多くされてきており、その技術は携帯電話にまで応用されてきている。立体表示技術の発展に伴い、MPEG-2において立体動画像も含めた多視点動画像の符号化方式(MVP)も標準化され、将来の立体テレビ放送を見越した放送品質レベルの画像品質も議論されている。しかしながら、現在普及しているインターネット上で、放送品質レベルの品質を保って通信伝送することは難しく、さらなる情報圧縮を行い、低伝送レートで通信伝送することが必要となってくる。

ステレオ画像の符号化には、左右画像の冗長性を考慮した視差補償符号化が通常用いられる¹⁾。この符号化を用いると、左右画像間で画質劣化の程度に差が生じる場合があり、それをステレオ視した場合には、評価者はステレオ視特有の画質劣化を感じるようになる。よって、符号化されたステレオ画像の画質を推定することも難しくなる。文献²⁾では、左右画像で画質が異なるステレオ動画像と、その2次元動画像の画質を主観評価実験に

よって求めている。これによると、左右画像で画質の異なるステレオ動画像の画質評価値は、左右画像それぞれの画質評価値の平均値で求められると結論づけている。しかし、我々がこれまでに行ってきたステレオ静止画像における実験³⁾では、左右画像のどちらかの画質が極端に悪ければ、画質評価値はかなり低下してしまい、左右画像の画質評価値の平均では評価できないことを示した。また、文献⁴⁾でも立体ハイビジョン動画像に対して類似した検討を行っており、左右のレート配分が極端に異なる場合には、評点がかかなり悪くなることが示されている。これまでの研究報告では、左右画像の画質差が総合画質に与える影響が調査されているが、定量的な議論が充分とはいえない。そこで本論文では、左右で画質の異なるステレオ静止画像の総合画質を、左右画像それぞれの画質評価値から推定する方法について検討し、画質差が総合画質に与える影響を定量的に明らかにした。

2. 主観評価実験

符号化されたステレオ静止画像に対する主観的な品質評価値 MOS(Mean Opinion Score) を求めるために、DSIS(Double-Stimulus Impairment Scale) 法に準拠した主観評価実験を行った。評定者の疲労を極力少なくするために、メガネを装着しない立体ディスプレイである10インチ型3D立体ビジョンを用いた⁵⁾。今回行った評価実験の実験条件を表1に示す。また、評価実験で用いた5段階評価尺度を表2に示す。

2002年11月12日、画像符号化シンポジウム(PCSJ2002)で発表
2003年8月4日受付、2003年10月8日再受付、2003年10月30日採録
[†] 富山大学 工学部

(〒930-8555 富山市九福 3190, TEL 076-445-6758)

[†] Faculty of Engineering, Toyama University
(3190, Gofuku, Toyama-shi, 930-8555, Japan)

表 1 評価実験の実験条件
Viewing conditions.

評価画像	13 種類 (LR:320×480 画素)
符号化方式	JPEG 符号化 (QS:6 種類)
視距離	立体に見える距離 (約 70cm)
照明	なし (準暗室)
評定者数	15 名
評価方法	2 重刺激劣化尺度法

表 2 5 段階妨害尺度
ITU-R impairment scale.

品質	評価語
5	(劣化が) わからない
4	(劣化が) わかるが気にならない
3	(劣化が) 気になるが邪魔にならない
2	(劣化が) 邪魔になる
1	(劣化が) 非常に邪魔になる

表 3 分散分析表
Result of ANOVA.

要因	自由度	平方和	平均平方	F 値	判定
A : MOS_{hq}	1	7.294	7.294	97.743	**
B : MOS_{lq}	1	19.147	19.147	256.567	**
A×B	1	0.023	0.023	0.306	
残差	633	47.240	0.075		

**:1% 有意 *:5% 有意

符号化方式としては、左右画像に対して JPEG 符号化を用いている。通常、ステレオ画像の符号化には左右画像の冗長性を考慮した視差補償符号化が用いられるが、左右画像に与える画質差を考察するには不都合なので、あえて別々に符号化することにした。WWW 上で公開されている JPEG 符号化ソフト⁶⁾では、ITU 勧告の量子化テーブルの値を全体的にスケーリングすることにより、画質制御を行っている。このソフトでは、画質を表す量として Quality Scale(QS)が用いられ、1~100 の数値で符号化パラメータを表している。今回の評価実験では、MOS の取りうる範囲を広く保つために、6 種類の QS(10,15,27,37,55,79)を採用した。

3. 実験結果

ステレオ静止画像において、画質差を伴った左右画像を入れ替えてステレオ表示しても、それらの総合画質評価値は、変わらないことがこれまでにわかっている³⁾。そこで、左右画像のうち、画質の良い方の画像と悪い方の画像のどちらが、総合画質に強く影響を及ぼしているかを検討する。図 1 にその説明図を示す。低画質画像の符号化パラメータで、左右とも符号化したステレオ画像の MOS を MOS_{lq} 、高画質画像の符号化パラメータで、左右とも符号化したステレオ画像の MOS を MOS_{hq} として、画質差を伴ったステレオ画像 MOS と、 MOS_{lq} と MOS_{hq} の関係を解析する。

表 3 に分散分析表を示す。 MOS_{hq} と MOS_{lq} は、画質差を伴ったステレオ画像 MOS に対して、それぞれ有意な要因効果を示しているが、その交互作用は見られな

図 1 MOS_{hq} と MOS_{lq} の説明図
Explanation of MOS_{hq} and MOS_{lq}

表 4 実験結果
Results of estimation accuracy.

	相関係数	平均誤差	最大誤差	Outlier 比 (%)
MOS_{min}	0.955	0.417	1.875	65.0
MOS_{max}	0.636	1.081	3.917	75.7
MOS_{ave}	0.921	0.380	1.917	47.3
MOS_{mra}	0.972	0.241	1.103	36.4

かった。

次に、この MOS_{hq} と MOS_{lq} を用いて画質差を伴ったステレオ画像 MOS を推定するわけであるが、簡単な以下の 4 種類を検討対象とした。

- ・ MOS_{min} : MOS_{hq} と MOS_{lq} のうち、低い方の MOS を選択
- ・ MOS_{max} : MOS_{hq} と MOS_{lq} のうち、高い方の MOS を選択
- ・ MOS_{ave} : MOS_{hq} と MOS_{lq} の平均値を算出
- ・ MOS_{mra} : MOS_{hq} と MOS_{lq} を用いて回帰式で推定値を算出

相関係数、平均誤差、最大誤差などの結果を表 4 に示す。また、MOS 推定値が MOS の 95%信頼区間内から外れる Outlier 比も示した。これからもわかるように、 MOS_{hq} と MOS_{lq} のうち、低い方の MOS である MOS_{min} で、かなりの精度で画質差を伴ったステレオ画像の MOS が推定できることが伺える。また、 MOS_{hq} と MOS_{lq} の平均値では、 MOS_{min} の場合と平均誤差や最大誤差は同程度であるが、Outlier 比が 65%から 47%へとかなり改善されている。最終的には、 MOS_{hq} と MOS_{lq} を用いて回帰式で推定値を算出した場合が、非常に高精度で MOS 推定が行えている。

MOS_{hq} と MOS_{lq} を説明変数とし、MOS を目的変数として重回帰分析を行った場合の回帰式を式 (1) に示す。 MOS_{EV} は回帰式により推定された MOS 値を表している。また、MOS と式 (1) で得られる MOS_{EV} との関係を図 2 に示す。

図2 MOSと MOS_{EV} との関係
Relation between MOS and MOS_{EV}

図3 画質差と推定誤差との関係
Relation between difference of disparate picture quality and its estimation error.

$$\begin{aligned} MOS_{EV} &= 0.215 * MOS_{hq} + 0.844 * MOS_{lq} - 0.041 \quad (1) \\ &= 1.059 * MOS_{lq} \\ &\quad + 0.215 * |MOS_{hq} - MOS_{lq}| - 0.041 \end{aligned}$$

図より、左右画像で画質差を伴ったステレオ静止画像の総合画質は、低画質画像と高画質画像の線形和で精度よく推定できる。また、この回帰式の回帰係数より、 MOS_{lq} は MOS_{hq} の約4倍近い影響が総合画質にあると考えられる。別な見方をすれば、ステレオ静止画像の総合画質値MOSに対して、画質差 $|MOS_{hq} - MOS_{lq}|$ は、低画質画像の MOS_{lq} の1/5程度の影響しか与えないことがわかる。さらに、今回の評価実験における95%信頼区間の平均値は0.26であったので、 MOS_{hq} と MOS_{lq} との差が0.5以上あった場合に、その差 $|MOS_{hq} - MOS_{lq}|$ は有意となりえるが、実際の総合画質値MOSに対しては、より大きな画質差のみ影響を及ぼすことになると考えられる。

次に、画質差 $|MOS_{hq} - MOS_{lq}|$ と MOS_{mra} とMOSとの誤差をグラフ化した。その結果を図3に示す。図から明らかなように、画質差と推定誤差の間には相関関係はみられなかった。

4. む す び

本論文では、左右画像に画質差を伴ったステレオ静止画像において、左右画像それぞれの画質から立体視された画質を近似する手法について検討した。結果として、低品質画像のMOSと高品質画像のMOSとの線形和で精度良く近似できることがわかった。総合画質は、低画質画像のMOSが高画質画像のMOSの4倍の影響があることがわかった。また、画質差が5段階尺度で0.5以上の差がないと、総合画質MOSに影響を与えないことが示された。

〔文 献〕

- 1) Mark S. Moellenhoff, Mark W. Maier : "Characteristics of disparity-compensated stereo image pair residuals", Signal Processing: Image Communication 14, pp.55-69 (1998)
- 2) Lew B. Stelmach, W. James Tam : "Stereoscopic Image Coding: Effect of Disparate Image-Quality in Left- and Right-Eye Views", Signal Processing: Image Communication 14, pp.111-117 (1998)
- 3) 堀田, 河合, 本田, 村井, 高松, 中嶋 : "符号化されたステレオ静止画像における品質評価", 映像学誌, Vol.55, No.11, pp.1472-1478(2001)
- 4) 片山, 今泉, 野尻, 伊東 : "MPEG2 MVP@HLを用いた立体HDTV符号化画像の主観評価実験", 映像学技報, 22, 19, pp.19-24 (1998)
- 5) 濱岸, 坂田, 山下, 増谷, 井上, 郭, 泰間 : "イメージスプリット方式メガネなし2D/3Dディスプレイ", 映像学誌, 53, 3, pp.466-472 (1999)
- 6) "CJPEG C ソースコード",
<ftp://ftp.uu.net:/graphics/jpeg/jpegsrc.v6a.tar.gz>

ほりた ゆうこう
堀田 裕弘 1984年、長岡技術科学大学工学部電気・電子システム工学課程卒業。1986年、同大学院修士課程修了。同年、富士通(株)入社。1993年、富山大学工学部講師。1998年、同助教授。画質評価、コンピュータビジョン、感性情報処理等の研究に従事。工学博士。正会員。

くしだ あきら
檜田 明 2001年、富山大学工学部電気電子システム工学科卒業。2003年、同大学院博士前期課程修了。同年、日立国際電気入社。在学中、ステレオ画像の画質評価の研究に従事。

ほんだ かずひろ
本田 和博 1995年、富山大学工学部電子情報工学科卒業。1997年、同大学院博士前期課程修了。同年、同大学工学部技官。電磁界、音場、流体の数値シミュレーションに関する研究に従事。

むらい ただくに
村井 忠邦 1967年、富山大学文理学部理学科卒業。同年、同大学工学部教職員。1971年、同助手。1987年、同講師。1990年、同助教授。1991年、同教授。工学博士。電磁界、音場、流体の数値シミュレーションに関する研究に従事。

たかまつ まもる
高松 衛 1995年、富山大学工学部電子情報工学科卒業。1997年、同大学院博士前期課程修了。2000年、同大学院博士後期課程修了。同年、富山大学工学部知能情報工学科勤務。2002年、富山大学工学部講師。視覚情報処理、色彩工学、照明工学等の研究に従事。工学博士。正会員。

なかしま よしお
中嶋 芳雄 1980年、東京工業大学大学院博士課程修了。1993年、富山大学工学部助教授。1998年、同教授。視覚情報工学、人間工学、色彩工学、照明工学、交通視環境工学、都市景観評価・設計に関する研究に従事。工学博士。