

投影面の反射特性を考慮した映像投影手法の検討

神宮司 有加[†] 橋本 直己[†] 千本 万紀子[‡] 佐藤 美恵[‡] 春日 正男[‡] 佐藤 誠[†]

東京工業大学[†] 宇都宮大学[‡]

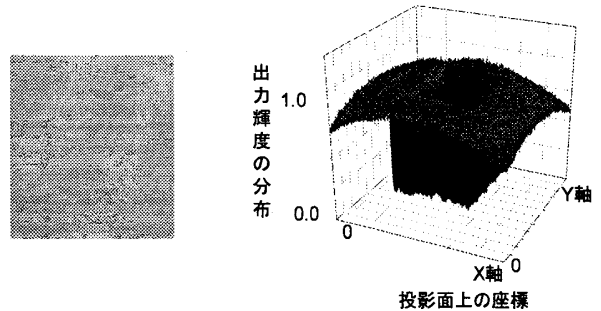
1. はじめに

近年、プロジェクタの需要が高まり、専用スクリーンのみならず、実環境における様々な場所への投影技術に関心が高まっている[1]. 任意面に違和感のない映像を投影するために、投影面の反射特性を考慮した色や輝度に関する様々な補正手法が用いられてきたが[3], 投影面の反射特性を打ち消すために投影像の輝度が低下した結果、コントラストや輝度が低下するという問題があった. これに対し、本研究では入力画像のコンテンツに着目することにより、オリジナル映像の印象を維持しながら、投影された動画像のダイナミックレンジをより拡大する補正処理の実現を試みる.

2. 壁面の反射特性とプロジェクタの応答特性

実環境の任意面に投影する場合、投影像は投影面の色や素材、プロジェクタの光学的特性の影響を受け、単色画像を投影した場合でも、その色や輝度は投影面上で一様でなくなる. そのため、投影された画像を補正するには、投影面の反射特性とプロジェクタの応答関数を求める必要がある.

反射特性は投影面の輝度分布を表したもので、RGB 形式の各入力画素値に対する出力輝度値を投影面の中心を基準として比率化することにより得る. 今回用いた投影面は、白い壁面の中心にレンガ模様のクロスを貼り付けたもので、図 1 に投影面と反射特性を示す. 中心部ではレンガ模様の色の影響により反射率が低くなっているため、輝度が低くなっている (図 1 (b)). また、プロジェクタの入出力の関係は、線形性を示さないため、RGB 形式の各入力画素値に対する出力輝度値を求めることで得る. これらは、先行研究[2]の手法より、RAW 画像データを利用することで求められる. なお、この入出力の関係を表す応答関数は投影面上の座標に依存しない.



(a) レンガ模様のある壁 (b) 壁の反射特性
図 1. 投影面の反射特性

3. 補正アルゴリズム

プロジェクタへの RGB 形式の入力 i_l ($l \in \{R, G, B\}$ かつ $0 \leq i_l \leq 255$) に関して、 $i_l=255$ 投影時の投影面上の点 (s, t) における輝度値を $F_l(s, t)$ 、同様に $i_l=0$ 投影時の輝度値を $B_l(s, t)$ 、とする. F_l と B_l の最大値及び最小値をそれぞれ F_{lmax} と F_{lmin} 、 B_{lmax} と B_{lmin} 、とすると、全画素を表示させるためには、オリジナル画像の輝度 $G_l(s, t)$ ($G_{lmin} \leq G_l(s, t) \leq G_{lmax}$) はプロジェクタの出力幅内に収めなければならない. これを簡略化した様子を図 2 に示す. すなわち、 $B_{lmax} \leq G_{lmax}$ かつ $G_{lmin} \leq F_{lmin}$ を満たす必要があるため、入力画像を式(1)のように補正する必要がある.

$$G_l'(s, t) = (G_l(s, t) - G_{lmin}) \times \frac{F_{lmin} - B_{lmax}}{G_{lmax} - G_{lmin}} + B_{lmax} \quad (1)$$

ここで、 F_{lmax} と F_{lmin} 、 B_{lmax} と B_{lmin} は R, G, B 毎にそれぞれ求めた値の中での最大/最小とした.

しかし、このような補正を行うことにより補正結果はコントラストの低いものとなり、オリジナル画像とは大きく異なった印象を観察者に与える可能性がある. そこで、 $\alpha \geq 0$ 、 $\beta \geq 0$ を用いて、 $G_l(s, t)$ を式(2)のように調整し、 $G_l''(s, t)$ とする.

$$G_l''(s, t) = \alpha(G_l(s, t) - G_{lmin}) \times \frac{F_{lmin} - B_{lmax}}{G_{lmax} - G_{lmin}} + B_{lmax} - \beta \quad (2)$$

ただし、 $G_l''(s, t) < 0$ または $G_l''(s, t) > 255$ となることでクリッピングエラーが生じた場合、 $G_l''(s, t) < 0$ のときは $G_l''(s, t) = 0$ とし、 $G_l''(s, t) > 255$ のときは $G_l''(s, t) = 255$ とする. なお、 α は入力画像の輝度値の上限を設定し、 β は下限を設定している.

An Examination of a Compensation Method based on a Reflection Property of a Surface for Projected Images
†Yuka JINGUSHI †Naoki HASHIMOTO †Makoto SATO
†Tokyo Institute of Technology
‡Makiko SEMBON ‡Mie SATO ‡Masao KASUGA
‡Utsunomiya University

ここにおいて α は、画像輝度のかなり高い部分に対して人間がその階調変化を知覚できないことや、画像中で輝度の高い部分は多くは存在しないという事実を利用して、意図的に白飛びさせることで画像の輝度幅を広げるといった役割を果たしている。また、 β についても同様に、意図的に黒つぶれさせることで、その他の色の表示領域を広げている。つまり、この補正では、図3に示すように、プロジェクタの出力幅を超えることで生じるクリッピングエラーが視覚的に違和感を与えない範囲を積極的に利用して、ダイナミックレンジの拡大を試みる。

図4に、式(1)と式(2)による投影前の補正結果の比較画像を示す。(b)、(c)で、画像中心にある白い四角部分は、投影面のレンガ模様部分に対応しており、模様部分の影響を打ち消すように、より明るく補正されている。(c)では、ライオンの手の部分で白飛び、たてがみの部分で黒つぶれが発生しているが、視覚的に違和感を与えず、全体的に(b)より明るい画像を得ることができた。

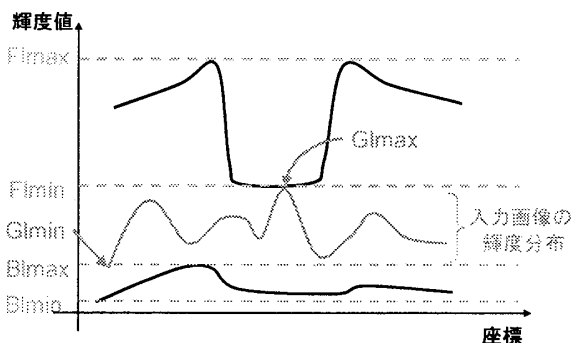


図2. 補正アルゴリズムの概念：式(1)

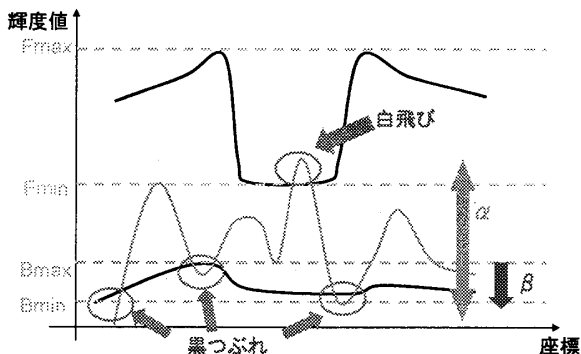


図3. 補正アルゴリズムの概念：式(2)

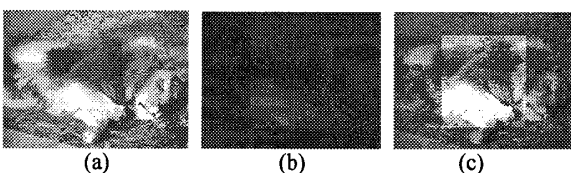


図4. 補正結果比較：(a)入力画像，(b)式(1)による補正，(c)式(2)による補正

4. 補正結果と考察

補正結果の一例を図5に示す。補正前の入力画像は、投影結果が壁面の模様の影響を受けてしまうのに対し、補正後の入力画像は、投影面の反射特性を用いて逆の反射特性を持つように補正されているため、実壁面の模様の影響が軽減できていることがわかる。また、 α 、 β の調整では、補正後の投影映像において視覚的に違和感を与えない範囲でクリッピングエラーの発生を許容し、補正結果のダイナミックレンジを可能な限り広げた。その結果、全体的な明るさやコントラストをオリジナル画像に近づけることができた。なお、投影面上の補正結果に違和感をなくす最適な α 、 β の自動選定は今後の課題である。

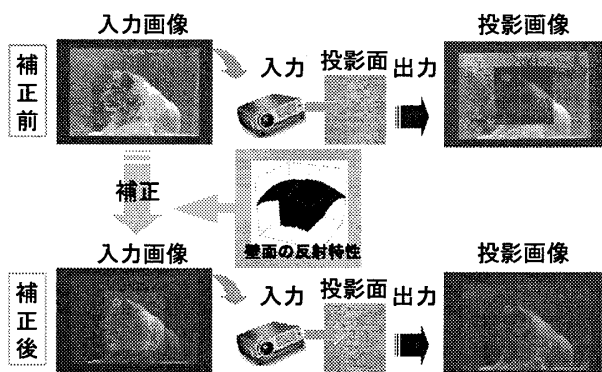


図5. 補正結果

謝辞

本研究は、戦略的情報通信研究開発推進制度(SCOPE)“室内を全周囲映像空間に変える映像提示技術の研究開発”(課題番号:072103001)の援助によって行われた。記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Ramesh Raslar, et al. : “The office of the future: a unified approach to image-based modeling and spatially immersive displays”, ACM SIGGRAPH 98, pp179-188 (1998)
- [2] 佐藤 美恵, 橋本 直己, 高橋 祐, 千本 万紀子, 春日 正男 : ” RAW画像データを用いた輝度補正に関する一検討”, 映像情報メディア学会誌, Vol.61, No. 7, pp.1030-1033 (2007)
- [3] A. Majumder and M. Gopi : “Modeling color properties of tiled displays”, Computer Graphics Forum, 24, 2, pp.149-163 (2005)