

人の視覚特性に基づく 大型ディスプレイによる複数人物への選択的情報提示

新川 祥史[†] 杉村 大輔[†]
佐藤 洋一[†] 小池 英樹^{††}

本稿では、大型ディスプレイによる複数人物への情報提示制御法について提案する。大型ディスプレイでは個々の対象それぞれへの適切な情報提示を行うことは難しい。このような問題に対し本研究では人間の視覚特性の一つであるコントラスト感度関数を利用することによって各対象に選択的に情報を提示する手法を提案する。具体的には、このコントラスト感度関数を用い、ある対象から知覚しやすく、その対象以外から知覚しづらくなるような空間周波数の画像を重畳表示する。実験を通じて本手法の有効性を確認した。

Selective Information Large-Display to Multiple People based on Properties of Human Vision System

YOSHIFUMI SHINKAWA,[†] DAISUKE SUGIMURA,[†] YOICHI SATO[†]
and HIDEKI KOIKE^{††}

In this paper, we propose a large-display system for selectively presenting information to multiple people. In a existing large-display system, it is hard to show an individual information to each person. In order to deal with the problem, we introduce a contrast sensitivity function (CSF), which is well known as a human vision system, for a selective information presentation. Specifically, based on the CSF, we acquire a particular spatial frequency band of an image that can be perceived only for the target at a certain distance. By using different specific spatial frequency bands of images, we can superimpose multiple images for a selective presentation. Through our experiments, we observed that our system can generate individual information selectively to multiple targets.

1. はじめに

近年、大型ディスプレイやプロジェクタの低価格化により、広告メディアや案内板などのデジタルサイネージが普及してきている。大型ディスプレイはセンシング技術の発達によるインタラクティブ性や表示できる情報の多さから効率的な利用が期待されている。

大型ディスプレイが用いられるシーンは公共の場が多く、不特定多数の対象に情報を提示することが求められる。また、近年は不特定多数への情報提示のみでなく、これと同時に個々へ情報提示を行うニーズも高まっており、これに対する技術はまだ有効なものが提案されていない。

このような問題に対し、本稿では人間の視覚特性に基づいた情報提示制御法を提案する。具体的には、空間周波数によって知覚できる輝度の変化量が異なるという人間の視覚特性を利用する。これを用い、対象人物の距離に合わせて画像の空間周波数成分にフィルタをかけることで、対象が最も知覚しやすく、それ以外の距離から知覚しづらい画像を生成することができる。これにより選択的情報提示が可能となる。また、距離によって知覚できる空間周波数が異なるため、二種類の画像を重畳させて同領域内で距離に応じて提示することが可能となる。

2. 先行研究

大型ディスプレイ、インタラクティブディスプレイを利用したデジタルサイネージに関してこれまでに数多くの研究がされてきている。

Vogelら¹⁾は大型ディスプレイで複数対象への情報と個人への情報の両方を表示するシステムを提案して

[†] 東京大学 生産技術研究所

Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

^{††} 電気通信大学 情報システム学研究所

Graduate School of Information Systems, The University of Electro-Communications

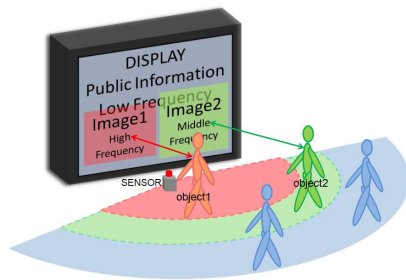


図 1 想定システム
Fig. 1 Envision System

いる。対象の距離や方向をセンシングし、対象の状態によって表示するコンテンツを変えている。

しかしながら、彼らの研究では距離による表示の切り替えとセンシングでの画面操作がメインであり、複数対象について効果的に情報を提示する方法については深く議論されていない。

Peltonen ら²⁾の研究では公共の場に大型のマルチタッチディスプレイを設置し、ユーザーの行動について分析している。対象が複数であるため、コンテンツの共有や取り合いが発生することがあり、個人に情報を提示する場合は対象を限定した表示方法を考える必要がある。

これらの先行研究を踏まえ、本研究では大型ディスプレイにおいて複数対象への適切な情報を同時に提示するシステムを提案する。

3. 人間の知覚特性に基づく情報提示制御

本研究では一つのディスプレイ内で対象を限定した選択的提示を行うシステム(図1)を想定する。本稿ではその要素技術である視覚特性に基づいた選択的提示手法を提案する。ここで用いる視覚特性は空間周波数によって知覚できる輝度の変化量が異なるというコントラスト感度関数(Contrast Sensitivity Function, 以下CSFと表記)である(図2)。計測した対象の距離情報を用いて対象の距離でのCSFを導出し、対象の距離で最も知覚しやすく、他の距離からは知覚しづらい空間周波数成分のみを抜き出した画像を表示する。これにより複数の対象に選択的に情報を提示することが可能となる。また、空間周波数の異なる画像はCSFより知覚可能な距離が異なるため重畳して表示することが可能である。そこでディスプレイ領域の効率的利用のために空間周波数帯域の分離を用いて画像を重畳表示する。

3.1 コントラスト感度関数(CSF)

Berten ら³⁾は人間の視覚特性の一つであるCSFについてモデル化している(図2)。人間は空間周波数により知覚できる輝度の変化量が異なる。画像までの

距離が変化することと画像の空間周波数が変化することは等価であるため、コントラスト感度も変化する。これは即ち同じ画像でも画像上の空間的な輝度変化の知覚しやすさが異なることを意味する。彼らの研究によると人間の知覚のピークはおよそ6~8[cpd](cycle per degree)である。

3.2 画像の空間周波数制御による選択的提示
大型ディスプレイにおいて人間の視覚特性であるCSFを用い、同ディスプレイ内での複数情報の提示対象を選択する。計測した対象の距離で知覚しやすい空間周波数を選択することで、他の対象に知覚しづらいようにすることができる。具体的にはこの空間周波数の選択基準としてCSFを用いることにより画像の空間周波数フィルタリングを行う。それぞれの画像について対象の距離でのCSFを用いて最適なフィルタリングを行うことで、複数対象それぞれに知覚しやすい情報を提示できる。

3.3 空間周波数に基づく画像の重畳表示

空間周波数の異なる画像はCSFより知覚可能な距離が異なるため重畳して表示することが可能である。Oliva ら⁴⁾の研究ではCSFを応用して二枚の空間周波数の異なる画像を重ね、距離に応じて見える画像が異なる画像(ハイブリッドイメージ)を示している。異なる二枚の画像にローパスフィルタ、ハイパスフィルタをそれぞれかけ、画像の色、特徴を合わせることで一枚の画像が距離に応じて徐々に変化して見える。

このように、CSFを用いることで2つの距離にいる対象それぞれに異なる情報を見せることが可能となる。本研究では距離情報をもとに対象に選択的に情報提示を行うためにCSFを用いる。ディスプレイから対象人物までの距離が変わるとCSFにより知覚しやすい空間周波数が変わるため、知覚しやすい画像に変更する。

4. 選択的提示のための重畳表示の最適化

4.1 知覚最適化のための空間周波数フィルタリング
距離に応じてCSFが変わると知覚しやすい空間周波数が変わる。対象の距離情報から得られたCSFをもとに対象に提示する画像をそれぞれフィルタリングし、知覚しやすい空間周波数成分を抽出する。本手法ではフィルタリング手法としてガウスフィルタを利用する。ガウスフィルタの持つパラメータ(平均,分散)を調整することで対象への知覚と対象以外の知覚の分離を最適化することができる。

CSFを用いたフィルタリングを行う場合、中心空間周波数,分散(通過させる空間周波数の帯域)といっ

たパラメータは一意に決まらない．また，対象が複数になると対象への知覚の最適化と対象以外の知覚防止のトレードオフが発生するため，最適なパラメータを決定する必要がある．対象が知覚できる画像の成分を考慮することにより最適なパラメータを決定する．

4.2 空間周波数フィルタのパラメータ最適化

ある距離で人間が知覚できる画像の成分は空間周波数に依存する．対象の距離からその対象の CSF が導出できるため，対象から知覚できる画像のエネルギーを求めることができる．対象の距離で知覚できる画像のエネルギー E は画像の周波数特性 $F(\omega)$ に対し，対象の距離での $CSF(\omega)$ を考慮し，ガウスフィルタ $G(\omega; \mu, \sigma)$ でフィルタリングしたものの積分で表わされる．ここで ω は空間周波数， μ, σ はそれぞれガウスフィルタの中心空間周波数，分散である．対象 1 へ提示する画像について考えた場合に， $CSF_1(\omega)$ を持つ対象 1 が知覚できる画像のエネルギーを E_{11} ， $CSF_2(\omega)$ を持つ対象 2 が知覚できる画像のエネルギーを E_{12} とする．この E_{11} を + 成分， E_{12} を - 成分としてエネルギーを加算してスコア化する．この時の目的関数を最大化するパラメータ $(\hat{\mu}_1, \hat{\mu}_2, \hat{\sigma}_1, \hat{\sigma}_2)$ が最適な表示を行えるパラメータである．

$$(\hat{\mu}_1, \hat{\mu}_2, \hat{\sigma}_1, \hat{\sigma}_2) = \underset{(\mu_1, \mu_2, \sigma_1, \sigma_2)}{\operatorname{argmax}} \{ (E_{11}(\omega; \mu_1, \sigma_1) - \lambda_1 E_{12}(\omega; \mu_1, \sigma_1)) + (E_{22}(\omega; \mu_2, \sigma_2) - \lambda_2 E_{21}(\omega; \mu_2, \sigma_2)) \} \quad (1)$$

ここで $E_{xy}(\omega; \mu_x, \sigma_x)(x, y \in 1, 2)$ は次式であらわされる．

$$E_{xy}(\omega; \mu_x, \sigma_x) = \int G(\omega; \mu_x, \sigma_x) CSF_y(\omega) F_x(\omega) d\omega \quad (2)$$

(1) 式における λ_x は画像のエネルギー比を調整するパラメータであり，次節で詳しく説明する．

4.3 エネルギーバランスの調整

元画像の周波数特性により E_{xy} のエネルギーにはばらつきがでるため，二つの画像間でエネルギーの差がでてしまう．また，対象ごとに知覚できる画像エネルギーの総和に差が出てしまうため，このままでは全対象に最適な表示とは言えない．

この問題を解決するためにパラメータ λ_x を用いて E_{xx} と $E_{xy}(x, y \in 1, 2)$ 間のエネルギー比を調整する．知覚させる画像のエネルギーを多く残したい場合は λ_x を小さくし，対象と対象以外の知覚の分離度を高くしたい場合は λ_x を大きくする．

5. 実験

これまでに述べた最適化モデルを用いて対象に提示する画像を生成した．対象 1 の距離を 0.3[m]，対象 2

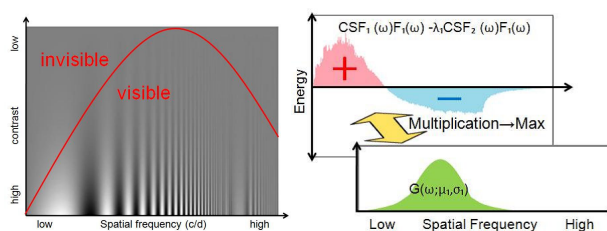


図 2 コントラスト感度関数 Function(CSF) 図 3 空間周波数フィルタのパラメータ最適化 Parameters Optimization

の距離を 3[m]，画像サイズは縦 4[cm] × 横 4[cm] とした．

5.1 パラメータ最適化モデルを用いたフィルタリング

式 (1) のモデルを用いた画像のフィルタリングにより，それぞれの対象の距離で知覚可能かどうかを確認する実験を行った．ここでエネルギー比は $\lambda=2$ とした．画像及びテキストのフィルタリング結果を図 4 に示す．(a)(c) が対象 1 へ提示すべき情報，(b)(d) が対象 2 へ提示すべき情報であり，(a)(b) は画像，(c)(d) はテキストである．

画像は最適化の結果， $\mu_1=7$ [cpd]， $\sigma_1=9$ ， $\mu_2=94$ [cpd]， $\sigma_2=31$ となった．テキストは最適化の結果， $\mu_1=8$ [cpd]， $\sigma_1=11$ ， $\mu_2=114$ [cpd]， $\sigma_2=38$ となった．この結果から分かるようにに各情報において知覚しやすい対象を選択できている．

5.2 画像及びテキストの選択的情報提示

次に 5.1 節の実験をもとに同領域内での重畳表示の効果を確かめる実験を行った．画像のフィルタリング結果を図 5 に示す．各画像は (a) 画像 + 画像，(b) テキスト + テキスト，(c)(d) 画像 + テキストの重畳であり，(a)(b) は 5.1 節で生成した画像を利用している．エネルギー比はそれぞれ (c) $\lambda=6$ ，(d) $\lambda=2$ とした．

(c) は最適化の結果， $\mu_1=5$ [cpd]， $\sigma_1=5$ ， $\mu_2=113$ [cpd]， $\sigma_2=30$ となった．(d) は最適化の結果， $\mu_1=8$ [cpd]， $\sigma_1=11$ ， $\mu_2=100$ [cpd]， $\sigma_2=33$ となった．この結果からわかるように同領域に表示した画像でも設定された距離によって知覚できる画像が異なることが見てとれる．

6. 考察

提示画像の最適な空間周波数フィルタリングにより，それぞれの距離の対象で知覚しやすい画像を生成した．また，生成したの画像の同領域内での重畳表示を実現した．以下に本研究の問題点と課題について議論する．

6.1 距離の分解能による選択的提示の限界

本研究で提案したモデルは CSF が連続した値を持つ

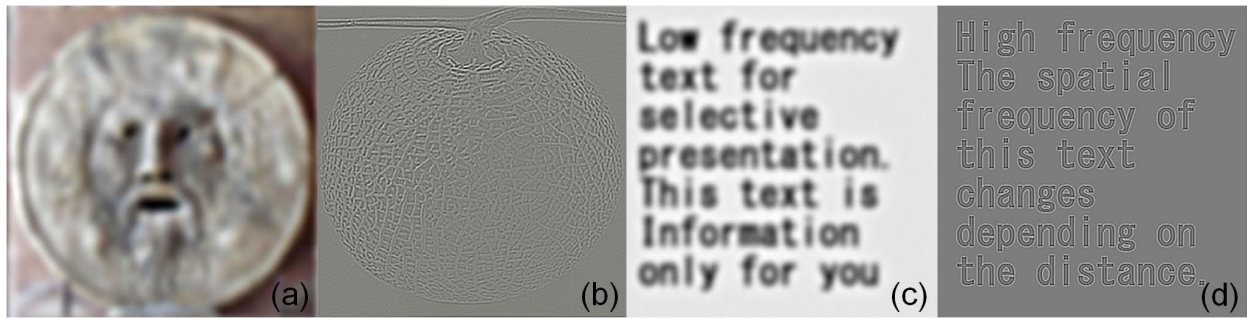


図 4 画像及びテキストの最適化フィルタリング
Fig. 4 Optimization Filtering Image and Text

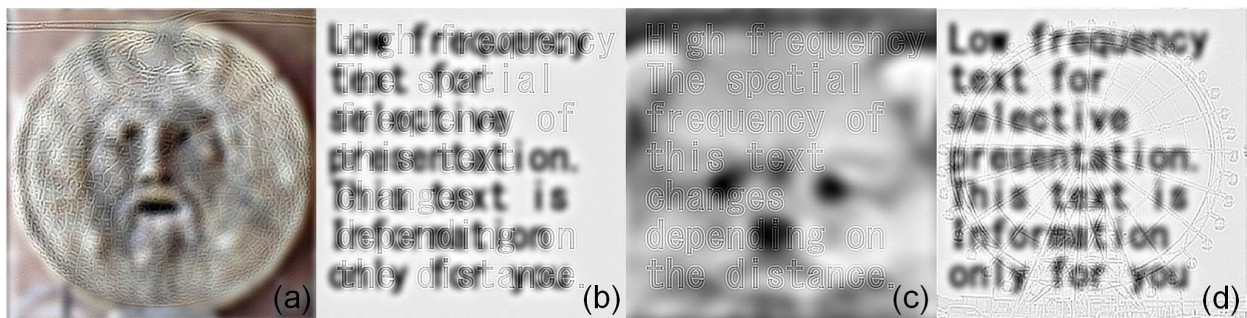


図 5 画像及びテキストの選択的提示
Fig. 5 Image and Text Selective Representation

ているため距離による分解能の限界が存在する．対象同士の距離が近い場合は CSF の特性に差が出ないため知覚できる画像エネルギーも近いものになる．それにより対象に異なる画像を見せることはできない．

6.2 フィルタリングによる画像情報の欠落

本システムは同領域に複数の画像を表示するが，画像をフィルタリングするため画像の情報は落ちることになる．テキストの場合，読めるかどうかという部分に評価基準を置けば，テキスト情報の欠落はないため情報提示において効果的である．フィルタリング後の画像は知覚しやすいエネルギーは残しているが元の画像とは異なるため，情報提示において提示したい情報が欠落することがある．

6.3 ディスプレイ内での提示画像の表示領域

表示領域を変更すると空間周波数が変わるため，表示領域も CSF に基づいて変更する必要がある．表示する画像が 3 枚以上の場合は空間周波数の分解能の問題，各画像のエネルギーが低くなる問題から同領域内での重畳表示は現実的ではない．今回提案した最適化モデルも 2 グループ対象までの画像の重畳であるため，3 グループ以上への表示の場合は表示領域を考慮した選択的表示も必要となる．

7. おわりに

本研究では人間の視覚特性の一つである CSF を用いて，複数人物に同ディスプレイ内で選択的に情報提

示する方法をモデル化した．今後の課題として，評価実験を行い，さらに最適な選択的表示のためのモデル拡張を行う予定である．

また，複数への選択的情報提示のために，距離情報以外に人の遮蔽や対象から得られる他の情報（速度等）を用いた表示を行うことが考えられる．さらに，本研究では色情報について議論していないが，色情報も含めた選択的表示の最適化についても考慮していく．

参 考 文 献

- 1) Daniel Vogel, Ravin Balakrishnan.: Interactive Public Ambient Displays: Transitioning from Implicit to Explicit, Public to Personal, Interaction with Multiple User *ACM CHI (Single display privacyware)*. pp.137–146 (2004).
- 2) Peltonen, Esko Kurvinen, Antti Salovaara, Giulio Jacucci, Tommi Ilmonen, John Evans, Antti Oulasvirta, Petri Saarikko.: It's Mine, Don't Touch!: Interactions at a Large Multi-Touch Display in a City Centre, *ACM CHI (Multitouch and Surface Computing)*. pp. 1285–1294 (2008).
- 3) Peter.G.J Barten: *Contrast sensitivity of the human eye and its effects on image quality*, uitgeverij HV Press Knegsel(1999).
- 4) Aude Oliva, Antonio Torralba, Philippe. G. Schyns.: Hybrid Images, *ACM SIGGRAPH*, pp.527–532 (2006).