社団法人 情報処理学会　研究報告
IPSJ SIG Technical Report

2005－DPS－121　(17)
2005－GN－54　(17)
2005／1／20

半透過型ディスプレイを用いた重畳表示手法の提案

斉藤 研一郎*　　井前 吾郎†
重野 寛*　　岡田 謙一*
{saitoken, inomae, shigeno, okada}@mos.ics.keio.ac.jp

近年社会におけるコンピュータの発展やインターネットの高速化に伴い，あらゆる情報がデジタルデータとして様々な形でコンピュータの画面上に表示されている．しかし，データや情報は膨大なため，有限区域であるディスプレイに全てを表示することはできない．そのため，物理的に表示領域を拡大する技術や限られたスペースの中で以下に情報をわかりやすく視覚化するかという技術が注目されている．そこで，本論文では，半透過型ディスプレイと普通のディスプレイを重畳して情報を表示することを提案し，その実現と RoboCup サッカーへの応用，並びに既存方法との比較評価を示す.

A Proposal of the Superposition Visualization Techinique using the Multilayered Display

Kenichiro Saito* , Inomae Goro† ,
Hiroshi Shigeno* , and Ken-ichi Okada*

Recently, depending on the Computer development and the Internet speeding up, a ton of information are displayed as digital data on the Computer display. We need the technology of increasing physically and information visualization, for example a multi-display and the technology of Focus+Context. And so this paper describes a half-penetration type display and an ordinary display syperimpose rather than displaying two or more displays side by side, and displaying informationm, and has boiled, attached and described the realization and application to the RoboCup soccer.

1　はじめに

近年の社会におけるコンピュータの発展やインターネットの高速化に伴い，あらゆる情報がデジタルデータとして様々な形でコンピュータの画面上に表示されている．そして，視覚による情報処理量は，他の感覚情報に比べて数千倍近くになることから，それらの情報を可視化し，ユーザにわかりやすく伝えるといったことが行なわれている．しかし，データや情報は膨大なため，有限区域である情報表示装置 (以下，ディスプレイ) に全ての情報を表示することはできない．そのため，物理的に表示領域を拡大する技術や，限られたスペースの中でいかに情報をわかりやすく視覚化 (可視化) するかという技術が注目されている。

* 慶應義塾大学大学院理工学研究科開放環境科学専攻
School of Science for OPEN and Environmental Systems, Graduate School of Science and Technology, Keio University
† NTT サイバーソリューション研究所
NTT Cybersolution laboratory

例えば，マルチディスプレイという技術は，ディスプレイを物理的に増やすことで，単一のディスプレイによる情報表示よりも多くの情報を表示できる技術である．この技術の利点は，2 つのディスプレイが情報の種類によって各々表示を行い，また各ディスプレイの描画を 1 つのコンピュータが行なうことで，2 つのディスプレイに表示されている情報の関係や同期を維持しておくことができる。

また，情報視覚化という研究分野における局所的詳細情報 (以下，Focus 情報) ＋大局概略情報 (以下，Context 情報) という技術は，膨大な情報や大きな情報構造を視覚化するときに，Focus 情報と Context 情報を同時に提示する代表的な表示方法である．この技術の利点は，拡大率の低い 1 枚の図中に，拡大率の高い部分を共存させることによって，Context 情報の提示領域を確保したまま，Focus 情報も提示できることである．

このようにディスプレイの数を物理的に増やすことで表示情報量を増加することは可能になり，情報視覚

化技術を用いることでディスプレイを有効活用できる．そこで我々も，表示情報量を増加するとともにそれらの情報を効率よく表示することのできる表示手法の実現と応用の可能性について議論する必要があると考えた。そして，本論文ではそのような表示手法として，複数のディスプレイを並べて表示するのではなく，半透過型ディスプレイと普通のディスプレイを重畳して情報を表示することを提案し，その実現と応用を目指す．

以下，2 章で可視化された膨大な情報表示のための関連研究とその問題点，3 章では研究の位置付け，及び提案と設計について述べる．そして 4 章では本手法を用いた半透過型ディスプレイの物理的な特性に関する測定とユーザビリティ評価について述べ、最後に 5 章で結論について述べる．

2　関連研究および問題点

2.1　デバイスによる描画領域の拡大と問題点

2.1.1　マルチディスプレイ

マルチディスプレイとは，1 台のコンピュータに 2 台以上のディプレイを接続し，あたかも 1 台の大きなディスプレイであるかのように表示させる手法である (図 1)．マルチモニタとも呼ばれ，DTP やグラフィックスなど，1 台のディスプレイに収まらないほどの広大な編集画面が必要な分野で頻繁使われる．Macintosh や Windows98 以降などでは OS の機能としてサポートされている．

そして，マルチディスプレイでは片方のディスプレイでタスクを行い，もう片方のディスプレイに補助的な情報を表示するといったことを行なっている．しかし，1 つのディスプレイに注目しているともう片方に表示された情報に気づくことができない．つまり，Awareness に関する情報を提供することが困難であると言える．また，2 つのディスプレイ上の情報の比較・対比を頻繁に行う場合，ユーザの負担が増加するとともに，それらの情報が刻々と変化していく場合，情報の相互関係を常に把握しておくことは非常に困難である．

ここで Awareness とは，元来の意味は気づき・意識・認識 である．ヒューマンインターフェースの分野では主にコンピュータを用い他の人物の存在・行動などを認識させ，そこから生じるコミュニケーション技術と定義されることが多い．本研究では，Awareness はもともとの意味である気づくこととし，タスク作業中に気づいた新たな情報を Awareness 情報と定義する．

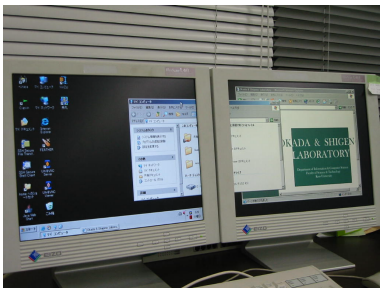


図 1: マルチディスプレイ

2.1.2　単一のディスプレイによる重畳表示

単一ディスプレイに多くの情報を表示し，さらにマルチディスプレイにおいて問題となっている Awareness 情報の提示に関して，単一ディスプレイによる重畳表示が行われてきているが，ウィンドウが重なってしまって情報を即座に取得できないといったこと [1] や, 仮に透明ウィンドウにして背面にあるウィンドウの Awareness 情報を取得できるようにしても，どのウィンドウが最前面なのか認識しづらいといった問題がある (図 2)．また，電子的な透明処理を利用した半透明な画像を重ね合わせており，色が重ねあった部分については計算によって色を算出しているため，描画に関する計算量が多くなるということも言える。

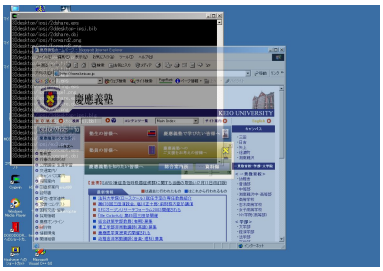


図 2: 透明ウィンドウ

2.1.3　情報視覚化技術の利用

情報視覚化技術の利用により，関連のある情報を同時に表示することができるようになっているが，全体概要 (Context) と注目情報 (Focus) を同時に表示した場合，Context 情報が歪んでしまって元の情報の取得が困難となり，また Focus 情報の表示領域が小さくなってしまうために，場合によっては Focus 情報の取得すら困難になってしまうことがある．

以上の事柄をまとめると，既存の表示手法では，

- ディスプレイをいくつ並べても 1 つのディスプレイに注目している場合は視野に入らない

- 注目ディスプレイをいくつ並べても 1 つのディスプレイ以外の情報 (Awareness 情報) を取得しづらい
- Context 情報や Focus 情報が歪んでしまって，取得できないことがある
- ウィンドウやディスプレイが重なってしまい，Awareness に関する情報を提供することが困難である

といった問題点がある．

3　提案とシステムの設計

3.1　提案

3.1.1　半透過型ディスプレイによる重畳表示の提案

前章で示したような問題点がある一方で，ディスプレイの数を物理的に増やすことで表示情報量を増加することは可能となり，情報視覚化技術を用いることでディスプレイを有効活用できるということも言える．そこで我々は，表示情報量を増加するとともにそれらの情報を効率よく表示することのできる，半透過型のディスプレイを用いた情報の重畳表示を提案する．具体的には (図 3) のように半透過型ディスプレイを普通のディスプレイと重ねる．つまり，既存のマルチディスプレイの表示法とは異なり，Multi-Layered Display により情報を表示する．これにより Awareness 情報を提供するとともに，情報を役割ごとに，1 つのディスプレイを最大限利用できる．例えば，局所的な情報は手前のディスプレイに表示しておき，全体概要は奥のディスプレイの端で表示しておくことで，ふと気になった時や，なんとなく情報を目に入れることが可能となる．つまり，レイヤー構造を利用して表示し，半透過型ディスプレイを用いることで，以下のような効果が期待できる．

- 透けて見えることにより 2 つのディスプレイの情報を同時に得ることが可能
- Context 情報や Focus 情報を役割に応じて，1 つのディスプレイ上に最大限表示できる
- ウィンドウやディスプレイが重なってしまっても，透けて見えることにより Awareness に関する情報を提供することが容易である
- 単一ディスプレイによる重畳表示と異なり，物理的に異なるディスプレイ上に情報を表示するので，情報の認識が容易となる
- 特別なアプリケーションを用いることなく重畳表示が可能

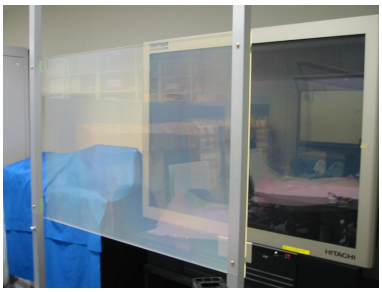


図 3: 半透過型ディスプレイの概観

3.1.2　情報によるディスプレイの役割分担

既存のマルチディスプレイによる情報表示では，ディスプレイごとに表示する情報の役割を分担させているが，本手法でも同様にディスプレイごとに表示情報の役割を分担させることが可能である．前面の半透過型ディスプレイに動画表示を行うウィンドウを表示し，背面の普通のディスプレイに操作部分を表示する．これにより，多くのボタン，つまり操作部分を持つアプリケーション等でも，メインウィンドウを隠すことなく，タスクを実行することが可能となる．

3.1.3　視差を利用した情報の表示

透過型ディスプレイでは後ろにプロジェクタを配置するので，2 枚目もしくは普通のディスプレイとの間に隙間が出来るため視差が出来る．そこで，この視差とさらに 50 インチという大きさを生かし，Context 情報を提示する．具体的には窓を覗き込むようにすることで見え領域に，隠れた情報を表示する．これにより，既存の単一ディスプレイによる重畳表示のように，注目したいウィンドウをインタラクティブ操作によって移動することなく，注目することが可能となる．

3.2　システムの設計

3.2.1　ロボカップへの応用

RoboCup(以下，ロボカップ) とは，ロボット工学の知識と人口知能知識を用いて，自律移動ロボットによるサッカーを題材として，日本の研究者らによって提唱された．

ロボカップサッカーは，人間の行うサッカーと同様に，自分で考えて動く知的エージェントを使った競技

や，実際のロボットを使用した競技などが行われている．そして，ロボカップサッカーのインタフェースはフィールドとサッカープレーヤである．しかし，既存の実世界シミュレーションのシステムではフィールドが大きすぎるために，全体概要の把握が困難であるという問題がある．例えば，ボールを持っているプレイヤーの周囲のみを表示しているために，全体のプレイヤーの動きがわからないといったことが挙げられる．また，仮に全体を表示した場合では，逆にボールを持っているプレイヤーが認識しにくいといった問題がある．そのために Context 技術を利用した視覚化が必要であると言える．しかしユーザの好みにもよるが，全体概要もしくは局所的な情報のみを主に閲覧しておきながら，必要なときに全体概要の情報を見るといったことを行っている．そのため，既存の Context システムのように常にどちらも表示するといったことは，画面領域を最大限に生かせないとともに，ウィンドウの切り替え操作による全体概要の表示はユーザにとってはストレスを感じてしまうことも多い．また，Windows の GUI のようにアクティブなウィンドを一番手前に表示すると，ウィンドウの切り替える際にマウスなどのポインティングデバイスによって操作しなければならないといったことも挙げられる．そこで，画面領域を最大限に生かしつつ，デバイスによる操作を行うことなく全体概要の情報を提供できるシステムが必要であると言える．そこで本研究では半透過型ディスプレイのよる重畳表示手法をロボカップサッカーに応用することにした．

3.2.2 Awareness 情報の表示

ユーザは基本的に半透過型ディスプレイに表示されている情報を閲覧しているが，背面のディスプレイに Awareness 情報として，種々の情報を表示することで何かしらシミュレーションのステータスに変化があった場合に気づくことができる．

3.2.3 Focus+Awareness 情報の表示

ロボカップサッカーのインタフェースにおける Focus 情報と Context 情報の表示の様子を図 4 に示す．このようにディスプレイごとに表示する情報の役割を分担し，ディスプレイ画面を最大限利用して各情報を表示する．

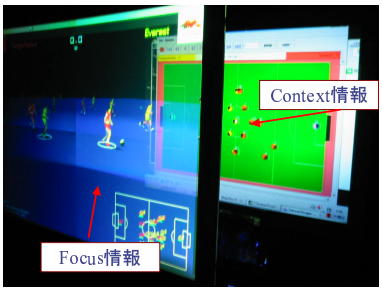


図 4: Focus+Context 情報の表示

3.2.4 視差による情報の見え方

前述したように，本システムでは視差による情報の見え方の違いを考慮している．例えば，ディスプレイを正面から見ると、背面のディスプレイの中央付近から下の方にかけて見辛くなる．しかし上から覗き込むことで，背面のディスプレイの中央付近の情報を閲覧することが可能となる．一方背面のディスプレイの下付近については下から覗き込むことで閲覧することが可能である．

4 測定および評価

本章では，半透過型ディスプレイの物理的な測定および，既存のディスプレイ環境による情報表示との比較・評価を行い，それぞれについて考察する．

4.1 半透過型ディスプレイの物理特性の測定

半透過型ディスプレイの色や解像度といった物理特性が，既存のディスプレイと比較して極端に悪い場合，半透過型ディスプレイを用いた情報の表示と伝達は適しいないということになる．そこで，本節では本透過型ディスプレイの物理的特性に関する測定結果について述べる．なお，本研究で用いた半透過型ディスプレイの大きさは H:0.620m，W:0.850m である．

4.1.1 照度

照度の測定環境

一般的にスクリーンの照度は ANSI(AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE，アメリカ規格協会) によって算出方法が規格化されている ([2],[3])．具体的には，スクリーンを 9 分割し，100% 全白パターンを投写し，各ゾーンの中心に照度計を平面に置いて照度 (ルクス) を測定する．この 9 ゾーンの照度の平均値 (lx) に映像面積 (m^2) を掛けた値をスクリーンの照

度を算出する式である．この値は一般的に ANSI スクリーンと呼ばれ，スクリーンの明るさの指標とされている．

ANSI ルーメン (lm)=平均照度 (lx) ×面積 (m^2)

本稿でも，ANSI ルーメンの測定方法に習い，半透過型ディスプレイの照度を計測し，ルーメンを算出することとした．

照度の測定結果および考察

上記のような環境を用いて，半透過型ディスプレイの照度の測定結果を示す．ここでは，環境光ありと環境光なしの場合について測定値を算出している．環境光とは部屋の明かりのことであり，その照度は 667lx である．そして，ANSI ルーメンを算出すると，結果は以下のようになった．

環境光あり：210.6258lm

環境光なし：97.8280lm

一般的な PC 上で作業をするとき必要となる照度は 100lx〜700lx であり，上記の結果から，半透過型ディスプレイの照度は，一般的なディスプレイとして十分な照度に達していると言える．よって半透過型ディスプレイは，一般的なディスプレイの変わりに用いることに支障が無いことが示された．

4.1.2 色空間

色空間測定に関しては，ユーザにとってどう見えているかは理論値とは異なると言えるため，実際の環境でユーザに見てもらい，どのような色に見えるのかアンケートを実施した．実験は，背面のディスプレイに RGB のそれぞれの色を表示し，前面の半透過ディスプレイにてそれぞれ RGB を表示した場合にどのような色になるかを行い，アンケートを行った．なお，このアンケートに関しては，実際に使用することを想定して，環境光つまり部屋の明かりを付けた状態で実施した．

色空間のユーザアンケートの結果および考察

実際にユーザアンケートを実施した結果，後ろのディスプレイが赤の場合は緑が黄色に見え，青が紫に見えるという結果が得られた．しかし，理論値では青色が強く表現され，赤色の表示が劣っているという結果が得られるため，やはり実際のユーザの見え方とは差異があることがわかった．他の色も同様の結果が得られた．

そして，アンケートの結果から，半透過型ディスプレイによって重畳表示をすることで，色の計算を行わなくとも，色の合成が可能であると考えられる．一方で，アプリケーションを使用する，もしくは作成する際には色使いを考慮しなければ，作成者の意図した色合いにはならないとも言える．しかし，半透過型ディスプレイを用いた表示法は，既存のものとは異なった表示手法であると考えられる．

4.2 マシンリソース

4.2.1 測定環境

CPU:Intel Pentium4 3.2GHz MB:メモリ:DDR400 512M × 2 Video:Radeon9700 マシン No.2:Intel Pentium3 1.0GHz MB:メモリ: SD-RAM 512M Video:オンボード

4.2.2 CPU 使用率の結果および考察

CPU 使用率の最大値，最小値，平均値，メモリ使用量の平均値を表 1 に示す．表 1 から明らかなように，本手法では CPU 使用率が既存手法に比べ低く，メモリの使用量も既存の手法に比べ低いことがわかった．

表 1: CPU 使用率の最大値, 最小値, 平均値, メモリ使用量の平均値

	最大	最小	平均使用率	メモリ使用率
透明ウィンドウによる表示	100%	27%	50.135%	7.213MB
マルチディスプレイによる表示	100%	12%	33.116%	7.354MB
本手法による表示	89%	12%	29.883%	4.635MB

よって表 1 よりメモリ使用量に関して，本手法は他の 2 つの手法よりも有用であることが示されている．表 1 において，マルチディスプレイの使用量が最も多いが，これは 2 つのディスプレイを用いていることが原因であると考える．透明ウィンドウによる描画の場合は，2 つのウィンドウを描画すればよいが，マルチディスプレイの場合は，2 つのウィンドウの描画に加え，さらに 1 つのデスクトップも描画しなければならないため，メモリを消費していると考えられる．この点においても，本手法の 1 台あたりの負荷を軽減することが可能であるといえる．

4.3 ユーザアンケートによる評価

4.3.1 評価方法およびタスクの設定

Focus+Context 情報と Awareness 情報が提供できているかを本手法と既存手法で比較し，ユーザアンケー

トを実施した．比較した手法は透明ウィンドウによる情報の表示手法，マルチディスプレイによる情報の表示，そして本手法である．

タスクとしては，あるシナリオ (サッカーのログ) を被験者に見てもらい，こちら側からある一定時間ごとに Awareness 情報 (Offside,Stamina に関する情報) を表示し，その後アンケートを実施した．ここで表示する情報として，Focus 情報と Context 情報を表示し，Focus 情報としては，ボールを中心としたビューとなっており，画面上にはボールと数人のプレイヤーのみを表示した．Context 情報としては，全体概要としてフィールド全体のビューを表示した．

4.4 ユーザアンケートの結果および考察

下記の表 2 にユーザアンケートの項目および結果を示す. ここで，数値は 5 に近いほど質問に対して肯定的であることを示している．

表 2: ユーザアンケートの結果

	アンケート項目	1	2	3
1	目の疲労はなかった	2.0	3.8	3.4
2	首の疲労はなかった	3.9	1.8	4.4
3	OffSide情報を得ることが容易だった	2.8	2.4	4.2
4	Stamina情報を得ることが容易だった	2.6	1.4	4.1
5	上記以外の情報も何か得ることができた	2.0	2.8	4.0
6	FocusとContextの視点変更は容易だった	1.3	2.4	3.4
7	注目したいウィンドウへの注目および注目ウィンドウからの情報取得が容易だった	1.7	2.8	4.5
8	運動視差により見えるウィンドウがかわることは有用であると感じた	—	—	3.7

1:透明ウィンドウ 2:マルチディスプレイ 3:本手法
＊アンケート項目8は本手法でのみ実施

表 2 により，特に下記の 3 点に注目して考察する．

Awareness 情報に関して，本手法では常に 2 つのディスプレイが同じ視野にあることで，一瞬しか表示されないような情報に関してもユーザが気づくことが可能となり，Awareness 情報を提供できることが示された．一方，透明ウィンドウでは，情報の重なりによる理解しづらさ，マルチディスプレイでは，一方のディスプレイに集中してしまうことによる Awareness の困難さが原因でよい結果にはならなかったと考える．

Focus 情報と Context 情報の視点変更に関しては個人差が見られたが，その理由として，明るさと慣れがあると考える．初め戸惑っていたユーザも，時間の経過とともに効果的に情報を得られるようになった．

運動視差を利用した情報の提示に関して，まず透明ウィンドウによる情報の重畳表示では，どのウィンドウの情報を取得してよいのか困惑するといったことが言える．しかし，本手法では 2 つの情報が同じ視野にあるとはいえ，それらは別々の平面上に表示されており，頭を動かすことによって，見えるものが異なるといったことからも，別々の情報として認識できるために，良い結果が得られたと考えられる．これにより，透明ウィンドウによる情報の重畳表示では注目したいウィンドウへのインタラクティブ操作を行わなければならないが，本手法ではそのような作業は軽減できるといえる．

以上のことから，半透過型ディスプレイによる重畳表示は新たな情報の表示手法として，有用であるといえる．

5 結論

第 2 章示した既存のディスプレイによる表示方法の問題点から，我々は半透過型ディスプレイによる重畳表示手法を提案した．そして，今回ロボカップサッカーに応用し評価した所，特に Context 情報と Focus 情報の 2 つの情報を同時に表示するといった，2 つのディスプレイの情報に関連がある場合，2 つのディスプレイの情報を同時に取得できるという点，他のディスプレイの情報に気づくことが出来るという点，情報選択に関するインタラクティブ操作が軽減できるという点で有効であるが示された．

また半透過型ディスプレイに関する物理的な測定を行うことで，既存のディスプレイと比較しても，情報の表示に関して遜色はないことも示された．そして CPU 使用率に関する評価を行い，この点についてもマシン 1 台あたりの負荷が分散されることも実証した．

以上まとめると，我々が提案した半透過型ディスプレイを用いた重畳表示は新しい情報表示手法として有効であるといえる．

参考文献

[1] 淡谷浩平, 塩沢秀和, 出口智恵, 重野寛, 岡田謙一昭, 松下温. 奥行きを利用した協調作業空間とその応用例, 情報処理学会第 60 回全国大会,March 2000.

[2] 畑中豊, ディスプレイに要求される機能, 照学誌, pp.724-728,1989

[3] ANSI/NAPM IT 7.125. Data projection Equipment and Large Screen Data Display-Test Methods and Performance Characteristic. ANSI.