

gCubik: 複数人で観察可能なキューブ型裸眼立体ディスプレイ — 6面での実装とその対話操作に関する考察

吉田 俊介^{†,††} Roberto Lopez-Gulliver^{†,††}
矢野 澄男^{†,††} 井ノ上 直己^{†,††}

著者らはこれまでに、手に持ち複数人で鑑賞できるキューブ型裸眼立体ディスプレイ “gCubik” を提案し、それを実現するための様々な要素技術を検討してきた。本研究では、あらゆる方向から観察可能な、6面キューブ形状での立体ディスプレイを試作したので報告する。本文では、立体ディスプレイとしての機能だけでなく、ユーザの操作を入力として検知したり、音刺激を提示するなど、対話操作に必要な機能の実装についても述べ、コミュニケーションツールとしての “gCubik” に関する考察も記す。

gCubik: A Cubic Autostereoscopic Display for Multiuser Environments — A 6-face Cube Prototyping and Interaction Considerations

SHUNSUKE YOSHIDA,^{†,††} ROBERTO LOPEZ-GULLIVER,^{†,††}
SUMIO YANO^{†,††} and NAOMI INOUE^{†,††}

“gCubik” is a graspable cubic autostereoscopic display for multiuser environments. We have proposed its design concept and investigated many requirements for achieving the display. In this paper, we build a prototype of the “gCubik” in a 6-face cube configuration which is able to be observed from arbitrary directions. We firstly describe our implementation approach of the 3D display, and then we also denote other built functions for detecting user’s interactive manipulations and providing simple audio stimuli. Finally, we discuss some aspects of the “gCubik” as a communication tool.

1. はじめに

手が届く程度の近距離で、臨場感を伴いながら人と人とのコミュニケーションを支援するためのデジタルなツールとして、著者らはキューブ型の裸眼立体映像ディスプレイ “gCubik” を提案している¹⁾。本ディスプレイは、裸眼で周囲から観察でき、複数人でも同時に立体映像が共有できることを特徴とする。また、立体映像を手につかのように粗い形状を知覚でき、仮想的に実体化した立体映像を媒介とし、実物体を手渡すかのように他者とのコミュニケーションが取れるツールを目指している。

これまでに、本ディスプレイを実現するために必要な裸眼立体視技術の要件を検討し¹⁾、それらを満たす要素技術を確立して²⁾、箱の内部に立体映像が定位可

能であることを3面の試作機を用いて確認した³⁾。

そこで本研究では、これまでの要素技術を踏まえた上で、あらゆる方向から観察可能な、6面でのキューブ型立体ディスプレイを構築したので報告する。また、立体映像の出力装置としてだけではなく、ユーザの操作を入力として検知したり、音刺激を提示するなど、対話操作に必要な機能の実装を行い、コミュニケーションツールとしての “gCubik” に関する考察についても述べる。

2. キューブ型立体ディスプレイ “gCubik”

2.1 デザインコンセプト

図1に本ディスプレイを利用している風景を示す。 “gCubik” が目指す形態は、特別なメガネなどを必要とせず自然に (Glasses-free)、かつ複数人で同時に立体映像を共有しながら (Group-sharing) 情報をやりとりするためのコミュニケーションツールである。また、表示デバイスを小型に作製することにより、ガラスのショーケース (Glazed-showcase) に入った物体

[†] 情報通信研究機構 ユニバーサルメディア研究センター
NICT, Universal Media Research Center

^{††} ATR 認知情報科学研究所

ATR, Cognitive Information Science Laboratories



図 1 “gCubik” の利用風景
Fig. 1 A scenery with the “gCubik”

を、手に持つかのように扱うことができるようにする (Graspable)。

これらの機能を併せ持たせることにより、背面から観察したければディスプレイを裏返したり、見せたい向きで相手に差し出すように立体映像を見せつつ指さし説明するような直観的な操作や、キューブの面で代表されるガラスケースを持つような粗い触感を伴う、視触覚が融合したディスプレイとしての利用が期待できる。

2.2 関連する研究

2.2.1 キューブ型デバイスとのインタラクシオン

自然でリアルなコミュニケーションのためには、見る、聞く、触れる、香るといった、多感覚情報を伝達する基盤技術の研究開発が必要であると言われている⁴⁾。とりわけ、対面での談話や机上での協調作業といった、参加者に近い手の届く範囲でのコミュニケーション支援には、手元で自然に情報をやりとりできる小型の入出力デバイスの利用が考えられる。例えば、組み合わせ自由な手に持てる小型の入力デバイスは、直観的な情報へのアクセスを可能とし、触覚を用いた形状の理解が容易になる⁵⁾。また、手に持てる小型の映像ディスプレイは、実物体との隠蔽関係が表現しやすい、輻輳調節矛盾の緩和が期待できる、直観的に手で映像を操作できるなどの視触覚の融合がしやすいなどの利点が指摘されている⁶⁾。

キューブ型の立体映像提示装置に関する研究は既に幾つかなされており、映像提示の手法として、視点に追従した映像の変化で運動視差を表現したり⁶⁾、メガネを用いたステレオ立体視^{7),8)}などで実現されている。前者は特別なデバイスを装着する必要がなく利用形態としては自然ではあるが、ユーザが一人に限定される上に両眼視差の提示は難しい。後者は簡便に立体映像を得ることができるが、デバイスを装着する煩わしさがあり、参加人数も限定される。いずれにしてもユーザの視点を追跡する両手法では、人数分の追跡系をそれぞれ用意する必要があり、そもそも表示系を複数人に対応させることも困難である。そのため、本研究の目指すような気軽に話題に参加したり離れたたりす

ることも含まれる、多人数でのコミュニケーションを目的としたシステムには適さない。

2.2.2 裸眼立体ディスプレイ

裸眼で観察可能な立体映像提示手法に関する研究は、大別して立体視ディスプレイとポリウムディスプレイとが存在する。

前者は視体積（視点を頂点とし画像提示面を断面に持つ錐体）に含まれる物体を画像提示面に射影し、その面を通じて見えるであろう画像を両眼に適切に提示する手段を備えることで立体視させる方式である。例えば、水平に並んだ複数の視点から観察され得る画像を単一のディスプレイ面に集積して表示し、レンチキュラシートなどの光線制御子によってそれらを適切に分離して両眼に届ける方式が挙げられる。また、分離光学系に凸レンズアレイを用い、水平だけでなく垂直方向にも視差を提示するインテグラル・フォトグラフィ(IP)⁹⁾と呼ばれる方式も提案されている。これらの技術は研究の歴史も古く、比較的利用しやすい技術ではあるが、ポスターやテレビのようにやや離れて特定方向から「鑑賞する」用途で主に検討されてきた。

後者は空間中に何らかの方法で擬似的な光源を定義する方式であり、空気分子をプラズマ化して発光させたり¹⁰⁾、高速に回転する板に観察方向に応じた映像を同期させて投影する方式¹¹⁾などが提案されている。これらの方式では、複数人が同時に立体映像を周囲から観察可能であるが、比較的大がかりな投影系や機械的構造を要するために、デザインコンセプトにあるような立体映像を手に取りコミュニケーションするためのツールとして用いることは原理的に難しい。他にも、多数の LED を格子状に空間に配置した方式¹²⁾も提案されているが、LED の光源を密に配置すること自体が物理的に難しい上に、表層部以外の光はより外側の部品に遮られて、そもそも立体映像として提示しにくいという問題がある。

2.3 “gCubik” を実現するためのアプローチ

提案する手法では、裸眼で立体映像を提示するための技術として、立体視ディスプレイの一方式である IP の原理を応用する。キューブ形状の 6 面全てを IP ディスプレイとし、ディスプレイで囲まれる空間内に面を通じて観察されるであろう像の状態を立体的に再生する。これにより、あらゆる観察方向に応じた適切な立体映像がキューブの内部に再現可能である。

IP ディスプレイは、LCD などの表示デバイスと凸レンズアレイの組のみで立体映像を提示できるために、デバイスを小型に作製することが可能である。また、内部の空間を利用し、インタラクシオンに必要な機能

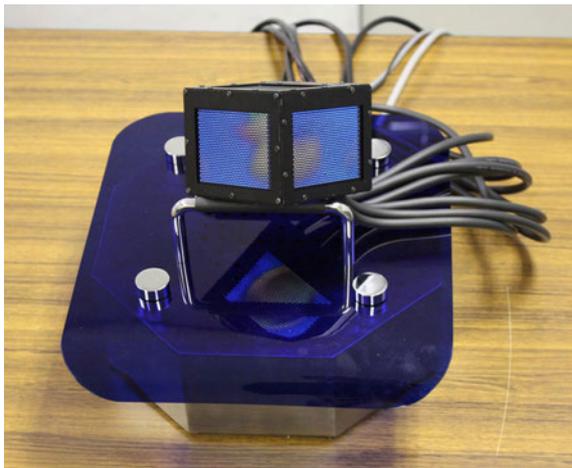


図 2 6面で実装した“gCubik”の外観
Fig. 2 Overview of the 6-face “gCubik”

を組み込むことも容易であるために、デザインコンセプトにて目指すシステムとの親和性が高い。

一般的なボリュームディスプレイの方式では、手に持てない大きさの構造が必要となるだけでなく、立体映像の内部に必要な機能を組み込むための空間が存在しない。また、表示している立体形状の背面となるべき光が手前側の面を透過してしまい、半透明な物体のように再現される問題があるが、立体視ディスプレイを組み合わせる本方式では原理的に背面からの光は観察されない。また、周囲いずれの方向からも観察でき、擬似的なボリュームディスプレイとして扱うことも可能である。

3. 実装

3.1 ハードウェアの構成

図 2 に今回 6 面で実装した“gCubik”の外観を、図 3 にそのシステム構成を示す。

システムは、キューブ形状の立体映像提示デバイスと、映像や入出力の信号等を中継処理する制御ボックス、レンダリングや信号処理等を行う計算機らで構成される。立体映像提示デバイスと制御ボックスは 1 m 弱の信号線で接続されており、ユーザらはデバイスを手に取り周囲から観察したり、立体映像に対して対話操作をすることが可能である。また、制御ボックスの上面は立体映像提示デバイスを設置しておく台座の機能も兼ねており、台座に置いたままでも鑑賞できる。

以下に、各部の詳細を示す。

3.1.1 立体映像提示デバイス

立体映像提示デバイスは、IP ディスプレイを 6 枚キューブ状に組み合わせた形をしており、大きさは約 10 cm 角、重さは約 950 g である（図 4）。

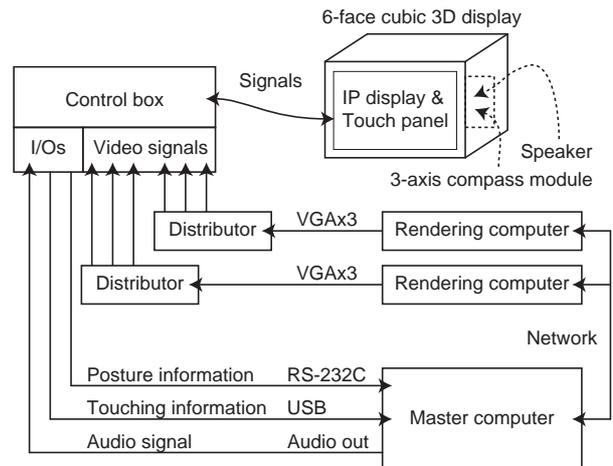


図 3 システムの構成
Fig. 3 System configuration

キューブの各面を構成する IP ディスプレイは、これまでに提案してきた広視野角なレンズアレイによる裸眼立体視ディスプレイ²⁾の技術を踏襲したものであり、3.5 型の LCD（解像度 VGA, 640×480 画素）と、120 度の広視野角で微小な凸レンズアレイを組み合わせたものである。

実際に映像が提示可能な領域は最大で 72×53 mm であり、その周囲には LCD の構造上絵の提示できない領域が若干生じる。この領域は、立体映像提示デバイスをガラスケースと見立てることで、ケース内部の立体形状を囲う「枠」と受け止めることも可能であるが、太すぎる枠が視界に入ると映像への干渉が強くなる。そこで、各ディスプレイは LCD の辺同士が接するように配置し、極力この枠が狭くなるように配慮した。

また、LCD を駆動させるための基板類は制御ボックス内に配置し、立体映像提示デバイス側には LCD の表示パネルのみを置いた。これにより、デバイス内部に空間を設けることができ、ここに後述する入出力のための機能を配置することが可能となった。

今回用いた LCD は一般的な 4:3 のアスペクト比を持つ長方形のものである。すなわち、これらを組み合わせても厳密には立方体のキューブにはならず、デバイスの上面と下面には一部隙間が生じる。今回の実装では、下側の隙間を制御ボックスと接続するための信号線ら进行处理するために利用した。

3.1.2 対話操作のための入出力機能

デザインコンセプトのようなコミュニケーションツールとしての可能性を検討するため、立体映像提示デバイスには対話操作を可能とするための幾つかの入出力機能を実装した。

立体映像提示デバイスの各面には、IP ディスプレイ

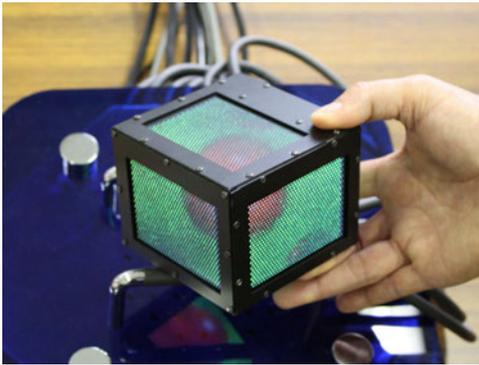


図 4 立体映像提示デバイス

Fig. 4 A cubic autostereoscopic display



図 5 タッチパネル

Fig. 5 A touch panel

と同サイズの 4 線式抵抗膜方式のタッチパネルをディスプレイの上面に配置した (図 5)。抵抗膜方式は設計によってある程度感圧性能を制御することが可能である。そのため、本デバイスを手に取り操作する状況であっても、単に持ちながら周囲の面に触れているだけでは反応しにくく、意識的に圧力を加えて操作することにより反応させることが可能である。この感圧点は電圧値の変化として検出され、A/D コンバータにてデジタル化される。そして、最終的に USB の通信プロトコルで出力されるようにシステムを構築した。

立体映像提示デバイスの内部空間には、動きを検知するための 3 軸磁気センサと 3 軸加速度センサが組み合わさったコンパスモジュール (Honeywell 社, TruePoint) を配置し、立体映像提示デバイスの姿勢を測定する。またスピーカも配置し、簡単な音刺激を提示できるようにした (図 6)。

3.1.3 制御ボックス

制御ボックス内には、立体映像提示デバイスを機能させるために必要な部品のうち、外部に配置しても問題なく、比較的容積を必要とする部品を配置した。例えば、LCD パネルの駆動基板やタッチパネルの駆動基板である。LCD パネルと駆動基板は通常フレキシ



図 6 スピーカと 3 軸コンパスモジュール

Fig. 6 A speaker and a 3-axis compass module

ブルケーブルで接続されているが、ここではその部分を 1 m 程度の多芯ケーブルで延長することにより両者を離れた位置に配置した。この際、単純な信号線の延長では画質の劣化を引き起こすため、一部の信号線に高速バッファIC やフィルタ用のコンデンサを入れるなどの対策を行った。タッチパネルに関しては、A/D コンバータを含む駆動基板と感圧パネルとの間で単純に配線を延長した。

制御ボックスには電源を立体映像提示デバイスに供給する機能や、センサ類の信号を中継する機能を持たせてある。制御ボックスに入出力する信号としては、各面用の 6 枚の VGA 映像信号、USB で出力される 6 つのタッチパネルの感圧点情報、コンパスモジュールから RS-232C で出力される姿勢情報、音声信号などである。

3.1.4 計算機

本実装では、IP ディスプレイ 6 面分の画像のレンダリングに 2 台の計算機 (Apple 社, Mac mini, 2G Hz, 4G Bytes, Intel GMA 950), それらを制御するためにさらに 1 台の計算機 (Apple 社, Mac Book Pro, 1G Hz, 1G Bytes, NVIDIA GeForce 4 MX) を用意し、それらをネットワークで接続した (図 7)。

レンダリング用計算機のディスプレイ出力には、映像分配機 (Matrox 社, TripleHead2Go) が接続される。この機器の機能により、レンダリング用計算機側からは 1920×480 画素のディスプレイがあるように認識される。各 IP ディスプレイ用にレンダリングされた 640×480 画素の画像は、横に 3 枚並べられた形で計算機から出力され、分配器によって適切な LCD に振り分けられる。すなわち、2 台のレンダリング用の計算機を用いることで、全 6 面の映像を供給する。

制御用計算機は、音声信号の出力や、タッチパネルやコンパスモジュールから得られる情報の処理を行う。また、得られた情報に基づいてコンテンツを変化させたり、表示している映像の同期を取る。必要な変更情



図 7 計算機群
Fig. 7 Computers

報は命令としてネットワークを通じてレンダリング用計算機に送られ、レンダリング用計算機では命令に応じて適切に映像出力を変化させる。

3.2 ソフトウェアによる処理

3.2.1 光線空間の再現

本裸眼立体ディスプレイでは、図 8 に示されるような実世界の立体形状に光が当たり、物体の表面にて拡散する光の状態を再現する。ある点から発する拡散光は各面上のレンズの位置で角度方向にサンプリングされ、IP の原理によってサンプリングされた指向性を持つ光線群が再現される。

LCD の発光面は凸レンズの焦点距離だけ離れて配置されており、理想的にはある方向からレンズを観察すると、対応する特定画素から発せられる光のみが、レンズにて集光されレンズ全体に広がって観察される。この実装では、各レンズには水平垂直それぞれ 18 画素を組とした画像（要素画像）が対応しているため、300 以上の異なる方向へ向かう光線が再生される。すなわち、後述するレンダリングアルゴリズムにより生成されるレンズ毎の要素画像群と、IP ディスプレイによって、特定の観察方向からは対応する適切な像のみが観察されることになる。

3.2.2 立体映像を再現するための条件

このようなキューブ形状に組み上げた IP ディスプレイでは、あらゆる方向からの観察を許容するために、広い視野角を担保し、十分な観察方向に対応した像を提示可能なレンズアレイが必要となる²⁾。著者らは既に、内部に表示する立体形状の大きさとレンズ位置、最も厳しい条件で観察する視点との関係から、各レンズが必要とする視野角を検討してきた。

今回実装した 10 cm 角ほどのキューブ型裸眼立体ディスプレイでは、両手で持ちながら観察する 50 cm を視距離として仮定すると、必要十分なレンズの視野

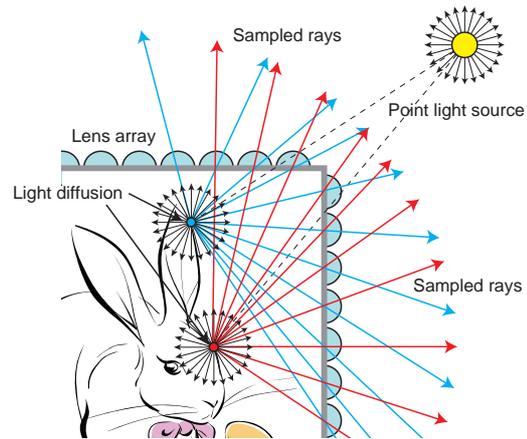


図 8 実世界の光線群とそのサンプリング
Fig. 8 Rays in the real world and sampled rays

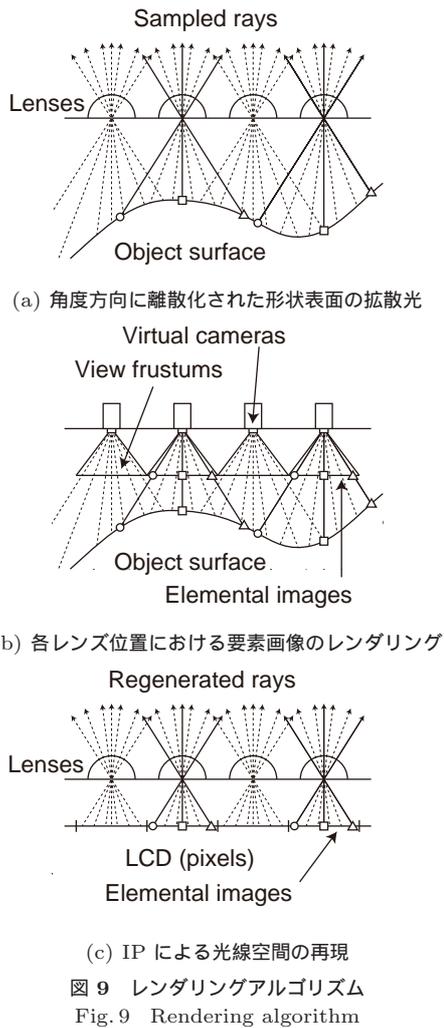
角は 120 度程度となる。この場合、キューブに内包される直径約 86 mm の球形領域内に定義した立体形状であれば、いずれの方角へも適切な像が提示される³⁾。

次に立体視が可能な条件を考える。観察者の瞳孔間距離を D_e とすると、キューブの重心を中心とした観察距離 D を半径とする球面上において、距離 D_e 以上の視点移動で異なる像が観察されるならば、両眼立体視が可能である。ここで、本実装での要素画像の幅は 18 画素分であり、120 度の視野角から算出すると 1 画素は約 6.7 度を担当することがわかる。移動距離は円弧として近似でき、角度 θ_e との関係が $\theta_e = D_e/D$ であることから、 θ_e を 6.7 度、 D_e を 65 mm とするならば、 $D = 56$ cm 付近まで立体視できることがわかる。すなわち、より近い距離の手元での操作時には常に立体として観察でき、それより遠方からは、運動視差により立体感を得ることができる。

3.2.3 要素画像のレンダリング

立体映像再生の基になる、要素画像を集めた LCD に表示すべき画像（IP 画像）は、Halle の手法¹³⁾ を拡張した以下のアルゴリズムを用い、モデリングした立体形状からコンピュータグラフィクスにて生成した。

まず、キューブの内部にワールド座標系と原点を定義し、設計上の各 IP ディスプレイ面の配置や姿勢を基にして、面上に並べられた各レンズ中心の座標を算出する（図 9a）。次に、内部に収まる立体形状を持つシーンを定義し、レンズごとにシーンをレンダリングする。レンダリング用のカメラは各レンズの中心に配置し、キューブの内側、レンズが並ぶ面に対して垂直な方向へカメラを向ける（図 9b）。カメラの画角はレンズの視野角と同じとし、撮影する画像の窓サイズは今回の実装では 160×160 画素とした。こうしてレン



ダリングした後、要素画像のサイズ(18×18画素)にダウンサンプリングする。最後に、各レンズ位置に要素画像が表示されるようにIP画像を生成し、対応するLCDに表示する(図9c)。

これらのアルゴリズムは、要素画像の各画素に対応する光線の射出方向を逆にキューブの内部方向へ辿り、立体形状データとの交点の色を求めることと同じであり、ハードウェアの機能にて高速に演算可能である。この結果は、内部の立体形状表面から拡散して射出される光線群を、レンズ位置にて角度方向にサンプリングしたことに相当する(図9a)。

3.2.4 実時間対話操作の簡易実装

上述のレンダリングアルゴリズムはOpenGL等の一般的なライブラリの機能を用いて実装できる程度の簡便なものである。最終的には窓サイズを要素画像のサイズに近づけたり、グラフィクスハードウェアの機能を用いて並列処理をするなどしてレンダリング速度の最適化が必要であると考えられるが、リアルタイムレンダリングに関しては次の課題としたい。

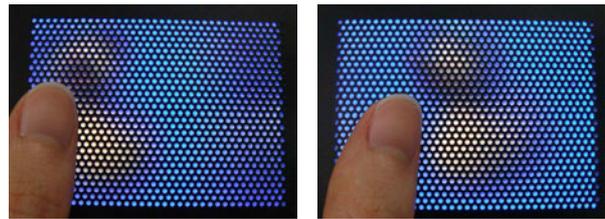


図 10 実時間対話操作の例
Fig. 10 An example of real time interactions

そこでここでは、簡単な対話操作の事例を検討するために、想定される反応をすべてあらかじめ用意し、それらを切り替えながら提示する手法により擬似的なリアルタイムインタラクシオン環境を実装した。

タッチパネル上でのジェスチャにより、立体形状の姿勢を操作する場合を例に取り説明する(図10)。まず、あらかじめあらゆる角度に回転した状態の立体形状をレンダリングしておく。レンダリングしたIP画像は、以降の呼び出しがしやすいように、X軸方向の回転角度やY軸方向の回転角度等を姿勢を示す名称としてタグ付けし、保管しておく。次に、タッチパネルによる操作が検出された場合、現在の立体形状の姿勢を更新し、新しい姿勢に対応した画像をタグを手掛かりにして取得し、表示する。

実際にはメモリの制約からIP画像はファイルとして外部記憶に貯めておくこととした。ファイルの読み込みにはLRU(Least Recently Used)方式のキャッシュアルゴリズムを用いるなどして、直近の操作に対する反応を良くする。制御用計算機は適切な姿勢を計算し、読み込むべき画像をレンダリング用計算機に通達する。画像の読み込み速度はレンダリング速度と比較して高速であり、充分リアルタイムでの処理が可能である。

4. 考 察

4.1 裸眼立体ディスプレイとして

今回の6面での実装により、デザインコンセプトのひとつである、裸眼で複数人が同時に観察可能な立体映像を提示することができた。また、表示系にIPディスプレイを用いることにより、手に持てる程度のサイズでの実装も達成した。

本システムを純粋な裸眼立体ディスプレイとしてみた場合、画質の面ではまだ工夫の余地が残る。基本的にIPでは、サンプリングする光線の方向数と、結果的に観察される立体映像の解像度との間にトレードオフの関係がある。また、枠の存在も画質の低下を引き起こすと考えられる。今後、表示デバイスとしてより高解像度のものを採用するか、他の立体視方式を検討する必要がある。

今回の実装では水平垂直 18 画素分の要素画像を用いているため、およそ 35×26 画素相当の立体映像として観察されていることになる。これは視距離 50 cm での視角が 14 分（視力 0.07）となるため「良好な画質」とはとても言い難い。参考に、携帯ゲーム機の草分けである初期の任天堂社ゲームボーイの解像度は、同視距離で視角 2 分（視力 0.5）程度である。ただし、ある程度の方向数にて再現された立体映像では、画素数が 2 倍以上の平面画像と同程度の解像度として主観的に評価されるとの報告¹⁴⁾もある。そこで、視角 4 分の達成を一里塚として考えると、立体映像としての解像度は同条件でおよそ 120×90 画素必要であり、表示デバイスの能力は QXGA(2048×1080 画素) クラスのものが求められる。

ただし、本システムをコミュニケーションツールとしてみた場合、そこまでの解像度を求められない可能性も考えられる。例えば、手に取り様々な方向から観察することにより運動視差を得ることもでき、主観的な解像度のさらなる向上が期待できる。また、対話操作によりコンテンツに動きを与えることによって、心理的な印象が変化することも考えられる。

4.2 手元の立体映像とのインタラクション

今回実装したインタラクションは、キューブの面上をドラッグすることにより、中の映像を回転させる。面上をタップすることにより、映像を切り替えたり、切り替え時に音を出す。立体映像提示デバイスの姿勢を変化させても常に内部の像を水平に保つ等の、ごく初歩的な対話操作らである。次の課題としては、より多彩なインタラクションの実現だけでなく、本デバイスを用いた新しいインタラクションメソッドの構築が重要であると考えられる。

例えば、複数台の“gCubik”や他のコミュニケーションツールと連携したインタラクション環境への展開が期待される。前節でも述べたように、“gCubik”は画質の面では現状では不足するが、代わりに立体映像を手にすることができるという大きな利点がある。そこで、詳細な検討は高品質なテレビ型の裸眼立体ディスプレイを用いて行い、手元の“gCubik”にはアイコン的な簡素化した立体映像を表示しておき、様々な方向から大きな視点で検討を加えるといった使い方が考えられる。その際、テレビ型ディスプレイの視点も“gCubik”の傾きに応じて変化させたり、手と指でこねるように手元で立体の形状を変化させる指示を出すなど、様々な直観的なインタラクションがこれらの関係によって達成できると考える。

また、他の入出力機能の追加も今後の検討すべき課

題のひとつである。例えば、複数点の接触情報や圧力ベクトルを検知するようなタッチパネルへの変更や、複数のスピーカを配置することによって立体的な音響を生成したり¹⁵⁾、振動や慣性力による重さなどの触覚情報提示¹⁶⁾等の機能追加も入出力手段として有用であると考えられる。

本試作機においては、面上の実装部品を取り替えたり、内部空間に収めたユニットを改修する形で新しい機能を付加することが可能である。

4.3 立体映像を介したコミュニケーション

任意方向から同時に裸眼で立体像を観察可能であれば、図 1 に示したような複数人でのコミュニケーションを、映像を交えて自然に行えるであろう。例えば、通信や放送の技術と融合することによって、遠隔地にいる家族の映像を立体映像のデジタルフォトフレームとして再生することができるであろうし、自然公園でコビトのように立体表示された手のひらの上のガイドが指さした方向の植物を説明したり、それに対してユーザが問い返すといった双方向なガイダンスシステムなども実現できると考える。

今回実現した立体映像は、モデル化された立体形状をあらかじめ幾つもレンダリングしておき、必要に応じて適切な画像を選択して提示する方式であるが、今後の課題としてはリアルタイムレンダリングの他にも、実写の出力が挙げられる。IP 用の実写の取得と再生については、実時間で 3 次元形状を取得してコンピュータグラフィクスにて IP 画像を生成する本提案レンダリングアルゴリズムに準じた手法や、IP の原理を撮像系に応用した方式のカメラ¹⁷⁾で対象の周囲から撮影することにより、直接 6 面用の IP 画像を取得する手法等が利用可能であると考えられる。

5. おわりに

複数人で観察可能なキューブ型裸眼立体ディスプレイ“gCubik”の提案を行い、6 面での実装を行った。また、ユーザとのインタラクションを可能とするための入出力機能を与え、簡単な対話操作ができることを示した。さらに、立体ディスプレイとコミュニケーションツールとして要求される画質について検討し、今後必要なインタラクションメソッドに関する考察を加えた。

今後の課題としては、システムの無線化や軽量化、画質の改善などが挙げられる。また、対面や机上作業のような、実際のコミュニケーションを対象とした支援手法の提案などを考えている。

参 考 文 献

- 1) 吉田俊介, ロペス=グリベール・ロベルト, 井ノ上直己: 複数人で観察可能な箱形立体ディスプレイの検討, VR 学会 12 回大会, 2C2-4 (2007).
- 2) Roberto Lopez-Gulliver, 吉田俊介, 矢野澄男, 井ノ上直己: 広視野角なレンズアレイの提案による箱形立体ディスプレイの検討, インタラクシオン 2008, 2008(4), 187-188 (2008).
- 3) 吉田俊介, Roberto Lopez-Gulliver, 矢野澄男, 井ノ上直己: 複数人で観察可能な箱形立体ディスプレイ gCubik - 3 面での初期実装検討 -, 3 次元画像コンファレンス 2008, 129-132 (2008).
- 4) 総務省: 「ユニバーサル・コミュニケーション技術に関する調査研究会」の最終報告 (2005).
- 5) 伊藤雄一, 北村喜文, 河合道広, 岸野文郎: リアルタイム 3 次元形状モデリングとインタラクシオンのための双方向ユーザインタフェース Active-Cube, 情処学論, 42(6), 1338-1347 (2001).
- 6) 川上, 稲見, 柳田, 前田, 館: オブジェクト指向型ディスプレイの研究, 情処学論, 40(6), 2727-2733 (1999).
- 7) Hong Hua, Leonard D. Brown, Chunyu Gao: System and interface framework for SCAPE as a collaborative infrastructure, *Presence: Teleoper. Virtual Environ.*, 13(2), 234-250 (2004).
- 8) Ian Stavness, Florian Vogt, Sidney Fels: Cubee: a cubic 3D display for physics-based interaction, *Proc. SIGGRAPH 2006*, 165 (2006).
- 9) Gabriel Lippman: Epreuves reversibles donnant la sensation du relief, *J. De Physique*, 7, 821-825 (1908).
- 10) Hidei Kimura, Taro Uchiyama, Hiroyuki Yoshikawa: Laser produced 3D display in the air, *Proc. SIGGRAPH 2006*, Emerging technologies, 20 (2006).
- 11) Andrew Jones, Ian McDowall, Hideshi Yamada, Mark Bolas, Paul Debevec: Rendering for an interactive 360° light field display, *Proc. SIGGRAPH 2007*, 40 (2007).
- 12) James Clar: 3D Display Cube, <http://jamesclar.com/> (2002).
- 13) Michael Halle: Multiple viewpoint rendering, *Proc. SIGGRAPH 1998*, 243-254 (1998).
- 14) 大力孟司, 畑田豊彦, 高木康博: VGA 解像度高密度指向性ディスプレイによる質感表現に対する主観評価, 3 次元画像コンファレンス 2006, 69-72 (2006).
- 15) 勝本道哲, 山肩洋子, 木村敏幸: 異なる放射特性を持つ球形スピーカの実装, 日本音響学会聴覚研究会, H-2007-146, 837-842 (2007).
- 16) 雨宮智浩, 安藤英由樹, 前田太郎: 知覚の非線形性を利用した非接地型力覚惹起手法の提案と評価, 日本バーチャルリアリティ学論, 11(1), 47-58 (2006).
- 17) F. Okano, H. Hoshino, J. Arai and I. Yuyama: Real-time Pickup Method for a Three-dimensional Image Based on Integral Photography, *Appl. Opt.*, 36(7), 1598-1603 (1997).