拡張サーバ・クライアントモデルに基づく3次元ディジタル画像処理の分散処理環境に関する一考察

正　員　岡田　　稔[†]　　正　員　横井　茂樹[††]　　正　員　鳥脇純一郎[††]

A Study of Distributed Environment for Three-Dimensional Digital Image Processing Using Extended Server-Client Model

Minoru OKADA[†], Shigeki YOKOI[††] *and* Jun-ichiro TORIWAKI[††], *Members*

あらまし　3次元ディジタル画像のための分散型画像処理環境の一構成方法について考察する．ここで提案されるVISUALは，拡張されたサーバ・クライアントモデルに基づいている．すなわち，画像を管理する一つのサーバ，一連の画像処理における処理単位に対応するクライアントによって画像処理システムを構成する．VISUALは，複数のクライアントプロセスをサーバのもとで協調して動作させるためのプラットフォームを提供する．本論文では，VISUALの基礎概念，設計方針と実装方法について述べる．また，機能分散とプログラム隠ぺいによる画像処理システム開発の効率化に有効であることを示す．

キーワード：拡張サーバ・クライアントモデル，3次元画像処理，分散処理，プログラム隠ぺい

1．まえがき

画像処理はマルチメディアの重要な一要素となる画像を扱うが，その膨大なデータ量，特殊な入出力装置の必要性などが画像処理システムを効率的に構築する上での障害の一つとなっている．また，昨今では会話型の画像処理システムが多数提案されており，機動性，マン・マシンインタフェースなどの点からワークステーション(EWS)の利用が多くなってきている．しかし，2次元でも場合によっては画素数が数千×数千オーダの画像処理，更には，より大量のデータを扱う3次元画像に至っては，単一のEWSのみでは極めて不十分である．このような場合，一連の処理を機能ごとに分散し，処理の並列化を図ることがこれらの問題の解決の一方法である．実際，画像単位での並列処理は多くの専用高速処理装置で実現されている[(1)]．また，特定目的の装置ではパイプライン方式その他特殊の工夫もある．しかし，より高次の処理単位間での並列化がユーザ側で柔軟に実現できるような方式についてはまだ研究段階に留まっている．

一方，画像処理システムの開発の過程におけるプログラム管理の面から見れば，複数の開発者が関与している場合には，開発者相互の連絡が重要であり，適当な間隔で仕様等の整合をとる必要がある．そのため，プログラム全体を機能ごとに分離し，完成されたモジュールとして個別管理(プログラムを隠ぺい)することが行われてきた．この場合，サブルーチンレベルやソースレベルの管理ではなく，一つの完結したプログラムのレベルで管理する方法が有効である．

一方，計算機ネットワーク技術の進歩によって，複数の計算機を有機的に結合して処理の効率化を行うことが可能となってきている．その結果，分散化パラダイム[(2)]やオブジェクト指向パラダイム[(3)]の有効性が注目され，これらを用いてワークステーション環境における次世代の画像処理環境を目指した研究[(4)]も盛んに行われている．しかしながら，それらの研究も，それぞれの特色と共に課題も残している．

例えば，黒野ら[(5)]はSmalltalkを用いたオブジェクト指向による画像処理システムについて報告しているが，画像と処理の両方をオブジェクトとして扱うことを主目的とするものであり，機能分散については言及

† 名古屋大学情報処理教育センター，名古屋市
Education Center for Information Processing, Nagoya University, Nagoya-shi, 464-01 Japan
†† 名古屋大学工学部情報工学科，名古屋市
Faculty of Engineering, Nagoya University, Nagoya-shi, 464-01 Japan

されていない．松尾ら[6]は，オブジェクト指向に基づいた分散型の2次元画像処理システムVIOSを提案しているが，ただ3個のプロセスから構成され，システムによって提供された画像処理のみが使用可能であるため，実現できる処理に限界がある．田村ら[7]は，単体のワークステーションと画像処理専用プロセッサの結合による2次元画像処理環境VIEW-Stationを提案している．これはC++による画像処理ライブラリに基づくオブジェクト指向を取り入れた環境を提供するものであるが，機能の分散とネットワークへの対応が課題とされている．

本論文ではサーバクライアントモデル[8]に基づく3次元ディジタル画像のための会話型画像処理環境の一構成方法（VISUAL：Visual Image processing System Under process ALliance と呼ぶ）を提案する．ここでは，一連の画像処理の手順のほとんどすべてが適当な処理単位に分解されることに注目する．VISUALは，最近のワークステーションによく用いられ始めたサーバ・クライアントモデルに着目し，それら処理単位に対応する複数のクライアントプロセスをサーバの下で協調して動作させるためのプラットフォームを提供する．ユーザプログラマはVISUALのアーキテクチャ，特にサーバとの通信方法に関する知識を有すれば新たにクライアントを作成することができる．また，他のクライアントの内部詳細を知る必要はなく，外部仕様に関する知識を有すればVISUALのもとで画像処理システムを構築することができる．これらの目的のためにユーザプログラマに対してライブラリVlibが提供される．

以下，**2.** では本方法が目的とする画像処理の分散化とその利点について考察する．**3.** ではVISUALのアーキテクチャとサーバの設計，ネットワーク対応方法について述べ，**4.** ではライブラリVlibを用いたクライアントの作成方法を示すと共に具体例として3次元画像表示クライアントについて述べる．**5.** ではいくつかの実験例を示し，本方法の有効性を検討する．

2. 画像処理の分散化

2.1 プログラムのモジュール化

画像処理システム，とりわけ，会話型の画像処理システムは，システム内に画像の入力，会話処理，画像自体の処理，出力という性格の異なるフェーズを含む．会話型画像処理システムではそれらのフェーズを一貫して一つの計算機で，一つのプロセス（プログラム）として処理を行うのは，ハードウェアが煩雑になり，その結果，制御プログラムも複雑になることから好ましくない．

これに対して，画像処理の一連の作業をモジュール化し，その機能ごとに複数のプロセスに分散化することによって以下に示すような利点が生じる．

（1） モジュールを機能別に単純化できる．

（2） モジュールごとに異なる記述言語での開発が容易となる．

（3） 実行オブジェクトレベルのプログラム共有が可能となる．

筆者らの研究室では，従来ソースレベル，リンクライブラリレベル（特にサブルーチン）の共有が画像処理ライブラリSLIP[9]，SLIP3D[10]などによって可能となっており，その効果は非常に大きなものである．上記の利点は，これを更に進めて完結したソースプログラム†のレベルや，その実行オブジェクトのレベルで共有可能とするものである（図1）．すなわち，（1）によってソースプログラムの隠ぺいが可能となり，多世代開発者や複数開発者による開発作業効率を飛躍的に向上させる．また，問題に適応した異なる記述言語で個々のモジュールを作成することが容易となり，記述性の高いシステム構築が可能となる．更に，多くの画像処理目的に共通な部分をモジュール化することができれば完結したプログラムのレベルでのプログラム共有が期待される．

2.2 処理単位の分散化

ネットワークで有機的に接続された複数の計算機群をオンラインで利用することによって，ネットワーク中の個々の計算機の特性に合った使用形態が可能となる（機能分散）．

例えば，基本的な計算能力が非常に高いメインフレームをはじめ，手軽に使用できるワークステーション（EWS），高度な3次元表示機能を備えたグラフィックEWS，高度な対人インタフェースを備えた高機能端末（X[11]端末など）などに対して，それぞれの特性に合った使用形態（図2）が可能となる．

一方，ある程度複雑な画像処理手順は，より単純な処理単位に分解できる．例えば，濃淡画像中の対象物輪郭線抽出を目的とする処理単位は，平滑化→差分→2値化→細線化のようなより低次の処理単位から構成

† ここではサブルーチンや関数等に加えてメインモジュールを含み，実行に際して外部結合を必要としないプログラムを完結したプログラムと言う．

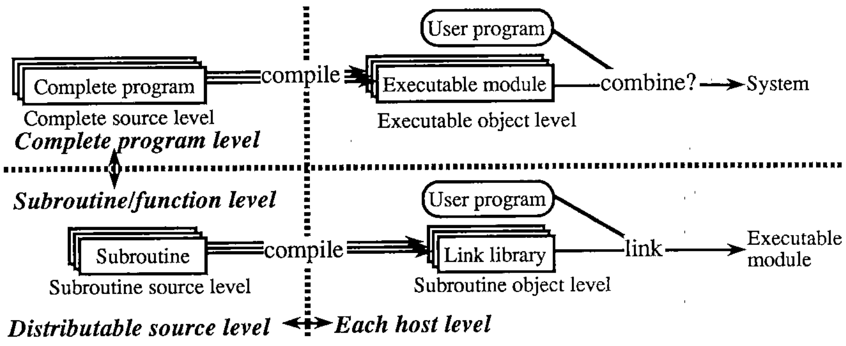
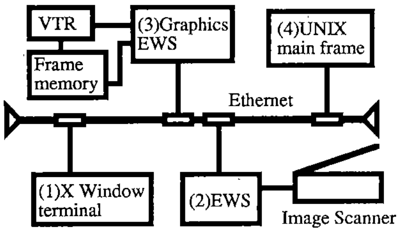


図1 4レベルの部品化によるプログラム隠ぺい
Fig. 1 Four levels of program hiding by module library.



(1)XWindow terminal
Console for operator.
(2)EWS
Image I/O and secondary storage.
(I/O clients)
(3)Graphics EWS
Recording and advanced 3D representation.
(3D client)
(4)UNIX main frame
Processing without I/O.
(VISUAL server, image processing clients)

図2 計算機ネットワークによる画像処理の機能分散
Fig. 2 Functional distribution of image processing by computer network.

される．また，この処理系列を対話的に実行する際には，画像データの入力，出力(表示)，処理パラメータ入力等の単位が各処理単位の実行に付随する．このような入出力処理までも含めると，それぞれの処理はハードウェアの特性にも密接に関係するため，各処理に見合った計算機に処理単位で分散させることによって画像処理システム全体の効率化が図れる．

本論文で提案する分散型画像処理環境 VISUAL は，上記のようなさまざまな処理単位の実行を分散処理させることによって，**2.1**，**2.2** の諸特性の達成を目的とするものである．

3. VISUAL の概要とアーキテクチャ

3.1 VISUAL の概要

VISUAL はボクセル形式の3次元ディジタル画像[10]のための画像処理環境を提供する．サーバクライアントモデルに基づく本システムは，画像を管理する一つの VISUAL サーバプロセス(以下，単にサーバと言う)と，画像処理における一連の処理単位に対応する複数のクライアントプロセス(以下，単にクライアントという)から構成される．システムとしてあらかじめ提供されるのは，サーバと，サーバ-クライアント間の通信プロトコルのためのライブラリ Vlib である．ユーザはこのライブラリを使用することによってクライアントプログラムを自由に作成することができる．

従来のサーバ・クライアントモデルでは，サーバとクライアントはリクエストとリプライという手続きによって双方向の通信を行う．本論文では，従来のサーバ・クライアントモデルに対して，画像配列への直接アクセスを可能とすること(**3.2** 参照)，および，それを実現するためのネットワーク対応方法(**3.3** 参照)を含めて，拡張サーバ・クライアントモデルと呼ぶ．

3.2 VISUAL における画像の管理

ここでは VISUAL における3次元画像のアクセス管理機能について述べる．VISUAL クライアントは，サーバが管理する3次元画像をリクエストによらずにアクセスすることができるようにする．このため，サーバは，3次元画像を管理し，自身と複数のクライアントに対する画像のアクセス権を管理する．画像アクセス権は読出しのための read 権，書換えのための update 権があり，update 権は読出しのみも可能とする．update 権のみが排他管理され，read 権はサーバの管理によっ

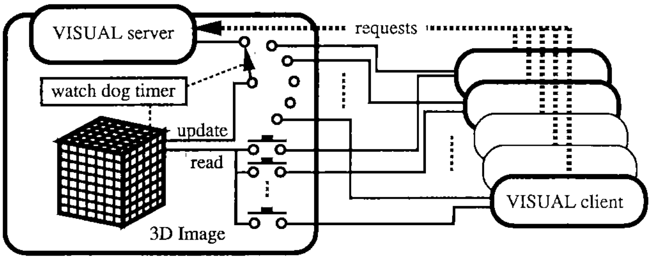


図３　VISUAL における画像の管理
Fig. 3　Management of an image on the VISUAL.

て複数プロセスに与えられる（図３）．update 権は read 権と独立であるが，初期状態においてはすべてのクライアントはアクセス権をもたず，サーバが update 権を有する．

クライアントは初期状態ではアクセス権はない．画像を操作したり，参照したい場合はサーバに対してアクセス権を要求しなくてはならない．アクセス権を取得し，画像の操作，参照が終了した場合は，アクセス権放棄をサーバに通知しなくてはならない．サーバはアクセス権の watch dog timer 機能をもつ．すなわち，サーバはクライアントに対して update 権を発行した場合は，画像の書換え状況を監視し，一定時間 update が行われない場合は強制的に update 権をはく奪する．

ところで，VISUAL で扱う画像は３次元画像であり，非常に膨大な情報量となる．単純な画像処理においても画像データの実体，すなわちメモリへのアクセスは頻繁なものであり，ここでは排他制御に基づく画像保護は好ましくない．VISUAL では，画像メモリへのアクセス速度の低下を防ぐために，サーバは画素アクセス単位での排他制御を行わず，アクセス権の保有状態の管理のみを行うものとする．すなわち，クライアントはアクセス権の有無にかかわらず，強引に画像アクセスを行うこともできるが，アクセス権のないときにアクセスしてもその結果は保証しない，というものである．これは，例えば update 権のあるプロセスから見ると，アクセス権を遵（じゅん）守する他のプロセスによって書換えが起こることはない，という立場である．また，read 権のないプロセスから見ると，画像をアクセスしてもその値は正当でない可能性がある，という立場である．このようないわば緩いアクセス保護を採用することにより，クライアントプログラムの作成者はアクセス権の有無に気を使わなくてはならなくなる（特にアクセス権の放棄）が，メモリアクセスのオーバヘッドがないために，画像処理の速度が向上するという利点がある．

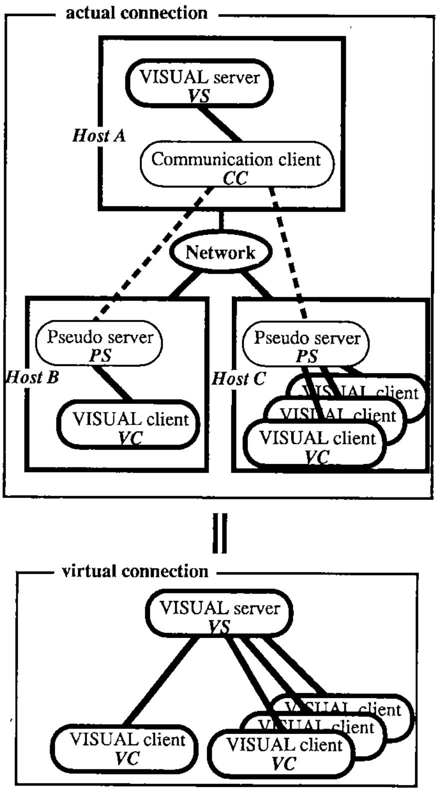


図４　擬似サーバと通信クライアントによるネットワーク対応
Fig. 4　Inter-host connection by pseudo server and communication client.

3.3　VISUAL のネットワーク対応

ここでは，ネットワーク[(12),(13)]で接続された異なる計算機上にサーバやクライアントを配置するための実現方法として，擬似サーバと通信クライアントを用いる方法について述べる（図４）．VISUAL ではクライアントとサーバの通信は原則としてリクエスト/リプライに

よって行われるが，高速化のために画像のアクセスはメモリ操作によって行っている（前節参照）．この画像アクセスの方式も可能とするためにリクエスト/リプライのみで行われる通常のサーバ・クライアントモデルとは異なった方法でネットワークに対応する必要が生じるため，次のようにしている．

サーバVSが計算機A上に置かれ，クライアントVCがAとネットワーク接続された計算機B上に置かれるものとする．本方法では，計算機Aに通信クライアントCCを置き，計算機Bにあらかじめ擬似サーバPSを置く（図4）．一つの通信クライアントによって複数の擬似サーバに対応する．擬似サーバPSはサーバVSが保持する3次元画像と同一サイズの複製画像をもち，クライアントVCから見ると擬似サーバPSはサーバとして認識される．擬似サーバは自己の保有する画像の変化状況を監視し，変化分を通信クライアントに通報する．また，通信クライアントはサーバの保持する画像の変化状況を監視し，変化分を各擬似サーバに通報する．このようにしてサーバと複数の擬似サーバの画像は同期をとられる．擬似サーバPSと通信クライアントCCの存在によって，クライアントVCとサーバVSはお互いに直接通信しているように動作できる．

以上のようにVCとVSの間にCCとPSを置くことによって，（1）CCはVSからは単にVCとして見え，PSはVCからは単にVSとして見えるため，見掛け上は従来のサーバ・クライアントモデルと同様に見えることになり，VSとVCの動作と構造が単純化される．（2）同一計算機に複数のVCがあっても，画像配列を有するPSは各計算機に一つあれば十分であるので効率的である，という利点がある．

この計算機間のプロセス間通信はソケットやRPC(13)を用いて実現されているが，詳細は省略する．

4. VISUALクライアント

4.1 3次元画像処理のためのVISUALクライアント

VISUALは会話型の3次元画像処理に適したプラットフォームの提供を目的とする．そのため，例として次のような処理目的をもつクライアントが望まれる．

（1） 3次元画像の表示（投影表示，断面表示，立体視）
（2） 画像のファイル入出力
（3） 画像の会話的操作
（4） 非会話的画像処理
（5） プロセス管理マネージャ

（1）は3次元画像を扱う上で必須のものである．実際，表示（グラフィックス）機能の比重が極めて大きいことは3次元画像処理の大きな特色である(12),(14)~(17)．（2）は個々の画像ファイルのフォーマットの差異を吸収させ得るという点で重要である．（3）は3次元画像を構成する画素の会話的操作，特に実世界の物体操作に対応する3次元画像による擬似操作（例えば外科手術のシミュレーション(14)）に応用されるものである．（4）では会話

```
#include <stdio.h>
#include <Vlib.h>                          /* Header file of library "Vlib" */

int main(){
    VISUAL *vp;                            /* Pointer to structure VISUAL */
    int x,y,z,xs,ys,zs;
    3Dimg ***ia;
    if((vp=VOpen("hostname"))==NULL) {/* Connect client with server */
        fprintf(stderr,"can't connect VISUAL server\n");
        exit(1);
    }
    ia=VGetImgArray(vp,&xs,&ys,&zs); /* Get pointer to an image */
    while(!VRequest(vp,PERM_UPDATE));/* Asking for permission of access */
    for(z=0;z<zs;z++){
        for(y=0;y<ys;y++){
            for(x=0;x<zs;x++){
                ia[z][y][x]=0;
            }
        }
    }
    VRequest(vp,DISPERM_UPDATE);           /* Renounce permission */
    VClose(vp);                            /* Disconnect client from server */
    return(0);
}
```

図5 画像の0クリアのためのクライアントプログラム例
Fig. 5 An example client program for zero-clearing.

を伴わない一般の画像処理を実行する．更に，これらの複数のプロセスのスケジューリングを行うために(5)が重要となる．

4.2 ライブラリ Vlib によるクライアントの作成方法

ユーザによるクライアントの作成を支援するために，ライブラリ Vlib が整備されている．Vlib は，サーバとの通信など種々の処理を行う関数またはマクロから構成されている．ユーザはC言語によってクライアントを作成する場合はヘッダファイル〈Vlib. h〉を参照することにより Vlib を使用することができるが，処理内容によっては同一の処理を関数とマクロの両方で実現しており，プログラミングの自由度を高くしている．

図5に示すプログラムは画像を値0でクリアするためのクライアントの例である．

4.3 3次元画像の投影表示クライアント

代表的なクライアントの例として，**4.1** で示した3次元画像の投影表示を行うクライアントを作成した．このクライアントは X Window System のアプリケーションとして作成されており，サーバが管理する画像をいくつかの条件下でウィンドウに投影表示するものである．すなわち，サーバが画像本体と共に有する環境条件と，個々のウィンドウに設定される観測条件に基づいて，画像の特性値をラベルとみなして平行投影により擬似カラーでボクセル表示を行う．

環境条件と観測条件は以下のとおりである．

環境条件：画像の相対位置，向き，大きさ，光源の位置など

観測条件：視点位置，視線方向，拡大率，投影方法など

本表示クライアントを複数プロセスで起動すると，それぞれのクライアントプロセスを対応する表示ウィンドウは全く独立に振る舞う．すなわち，環境条件の変更はすべてのクライアントプロセスのウィンドウに反映され，観測条件の変更は当該クライアントプロセスのウィンドウのみに反映される．このような動作によって，一つの画像を複数の観測者が自由に参照することが可能である．この効果は，例えば先に述べた手術計画支援のような目的に特に有効なものであろう．

4.4 VISUAL の動作手順

ここでは簡単な例として，(1)画像ファイルを読み込み，(2)それを表示する，という処理を，画像ファイル読込みのための VC1，**4.2** の投影表示クライアント VC2 によって実現する場合の VISUAL の動作手順と動作概要を述べる．

(A) 同一計算機A上に VS，VC1，VC2 を置く場合の動作手順

(1) VS を起動する．
(2) VC1 を起動する．
(3) VC2 を起動する．
(4) VC1 に対して読込み指示を行う．

(2)において，VC1 は VS に対して画像の確保を要求し，VS は共有メモリに画像配列を確保する．VS は，各クライアントに対して画像確保のイベントを発行する．次に，(4)において，VC1 はユーザの指示によって読み込んだ画像データを共有メモリに書き込むと，VC2 は，直ちに画面に反映する．

(B) 計算機Aに VS，VC1 を置き，計算機Bに VC2 を置く場合の動作手順

(1) A上で VS，CC，またB上で PS を起動する．
(2) A上で VC1 を起動する．
(3) B上で VC2 を起動する．
(4) VC1 に対して読込み指示を行う．

(1)において，CC と PS は通信を開設する．(2)において，VC1 は VS に対して画像の確保を要求し，VS は共有メモリに画像配列を確保する．ここで PS の状態は，CC によって VS の状態と同期される．VS は，各クライアントに対して画像確保のイベントを発行する．CC，PS を通じて VC2 にも同様に発行される．次に，(4)において，VC1 はユーザの指示によって読み込んだ画像データを共有メモリに書き込むと，VC2 は，直ちに画面に反映する．

なお，現在は，クライアントのスケジューリングは手動で行っているが，この目的のためのスケジューラを VC として実現する予定である．また，CC と PS の起動は，それぞれ VS，VC から自動的に行うことを検討している．

5. 動作表示例と評価

ここでは，**4.3** で実現した3次元表示クライアントによる動作表示例を示す(図6～8)．図6は画像サイズ 20×20×20(画素)の人工画像(半球状3次元2値図形)の表示例である．図7は，斉藤ら[15]による縮退した結び糸(3次元ディジタル線図形：画像サイズ 20×20×20)の表示例である．更に岡田ら[16],[17]による胸部 MRI 画像に基づく心内膜の表示例を図8に示す．この3次元画像はサイズ 86×86×86 のラベル画像であり，自動抽出された左心系，右心系などの図形成分に対応したラベル値によって擬似カラー表示されている．

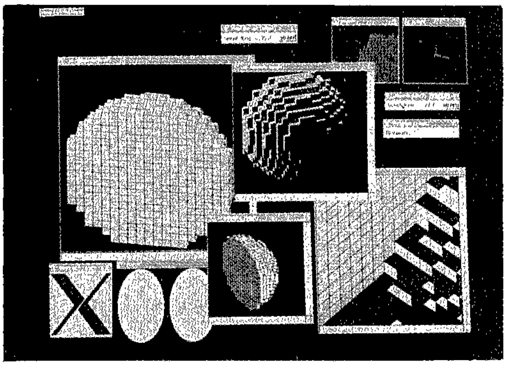


図6　人工図形の表示例
Fig. 6 Representations of an artificial 3D figure.

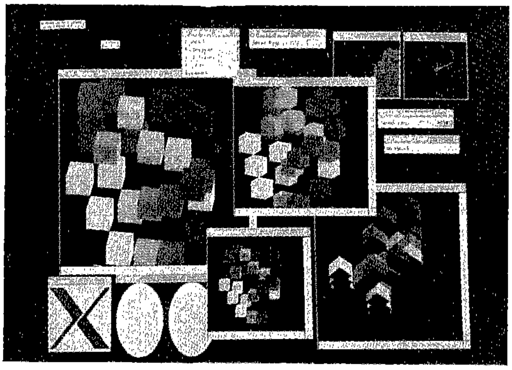


図7　斉藤らによる結び糸の表示例
Fig. 7 Representations of a reduced digital knot by Saito et al.[14].

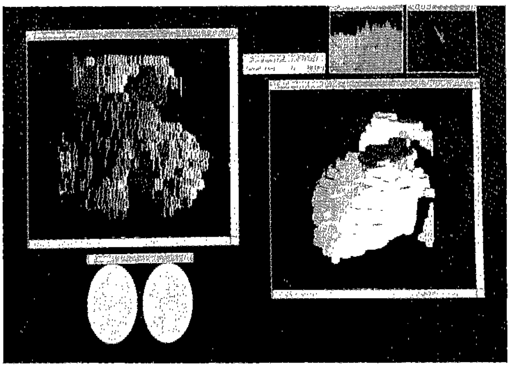


図8　岡田らによる心室自動抽出結果の表示例
Fig. 8 Representations of an extracted ventricles from a chest MRI image by Okada et al.[15],[16].

各図において，表示されている複数のウィンドウは別々のクライアントプロセスに対応しており，独立に観測条件を変化させたものである．ウィンドウ枠上部には当該クライアントプロセスが稼動しているホスト名が表示されている．このように，サーバとクライアント，そしてユーザが直接対話するXサーバをネットワーク上に自由に分散配置することが可能であることが確かめられた．

表1　システムの応答性

画　像　名	画像サイズ	T_1 [sec]	T_2 [sec]
Cubic	20×20×20	4.1	2.7
Knot	20×20×20	4.5	0.9
Heart	86×86×86	9.3	602.5

次に，サーバと3次元表示クライアントをEthernet (TCP/IP)で接続された別の計算機で稼動させ，システムの応答性について調査した．ここでは画像ファイルからの画像の読込みを会話指示した時点から，サーバと擬似サーバの同期が完了するまでの経過時間 T_1，そしてその後，3次元表示クライアントによる描画が終了するまでの経過時間 T_2 を計測した．ファイルの読込み時間は無視できるため，T_1 はネットワーク接続によるオーバヘッドに相当し，T_2 は3次元表示クライアントの応答時間に相当すると考えられる．

3種類の2値画像に対する T_1，T_2 の計測結果(それぞれ試行5回の平均)を表1に示す．表1のCubicは全画素の値が1の人工画像であり，Knot，Heartは，それぞれ図7，8の画像である．以上の実験では，サーバはSUN4/110，クライアントはSPARC Station 1+ に配置されており，使用言語はCによった．

先の実験は，画像ファイルの読込みという，全画素値を変更する処理であり，この意味において，応答性の実験としては最も最悪の場合に相当する．この結果から判断すると，1次元当りの画素数が数十程度の小規模な画像ではほぼ快適な応答性(例えば，Cubicの画像表示所要時間は6.8 [s])が得られたが，1次元当りの画素数が100近くになる画像では実用的な応答性は得られなかった(例えばHeartの画像の表示所要時間は611 [s])．その原因は使用した計算機の処理速度の不足，および，仮想記憶による主記憶装置においてスワッピングが頻繁に生じたことによる．

6. む す び

本論文では会話型3次元画像処理における処理機能の分散化を支援するための一手法として，サーバ・クライアントモデルを，主として画像配列へのアクセス機能，ネットワーク対応機能において拡張した拡張サーバ・クライアントモデルに基づくシステムVISUALを

提案し，その基本構造と実現方法について述べた．

以下，その特徴を要約する．

（1） 拡張サーバ・クライアントモデルによる画像オブジェクトの管理によってプログラムのモジュール化が容易である．

（2） 機能分散によるハードウェア構成の効率化が容易である．

（3） サブルーチンのみでなく，完結したプログラムを結合して処理手順をつくることをも可能にしたことにより，プログラム隠ぺいをいっそう進めることができ，開発の効率化が図れる．

（4） 擬似サーバと通信クライアントを用いたネットワーク対応方法を検討した．

（5） 画像保護の方法として緩和されたアクセス管理を用いてアクセスの高速化を図った．

なお，本システムの具体的応用対象として，当面筆者らの研究室で需要が極めて大きい3次元画像処理を念頭に置いたが，提案されたシステムやその考え方は一般に2次元画像にもそのまま適用できる．しかし，画像の入出力，とりわけ表示の比重が極めて大きく，また，会話処理が頻繁となる3次元画像処理においての効果が特に大きいと思われる．

現在，VISUALの基本的な制御構造が実現されており，今後，プロセスのスケジューリング法，および，負荷分散のより良い実現の方法が課題となっている．また，より多くの実際の画像処理システムの構築への応用を通して，VISUALの実験的検証と効率化を行う予定である．

謝辞 本研究の機会を与えて頂いた名古屋大学情報処理教育センター長・鬼頭幸生教授，ならびに有益なご助言を頂いた同・工学部・渡邉豊英助教授に深謝する．本研究におけるプログラム作成の大部分は本学大学院生・北川英志氏によることを付記し，感謝の意を表する．なお，本研究の一部は文部省科研費による．

文　献

（1） 前田 明：“VLSI画像処理プロセッサ”，情処誌，**31**, 4, pp. 480-484 (1990).

（2） “大特集 分散処理技術”，情処誌，28, 4 (1987).

（3） “大特集 オブジェクト指向プログラミング”，情処誌，**29**, 4 (1988).

（4） “次世代画像処理ソフトウェアシステムに関する調査報告書”，信学パターン認識・理解研究会・エキスパートビジョン研究会編 (1989).

（5） 黒野剛弘，永田真啓：“オブジェクト指向言語を用いた画像処理への応用”，情処誌，**29**, 4, pp. 402-410 (1988).

（6） 松尾啓志，和田錦一，岩田 彰，鈴村宣夫：“オブジェクト指向を取り入れた分散画像処理システムVIOS”，信学技報，**PRU91-11** (1991).

（7） 佐藤宏明，岡崎 洋，河合智明，山本裕之，田村秀行：“画像処理ワークステーションVIEW-Stationのソフトウェアアーキテクチャ”，情処論，**31**, 7, pp. 1015-1026 (1990).

（8） 田胡和哉，益田隆司：“分散型オペレーティングシステム”，情処誌，**28**, 4, pp. 437-445 (1987).

（9） 鳥脇純一郎，福村晃夫：“画像処理サブルーチンライブラリSLIPについて”，情処論，**22**, 4, pp. 353-359 (1981).

（10） 鳥脇純一郎，鈴木秀智：“医用3次元画像の解析・認識技法”，日本ME学会誌，医用電子と生体工学，BME, **3**, 8, pp. 18-27 (1989).

（11） “The X Window System”, Vol. 0-7, O'Reilly & Associates, Inc. (1990).

（12） Metcalfe, R. M. and Boggs, D. R.: “ETHERNET: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks”, Commun. ACM, **19**, 7, pp. 395-404 (1976).

（13） “Network Programming”, Sun Microsystems, Inc., (1988).

（14） 安田孝美，横井茂樹，鳥脇純一郎：“3次元任意形状の骨切断・移動操作が可能な頭蓋形成手術計画支援システムNUCSS-V2”，情処論，**31**, 6, pp. 870-878 (1990).

（15） 斉藤豊文，横井茂樹，鳥脇純一郎：“3次元ディジタル線図形のトポロジー――結び目の解析”，信学技報，**PRU90**-83 (1990).

（16） 岡田 稔，横井茂樹，鳥脇純一郎，松尾導昌：“胸部MRI画像からの心内膜自動抽出”，信学技報，**MBE89**-83 (1989).

（17） 岡田 稔，横井茂樹，鳥脇純一郎：“距離特徴を利用したディジタル図形分割の一手法”，信学論(D-II)，**J74-D-II**, 6, pp. 698-707 (1991).

(平成3年6月27日受付，10月9日再受付)

岡田 稔

昭59名工大・工・電気卒．平1名大大学院博士課程（情報工学）了．昭63・平1年度日本学術振興会特別研究員．平2名大・情報処理教育センター・助手．この間，ディジタル画像処理，計算幾何学，コンピュータグラフィックスとその医学応用に関する研究に従事．情報処理学会，日本ME学会各会員．

横井 茂樹

昭46名大・工・電気卒．昭52同大大学院博士課程了．同年同大・工・情報・助手．昭53三重大・工・電子助教授．昭57名大・工・情報・助教授，現在に至る．画像処理，コンピュータグラフィックスの基礎手法とその医学応用に関する研究に従事．日本ME学会，日本形成外科学会，電子情報通信学会，情報処理学会，コンピュータグラフィックス学会各会員．

鳥脇純一郎

昭 37 名大・工・電子卒．昭 42 同大大学院博士課程了．同年 4 月名古屋大学工学部助手．以後，昭 45 助教授，昭 49 名古屋大学大型計算機センター助教授，昭 55 豊橋技術科学大学情報工学系教授，昭 58 名古屋大学工学部電子工学科教授を経て，昭 60 年 4 月より同情報工学科教授．工博．パターン認識，画像処理，グラフィックス，および，それらの医学情報処理への応用に関する研究に従事．著書「画像理解のためのディジタル画像処理 I，II」(昭晃堂)，情報処理学会，ME 学会，医療情報学会，人工知能学会，IEEE 各会員．