

大規模 3 次元モデル上の情報の編集・表示システム

岡本 泰 英 † 大石 岳 史 † 池 内 克 史†

計測によって得られた文化財などの高精細な 3D モデルを、その対象に関する付加情報と共に提示するようなコンテンツへの応用が近年考えられている。しかし、大規模なモデルと多様な付加情報を扱うには、様々な制約により従来の手法では困難である。そこで、本論文では大規模な文化財 3D モデルと他形式の情報との関連付け、編集、及びそれらの閲覧を一般の PC でも容易に行えるシステムを提案する。本システムでは、情報の関連付け・情報へのアクセスなどは簡単なマウス操作によって行え、また情報を関連付ける領域の定義には Lazy Snapping 法を用いるなど、非常に容易に扱えるインタフェースを提供する。さらに大規模な 3D モデルのリアルタイム描画を多重解像度表現を用いることで実現している。

Editing, Retrieval, and Display System of Archeological Information on Large 3D Geometric Models

YASUhide OKAMOTO ,† TAKESHI OISHI † and KATSUSHI IKEUCHI†

Recently, one of the promising directions for utilizing scanned 3D models is to provide computer graphics models with various types of archeological information. Unfortunately, however, very huge models cannot be handled easily on common PCs because of limits to performance of the hardware. This paper proposes an editing, retrieval and display system for archeological information on huge 3D models. On our system, users can 1) associate and edit extra information with models, and 2) browse models and information easily and quickly. Users can make associations and access associated information with easy mouse actions, and can quickly select specific regions by using an extended Lazy Snapping method. Additionally, when browsing, we achieved highly interactive rendering of huge 3D models by adopting multi-resolution meshes.

1. はじめに

レーザーレンジセンサによる実物体の 3 次元モデルの取得は、近年では計測技術や計算機性能の発展によって非常に大規模かつ高精細なモデルを得ることが可能になっており、大規模な文化遺産などの高品質なデジタル保存⁶⁾などに応用の範囲が広がっている。現在ではこれらの 3 次元文化財モデルの利活用が重要な課題となっている。

一方、考古学的な調査などにより文化財に関する学術的に価値の高い情報が蓄積されている。その情報には、遺構の特徴、素材の年代などの考古学研究に役立つ情報もあれば、修復の必要性のある遺跡の現在の現状や修復の進捗を表す情報など、修復の方針・計画を立てる上で重要な情報もある。これらの情報はテキスト・画像など様々なフォーマットで保存されているた

め専門家以外には管理が難しく、十分に利用されないデータも少なくない。

そこで、これらの情報を得られた 3 次元モデルを利用して管理するシステムを提案する。本論文では、3 次元モデルのグラフィックス画像と連携させて提示することにより、一般の人々に対してより直感的かつインタラクティブな形で情報を提供することで、これらのデータを有効に活用するシステムを提案する(図 1)。先行のシステムとしては³⁾において提案されているシステムや、地図を閲覧しながら他の情報を表示する *NasaWorldWind*²⁾ や、*GoogleEarth*¹⁾ などのシステムがある。

このようなシステムの開発において問題となるのは、3 次元モデル上での関連付け操作が一般的なユーザにとって難しい作業であることが一つにある。また、近年では非常に大規模な 3 次元モデルが生成可能となっているのでこのようなモデルを一般ユーザの環境において扱うにはメモリ容量やグラフィックスハードウェアなどの処理能力の制約を解決しなければならないと

† 東京大学生産技術研究所
Institute of Industrial Science, University of Tokyo

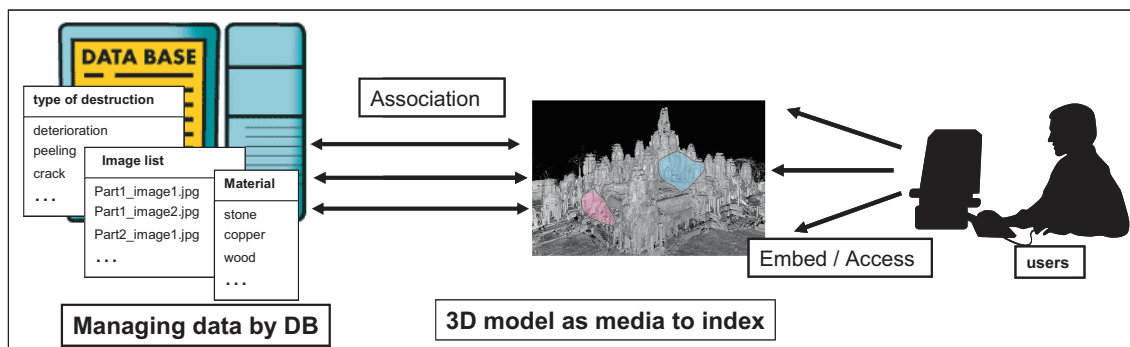


図 1 3次元モデルと付加情報との関連付けた利用

Fig. 1 The usability by relating 3D models and other information

いう問題がある。

提案システムは主に次の2つの特徴を持つ。一つは、ユーザは大規模な文化財モデルを一般的なPC上で自由に閲覧でき、関連付けられている情報もまた閲覧が可能である機能を持つことである。もう一つは他の情報を3次元モデル上に容易に関連付けることが可能である機能を持つことである。[[また本システムでは、3次元モデル上への情報へのアクセスや関連付けの操作はドラッグアンドドロップやクリックなどの単純なマウス動作によって可能となっている。特に情報を関連付ける対象となる3次元モデル上の領域を定義する際には、Lazy Snapping⁷⁾を用いた領域分割インタフェースにより、一般のユーザにとって、従来の単純な選択方法よりも容易に、かつ正確に行える操作性を提供している。それに加え大規模な3次元モデルの表示に関しては、モデルを階層的に表現し、描画シーンによって適切な解像度のデータのみを描画する多重解像度描画アルゴリズムを用いることで、処理するデータ量を最小限にし閲覧の際のスムーズな描画処理を実現している。

本論文では、2章においてシステムにおける表示機能の詳細を述べ、3章においてデータ関連付けや領域選択等のインタフェースの実装について述べる。4章においてはテストケースとしてカンボジアパイヤン寺院における当システムの概要について述べ、5章で結論を述べる。

2. 表示システム

本システムを用いてユーザは3次元モデルを様々な視点から閲覧することが出来、さらにそのモデルに関連付けられた様々な情報を閲覧することができる。本章ではこの表示システムの機能について述べる。

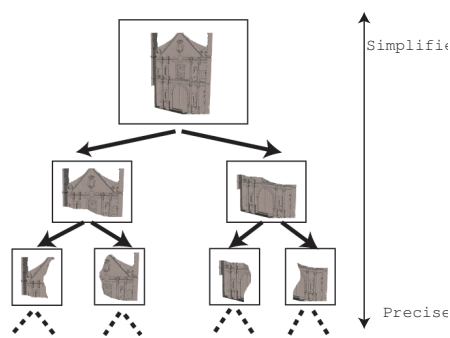


図 2 多重解像度のパッチ階層構造

Fig. 2 The hierarchy of patches for multiresolution rendering

2.1 描画アルゴリズム

本システムでは非常に大規模なデータを描画可能とするため、多重解像度表現を用いたアルゴリズム⁴⁾により巨大なモデルもリアルタイムに描画可能となっている。

階層構造の生成は、3次元モデルを再帰的に分割し、小パッチの階層構造を作った後、階層構造をボトムアップに辿り、子ノードをマージし、そのポリゴン数が一定以下になるように簡略化することで新たなパッチを中間ノードに割り当てる(図2)。簡略化には Quadric Error Metric⁵⁾を用い、パッチの幾何形状を考慮して行う。この簡略化の際、パッチの境界線を簡略化してしまうとパッチ間の整合性が崩れ、パッチ境界に穴を生じる可能性があるため、簡略化の際にはパッチ境界線と境界に接する辺は簡略化しないという拘束をかける。

描画の際には、生成した階層構造をトップダウン式に辿り、適切な解像度のパッチの描画を行う。探索中のパッチについては視錐台判定及び表裏判定を行い、全く描画される可能性が無いノードはそれ以降の探

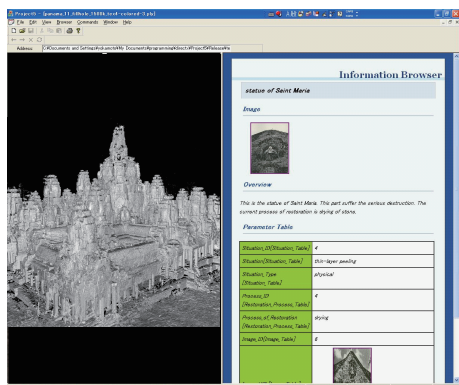


図 3 3次元モデルからの関連付けされた情報へのアクセス
Fig. 3 Access to related information from 3D models

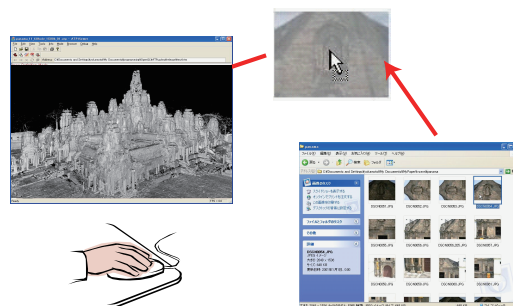


図 4 容易な操作による関連付け
Fig. 4 The relating operation by simple actions

索を打ち切り、探索処理を効率化する。適切な解像度の決定は探索中のパッチの子パッチに対する Quadric error のスクリーン上の大きさによって決定し、閾値以下のエラー値のパッチに達したらそのパッチを描画し、トラックバックする。描画したパッチはメモリ上にロードされるが一定時間参照されない場合は順次メモリから開放してメモリの効率化を図る。

2.2 情報の表示

ユーザは3次元モデルの閲覧をすると同時に、関連付けされた情報へもアクセスすることが出来る(図3)。この際ユーザは関連付けの際に定義したモデル上の領域をクリックすることによって関連付けした情報へ容易にアクセスすることができる。

関連付けられたデータは現在広く普及しているリレーショナルデータベースシステムを用いて管理され、データのアクセスはSQLによって高速に行われる。アクセスされたデータはHTML形式でシステムのブラウザに出力され、画像や関連ページなども閲覧することが出来る。また、各情報のID及び説明などの付加データの編集もこのブラウザを介して可能である。

3. 3次元モデルと情報とのリンク

ユーザは3次元モデル上の特定領域に、様々な形式のデータを関連付けることが可能である。ユーザは、3次元モデル上に領域を定義し、そこに関連づけるファイルをドラッグアンドドロップすることにより容易に関連付けが可能となっている(図4)。関連付けデータは対象データへのリンクとしてデータベースシステムによって管理され、ユーザはそれらに自由にIDや説明文を加えることが出来る。

3次元モデル上で情報を関連付ける際には、関連付ける対象となる領域を定義する必要がある。この領域定

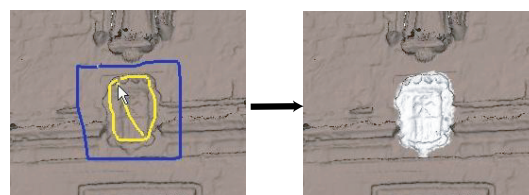


図 5 Lazy Snapping による 3次元モデルの領域選択 (黄線が前景、青線が背景を意味)

Fig. 5 Segmentation of 3D regions by Lazy Snapping (The yellow marker means foreground, and the blue marker means background)

義の操作もユーザが容易に扱えるようなインターフェースを実装した。

3.1 インタラクティブな領域定義

画像中から特定の領域を選択する方法として投げ縄ツール(マウスポインタにより該当部の境界をなぞる手法)がよく使用されるが、熟練したユーザにとっても手間のかかる作業であり、特に3次元モデル上では奥行きも考慮する必要があるため、これだけだと難しい作業となる。また、レンジデータから生成したモデルは複雑な形状が多く、操作をますます困難にしている。このため、本システム上ではLazy Snappingを応用した領域選択手法を提案する。

3.1.1 Lazy Snapping を用いた領域選択

2次元画像を分割する手法としてLazy Snapping⁷⁾がある。Lazy Snappingではユーザが画像の前景と背景をマーカーでチェックする(図5)。そして画像をグラフとして、ストローク下のノードを前景・背景の初期ノードとし、エネルギー関数が最小となるようなカットを求めることで分割を行う。本システムではこの手法を3次元画像に対して応用した手法⁸⁾を用いたインターフェースを提供する。

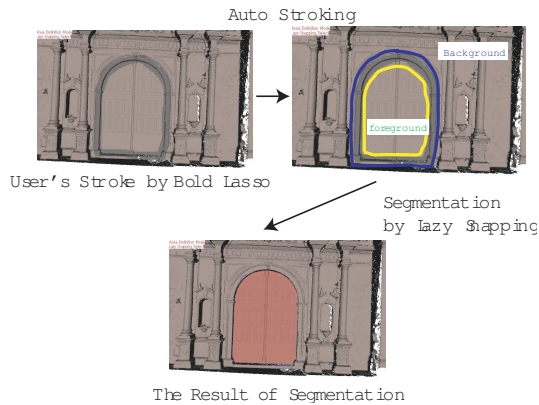


図 6 投げ縄型 Lazy Snapping による領域選択
Fig. 6 Segmentation by Lazy Snapping like lasso tool

エネルギー関数には次の式を用いる。

$$E(X) = \sum_{i \in V} E_1(x_i) + \lambda \sum_{(i,j) \in E} E_2(x_i, x_j) \quad (1)$$

このとき、 E_1 は各々のノードの前景集合 (もしくは背景集合) に対するパラメータの距離エネルギーを表し、 E_2 は前景背景の境界で隣り合うノード間の類似度を表すエネルギー関数を設定する。2次元画像 Lazy Snapping の場合は用いるパラメータとして色のみを用いるが、3次元画像の場合は画像中の深度値及び法線も用いる。

このエネルギー関数を最小にするグラフカットを求めることにより2次元画像の領域分けが可能となる。3次元モデルに対しこれを行う場合はスクリーン上に描画された2次元画像に対し Lazy Snapping による分割を行い、その結果をモデルに対して投影することにより、モデル上での選択範囲を決定する。ただし、元の3次元モデルは予めクラスタリングによって小パッチに分割しておき、スクリーン上の Lazy Snapping で選択範囲に入ったパッチを該当領域とする。

3.1.2 拡張手法

これに加え Lazy Snapping を投げ縄ツールの使用感により使えるインタフェースを提案する。Lazy Snapping の前景と背景にマーカーを引く操作は、ロバスト性が高く操作の手間も少なく済むが、自分の引いたマーカーから選択結果が予想しづらいため、望む結果を得るまでに結局マーカーを何本も引かなければならない場合がある。我々は図 6 に示すように太い線を用いて投げ縄選択を行い、その線の内側と外側に前景・背景のマーカーを自動的に引き Lazy Snapping を行うことで、選択をより正確に早く行える選択手法を実装した。

これらの手法に関して消費時間に対する誤差の評価

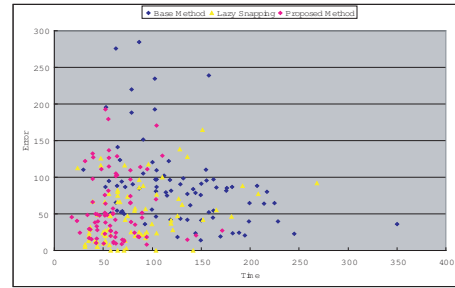


図 7 領域選択の誤差対消費時間
Fig. 7 The result of errors to consumed time for segmentation

を図 7 に示す。評価は 8 人のユーザにモデル上の特定の領域を 1. 投げ縄, 2. Lazy Snapping, 3. 投げ縄式 Lazy Snapping の 3 手法で行ってもらい、誤差と消費時間を計測した。このグラフから、サンプル点の両軸正方向への分散状況は投げ縄式, Lazy Snapping, 投げ縄式 Lazy Snapping の順で小さくなっており、消費時間・誤差共に効率性の向上が見られた。

3.2 図面を用いた領域定義

建造物などのデータを扱う際は、それを構成する木材や石材などの構成単位毎に情報を関連付けたい、という場合が多い。このような場合は、遺構を構成するこれらの素材の数量は非常に多く、上記の方法でも非常に手間がかかり、非現実的である。

そこで、対象の物体の平面図を利用し、その画像から領域を定義するようなインタフェースを提案する。これは図面をテクスチャマッピングによって 3次元モデルに貼り付けることで領域定義を一度に行うことを可能にしている。

図面から領域分割を行うインタフェースの使用手順は次のようになる。以下に詳細を述べる (図 8)。

- (1) 図面の画像を入力として与える。
- (2) 自動分割された図面画像から石材となる領域のみを選択する (背景部分など不要な領域を領域選択情報から排除する)。
- (3) 図面画像の領域選択情報を 3次元モデルに対してマッピングする。

図面画像は、単純な Region Growing 法を用いることで、石材部分の領域を自動的に切り出す。ユーザは自動計算された分割結果から石材でない部分 (背景などの領域を) を非選択としてマッピングを行う。

この手順によりユーザは 3次元モデルの領域分割結果をより容易に得ることが出来る。

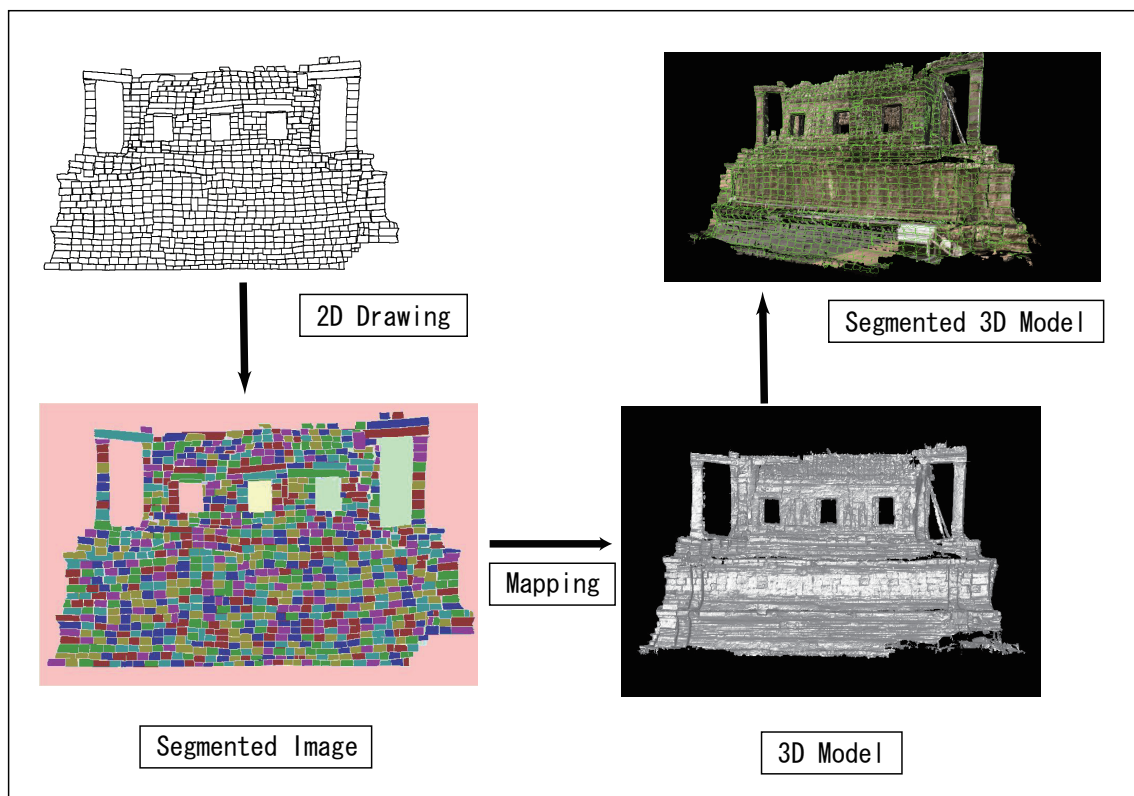


図 8 図面を用いた領域定義

Fig. 8 The region definition by using drawing.

4. バイヨン寺院南経蔵修復活動での活用

本システムをカンボジア・アンコール遺跡救済活動の中でのバイヨン寺院南経蔵修復活動において活用するべく、3次元データベースの開発を行った。南経蔵は東西南北及び上方よりの平面図が作成されており、現在の修復・記録作業はこれらの平面図を基礎に行っている。これらの平面図は石材を単位として記録を行っており、本システムにおいても石材単位で与えていく方針で設計を行った。ここではこれらの図面を用いて、前章の図面による領域定義によって3次元モデル上にデータ領域を作成した。前章で述べたような操作を東西南北及び上方からの図面を用いて行うことで、石材ごとに領域分割された南経蔵の3次元モデルを得ることが出来る。

このミッションにおいて、本システムを用いて南経蔵の3次元モデルの各石材部に対してデータを付加することが出来るデータベースシステムが作成できた。図9は分割された領域をグループ化し、画像データをリンク・表示した例である。

5. 結 論

本論文では3次元モデルとその他の情報をユーザの手によって関連付けることができ、3次元画像をリアルタイムに閲覧しながらそれらの情報にアクセスできるシステムを提案した。関連付けの作業では情報をドラッグアンドドロップで容易に関連付けられるほか、対象となるモデル上の領域を簡単なインターフェースによってユーザの負荷が少なく定義できる。また、バイヨン寺院南経蔵のような対象物に対し、その構成単位を容易に分割し、それぞれに情報を割り当てられるようなインターフェースを開発した。

これからの課題としては、より広い範囲の情報を扱えるように、このシステムをネットワーク越しにある3次元モデルやデータに対しても行えるように拡張していく必要がある。そのため、そのための枠組みを考える必要がある。また図面を用いた領域定義では、図面画像の分割結果を3次元モデルにマッピングする際の精度を上げるために、図面の誤差やモデル上の幾何形状を考慮し、自動的に誤差を修正した分割結果を求めるようなアルゴリズムを開発を行うべきだと考えている。

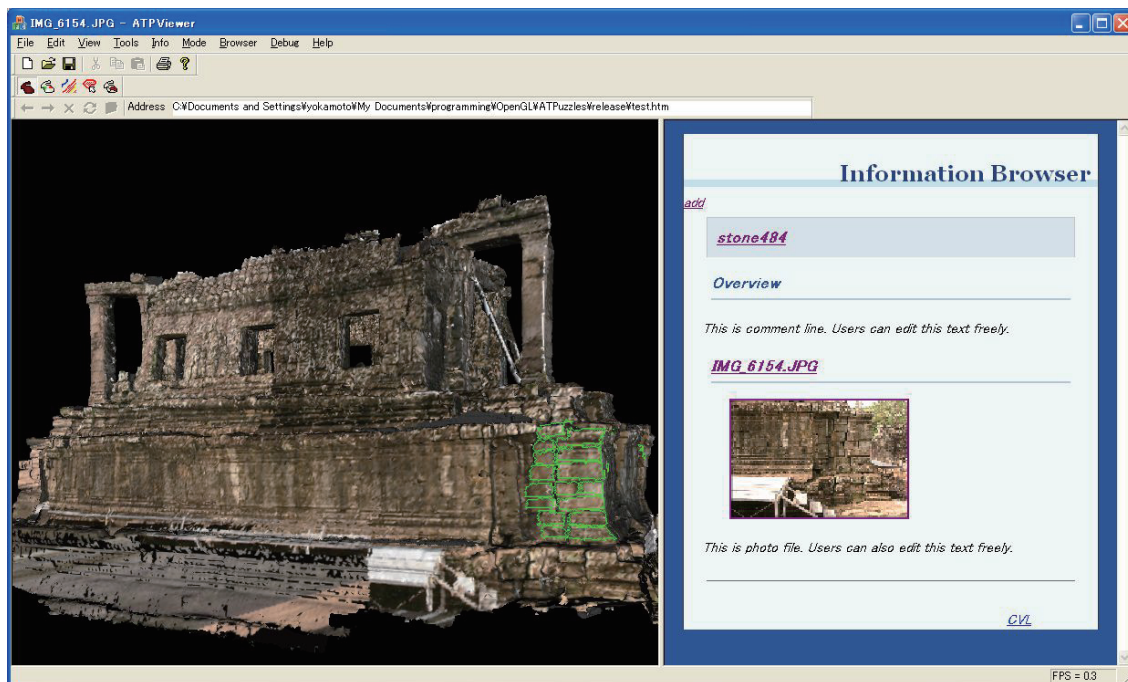


図 9 バイヨン寺院南経蔵データベースシステム
Fig.9 The 3D Database System for South Library of Bayon Temple.

謝辞 本研究は文部科学省リーディングプロジェクト「知的資産の電子的な保存・活用を支援するソフトウェア技術基盤の構築」の支援を受けて行われました。また計測にご協力頂いた日本国政府アンコール遺跡救済チーム（JSA）の方々に感謝の意を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) <http://earth.google.com>.
- 2) <http://worldwind.arc.nasa.gov/index.html>.
- 3) M. Callieri, P. Cignoni, F. Ganovelli, G. Impoco, C. Montani, P. Pingi, F. Ponchio, and R. Scopigno. Visualization and 3d data processing in david's restoration. In *IEEE Computer Graphics and Applications*, volume 24(5), pages 16–21, 2004.
- 4) Paolo Cignoni, Fabio Ganovelli, Enrico Gobetti, Fabio Marton, Federico Ponchio, and Roberto Scopigno. Adaptive tetrapuzzles: Efficient out-of-core construction and visualization of gigantic multiresolution polygonal models. In *ACM Trans. on Graphics (SIGGRAPH 2004)*, volume 23(3), pages 796–803, 2004.
- 5) Michael Garland and Paul S. Heckbert. Surface simplification using quadric error metrics. In *Proceedings of SIGGRAPH 97*, pages 209–216, 1997.
- 6) Katsushi Ikeuchi, Kazuhide Hasegawa, Atsushi Nakazawa, Jun Takamatsu, Takeshi Oishi, and Tomohito Masuda. Bayon digital archival project. In *Proceedings of Virtual Systems and Multimedia*, pages 334–343, 2004.
- 7) Yin Li, Jian Sun, Chi-Keung Tang, and Heung-Yeung Shum. Lazy snapping. In *ACM Trans. Graph*, volume 23(3), pages 303–308, 2004.
- 8) Xiaoru Yuan, Hui Xu, Minh X. Nguyen, Amit Shesh, and Baoquan Chen. Sketch-based segmentation of scanned outdoor environment models. In *Proceeding of the 2nd Eurographics Workshop on Sketch-Based Interfaces and Modeling*, pages 19–26, 2005.