Diminished Realityを用いた構造物撤去新設時の 景観検討AR実現に関する研究

矢吹 信喜¹・種村 貴士²・福田 知弘³・道川 隆士⁴

¹フェロー会員 大阪大学教授 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻
(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
E-mail: yabuki@see.eng.osaka-u.ac.jp

²学生会員 大阪大学大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 博士前期課程

³正会員 大阪大学准教授 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻

⁴非会員 大阪大学特任助教 環境イノベーションデザインセンター

近年、土木建築分野での景観検討において、AR (Augmented Reality) が注目されている。しかし、現在のAR技術では、既設構造物を解体、撤去し、そこに新たに構造物を建設することを想定して景観検討を行う場合、解体、撤去予定の既設構造物と、重畳する新設構造物の3次元モデルが交わって表示され、本来見えるべきでない既設構造物の一部が見えてしまい、適切な景観検討ができないという問題がある。一方で、背景画像を除去対象物領域に重畳することで障害物を取り除く技術であるDR (Diminished Reality) が着目されている。本研究では、3次元点群データを用いて、建物の解体、撤去時の景観検討での利用を想定した、屋外大規模構造物を対象としたDR手法を開発し、開発したシステムの検証実験を行った。

Key Words : Augmented Reality, Diminished Reality, point cloud data, Demolition, Urban Planning

1. はじめに

(1) 土木建築分野における景観検討手法の現状と課題

近年、環境デザイン、土木建築分野での景観検討において、既設構造物を解体、撤去し、そこに新たに構造物を建設することを想定して景観検討を行う様々な手法が提案されている¹⁾。コンピュータの中で仮想的に作られた環境である仮想世界を、現実空間のように体感することができる技術としてVR (Virtual Reality) がある。VRでは簡単な操作で視点の移動などを行うことが可能であり、3DCGによる景観検討のような、専門的な知識を必要としないため、住民参加型の景観シミュレーションツール²⁾などにも応用されている。また、ビルや橋梁などの大規模構造物を新規に建設する際などにも、VRを用いた景観シミュレーションによる景観検討が行われるようになりつつある。しかし、VRには、仮想世界の作成に大きな時間的、費用的コストが必要となるという課題がある。カメラ動画像に3次元モデルを重畳することで周辺環境の3次元モデルの作成を必要とせず、時間的、費用的コストを削減できる技術としてAR (Augmented Reality) がある³⁾。ARを用いた景観検討手法は多く提案

されている。しかし、既設構造物を解体、撤去し、そこに新たに構造物を建設することを想定して景観検討を行う場合、解体、撤去する予定の既設構造物と、重畳する新設構造物の3次元モデルが交わって表示され、本来見えるべきでない既設構造物の一部が見えてしまい、適切な景観検討ができないという問題がある。

(2) DR技術

この問題を解決する技術として、背景画像を除去対象物領域に重ね合わせることで、障害物を取り除く技術であるDR (Diminished Reality) が着目されている⁴⁾。DR技術を加えたARによる景観シミュレーション手法であれば、先ほど述べた既設構造物と3Dモデルの交わり問題は解決できると考えられる。DRの手法には、静止画像中の除去対象物に、背景画像を重畳する方法⁵⁾や、あらかじめ撮影された動画像に対して、背景画像の重畳を行うプリレンダリング方式による方法⁶⁾、またリアルタイム動画像に対応した、リアルタイムレンダリング方式の方法⁷⁾など、様々な手法が存在するが、屋外の大規模構造物の解体、撤去時の景観検討としての利用では、現地において任意の視点からの検討を求められることが

多いため、リアルタイム動画像に対応したリアルタイムレンダリング方式のDR手法が有効であると考えられる。リアルタイムレンダリング方式のDR手法は、背景画像として使用する仮想世界の作成方法に関して、リアルタイムに仮想世界を作成しながら、DRシミュレーションを行う手法と、DRシミュレーションを行う前に仮想世界を作成しておく手法の2種類に大別することができる。

リアルタイムに背景画像として使用する仮想世界を作成するDR手法としては、マーカと複数のカメラを使用して、一つのカメラが取得した画像に対して、他の複数のカメラが取得した背景領域の画像を重畳することによってDRを実現する方法や、超音波カメラやステレオカメラの内視鏡などの特殊なイメージセンサを用いて背景画像を取得する方法⁹⁾がある。しかし、マーカと複数のカメラを使用する方法では各カメラ画像中でマーカを大きくとらえる必要があるため、除去対象物が近距離に存在する場合でないと、適切なDRができない。また、超音波カメラやステレオカメラの内視鏡など、特殊なイメージセンサを用いる手法においても、主に医療分野で用いられるものが多いため、除去対象物が近距離に存在する場合でないと、適切なDRができず、屋外での大規模構造物を対象とした景観検討に利用するには実用的でないと考えられる。

DRシミュレーションを行う対象地周辺の仮想世界をあらかじめ作成しておくDR手法としては、DRシミュレーションを行う対象地周辺の、除去対象物のない状態の仮想世界をVRモデリング等であらかじめ作成しておき、DRシミュレーション時に除去対象物に重畳する方法⁹⁾がある。しかし、この方法で適切なDRシミュレーションを行うためには、周辺環境を詳細にモデリングする必要があるため、時間的、費用的コストが大きくなるといった問題がある。

屋外での大規模構造物の解体、撤去を想定した景観検討でDR技術を用いる場合、現状では後者の、DRシミュレーションを行う前に仮想世界を作成しておく手法を用いる方が適切であると考えられる。しかし仮想世界を詳細にモデリングすることによる時間的、費用的コストを小さくする実用的な解決方法は見当たらず、屋外での大規模構造物を対象とするような効率的、実用的なDR手法はまだないのが現状である。

一方で、3次元レーザースキャナによる3次元点群データの計測技術も近年注目されている。3次元レーザースキャナは、高精度で物体の3次元の幾何学的構造を計測することが可能な装置である。また、車載式の3次元レーザースキャナを用いて、走行しながら3次元点群データを計測するMMS (Mobile Mapping System) の出現によって、都市や国スケールでの広域的な計測が可能となった。多くのMMSでは、物体の3次元幾何学的構造だけで

なく、同時にその色も計測することができる。MMSによる計測では、固定式の3次元レーザースキャナに比べて精度が劣化してしまう問題点があるが、高精度GPS移動計測装置三菱モービルマッピングシステム⁹⁾などのように、これらの問題は日々改善されている。3次元レーザースキャナやMMSは非常に高価な装置であるため、景観検討や景観シミュレーションのような目的での購入を想定することはあまり現実的ではない。しかしながら、近年の急速な情報化技術の進歩および各測量会社が3次元レーザースキャナやMMSを所有し、様々な土木構造物の3次元点群データを計測している現状を考えると、今後、あらゆる場所の3次元点群データが自由に入手可能となることが期待される。

本研究では3次元点群データ (Point Cloud) を用いて、建物の解体、撤去時の景観検討での利用を想定した、屋外大規模構造物を対象としたDR手法を開発することを目的とし、開発したシステムの検証実験を行うこととした。本研究では、3次元レーザースキャナにより、大都市を中心に大半の構造物が3次元点群データとして計測され、容易に入手可能な将来の状況を想定している。

2. 既往の研究

(1) リアルタイムレンダリング方式のDR技術

第1章で述べたように、リアルタイムレンダリング方式のDR手法は、リアルタイムに仮想世界を作成しながらDRシミュレーションを行う手法と、DRシミュレーションを行う前に仮想世界を作成しておく手法の2種類に大別することができる。本節ではそれら2種類の手法の既往の研究に関して概説する。

a) リアルタイムに仮想世界を作成しながら、DRシミュレーションを行う手法

榎本ら⁷⁾は、複数の視点カメラを用いてDRを行う際に、ARTag¹⁰⁾を使用することで各カメラの座標系を統一することによって各画像の透視投影変換、各視点の移動を可能にし、一つのカメラの画像に対して、別のカメラが取得した背景画像を、透視投影変換を行って重畳することによりDRを実現している。しかし、幾何学的整合性をもったDRを実現するためには、各カメラ画像中でマーカを大きくとらえる必要があるため、屋外での大規模構造物を除去対象物として使用する際には不具合が生じる可能性が高いと考えられる。

b) DRシミュレーションを行う前に仮想世界を作成しておく手法

Coscoら⁸⁾は、屋内において、移動させることが可能な物体を除去対象物とし、除去対象物がない状態での背景領域の映像を撮影し、幾何形状をあらかじめパッチに

分割しておき、DR シミュレーションの際に、除去対象物に事前に撮影した背景映像を利用した Image Based Rendering (IBR) を用いて、DR を実現している。除去対象物を自由に移動させることができる場合、この手法は有用であるが、屋外の大規模構造物など、自由に移動させることが不可能な物体を除去対象物とする場合、DR を実現するのは難しいと考えられる。

(2) 位置合わせ手法

本研究で提案する DR 手法では、背景画像として 3 次元点群データを用いるが、背景画像を重畳して表示する際に周りの現実世界との幾何学的整合性をとる必要があり、そのために、現実世界と 3 次元点群データの存在する仮想世界との位置合わせを行う必要がある。これは、現実世界に仮想物体を重畳する AR においても同様の課題である。AR の代表的な位置合わせ手法としては以下のようなものがある。

a) 人為的マーカを用いる手法

人為的マーカを用いる手法は、あらかじめコンピュータにデザインが登録されたマーカを使用することで安定かつ高速にカメラの位置・姿勢を推定することができる。また、カメラ以外に特殊なセンサーを必要としないため、低コストで持ち運びに優れている。しかし、カメラがマーカを正しく認識できる距離にマーカを設置する必要があるため、屋外での大規模構造物を対象とした景観検討時などは、誤差が生じ易いといった問題がある。

b) GPS (Global Positioning System) とジャイロスコープを用いる手法

GPS とジャイロスコープを用いる手法は、GPS により位置情報（緯度、経度、標高）を、ジャイロスコープにより角度情報（yaw, pitch, roll）を取得するため、視点や環境の変化に対応し易く、カメラの位置・向き等が容易に計測でき、高精度である。しかし、精度が機器に依存し、高精度を得るためには、高価で重く特殊なハードウェアが必要であり、また、移動可能範囲がセンサーの有効範囲内に限られるという問題がある。

c) 自然特徴点を抽出し、既知の点と照合する手法

自然特徴点を利用する方法は、環境中に自然に存在する物体の特徴点を抽出し、その 3 次元位置を推定するため人為的指標を用意する必要がない。しかし、抽出した特徴点と構造物の既知の点の座標値を一致させることが現状では難しく、現状としては特徴点をあらかじめ設置することや¹¹⁾あらかじめ撮影された映像に処理をするプリレンダリング方式を用いて¹²⁾ AR を実現することが必要である。これは、自然特徴点には位置合わせの基準となる座標系が定義されていないためであり、そのままでは現実世界と仮想世界の相対的な位置関係を決定することができないことが問題である。

上記の3つの手法の中でも、自然特徴点を抽出し、既知の点と照合する手法は、人為的指標を使用しなくとも位置合わせが可能になるため、現在盛んに研究が行われている。自然特徴点を抽出し、既知の点と照合する手法の応用研究として、Yabukiら¹³⁾の提案した、3次元点群データと自然特徴点を対応させる位置合わせ手法がある。この手法では、現実世界の画像中の構造物の角などの特徴点と、3次元点群データ中の構造物の同じ箇所の位置情報を持った点群データを対応付けることにより、現実世界と仮想世界との位置合わせを行っている。この手法は、あらかじめ3次元レーザースキャナにより計測された大量の3次元点群データがあれば、自然特徴点を用いる位置合わせ手法において困難だとされている現実世界と仮想世界の相対的な位置関係がわかり、特殊な機材や人為的指標を使用しなくとも高精度の位置合わせを行うことを可能にしている。本研究で提案する手法では、3次元点群データを用いて屋外大規模構造物を対象としたDRシミュレーションを行うことから、Yabukiら¹³⁾による3次元点群データと自然特徴点を対応させる位置合わせ手法を採用した。

(3) 3次元レーザースキャナと3次元点群データの応用研究

3次元レーザースキャナは対象物に対してレーザーを照射し、その反射波から対象物の3次元座標を計測し、3次元点群データとして取得することができるシステムである。本研究では、タイム・オブ・フライト方式の固定式レーザースキャナおよびMMSによって取得した3次元点群データを使用した。タイム・オブ・フライト方式では、レーザーの照射時刻から反射波の到達時刻までの間に経過した時間によって対象物までの距離を計測する。レーザーの照射角度を正確に定めることで、物体の3次元座標を計測することができ、最大三百メートルの測定可能範囲を持つ。また、MMSは、レーザースキャナやGPSアンテナなどを車両に搭載し、道路を走行しながら道路周辺の対象物の3次元座標を計測するシステムである。MMSでは絶対精度10センチメートル程度の精度で計測を行うことが可能である。

上記のように、3次元点群データは3次元位置情報計測時の状況を高精度にデータとして保持することが可能である。本研究では、3次元点群データを、位置合わせやDRを実現するための仮想世界作成において利用している。ARにおける現実世界と仮想世界との位置合わせの際に3次元点群データを用いた研究として、高奥ら¹⁴⁾は、3次元点群データの中から、あらかじめ設定した4点を用いて行う位置合わせ手法を開発している。また、3次元点群データから、仮想世界を構成する3次元モデルを生成する研究として、鈴木ら¹⁵⁾¹⁶⁾は、3次元点群データから

三角形メッシュを生成する手法を開発し、北川ら¹⁷⁾は、都市・建築模型の幾何的特徴に着目し、3次元点群データから凸多角形および非凸多角形などの3次元形状を対話的にモデリングするシステムを開発するなど、3次元点群データの利用可能性は広がっているといえる。

3. PCDRシステム

(1) PCDRシステムの概要

本研究で開発したシステムはPoint Cloud Diminished Reality Simulation Systemであり、PCDRシステムと略称する。PCDRシステムの動作メカニズムの平面図を図-1に示す。PCDRシステムは、コンピュータに接続したカメラから撮影した映像中の除去対象物の背後にある不可視領域を、3次元点群データによる仮想世界で除去対象物領域に合成することにより、DRを実現する。背景画像として使用する3次元点群データは、予めPCDRシステム内に保存しておく必要がある。本研究では、3次元レーザースキャナにより、大都市を中心に大半の構造物が3次元点群データとして計測され、容易に入手可能な将来の状況を想定している。

(2) PCDRシステムのアルゴリズム

PCDRシステムのDRシミュレーションのアルゴリズムを説明する。アルゴリズムフローを図-2に示す。

a) 位置合わせ

PCDRシステムは、起動後、カメラ位置のGPS座標を入力し、カメラ画像中の特徴点と3次元点群データを用いて位置合わせを行う。カメラ画像中の、同一平面上にある建物の角などの特徴点と、3次元点群データ中の同じ箇所を4点以上対応付けることで位置合わせを行う。

図-1 PCDRシステム動作メカニズムの平面図

位置合わせ後、仮想世界表示プロセスと合成領域決定プロセスに分かれる。仮想世界表示プロセスでは、別ウィンドウで、位置合わせの行われた3次元点群データによる仮想世界を表示しておく。合成領域決定プロセスでは、カメラ画像に合成する仮想世界の合成領域を決定する。

b) 除去対象物の3次元モデルデータ表示

合成領域決定プロセスでは、位置合わせ後、カメラ画像中の除去対象物には、除去対象物の緑色の3次元モデルが重畳される。これは、現実世界で除去対象物が位置している場所の、平面直角座標系における座標を指定しておき、仮想世界の同じ位置に除去対象物のVRMLモデルを平行移動させて表示しているためである。この3次元モデルは、後の二値化処理の際、除去対象物領域を他の領域と区別するのに使用するため、色情報を(R, G, B) = (0, 255, 0)で作成しておく必要がある。

c) カメラ画像の二値化処理

次に、Cameraウィンドウの画像をキャプチャする。キャプチャした画像をBitmap形式で保存し、この保存した画像に対して二値化処理を行う。二値化処理では、(R, G, B) = (0, 255, 0)の3次元モデルが重畳されたカメラ画像を赤緑青の3チャンネルに分離し、緑色の色要素のみを持った、緑チャンネルのグレースケール画像を取得する。取得したグレースケール画像に対して、輝度値が255より小さいピクセルを全て輝度値0（黒色）とし、輝度値が255（白色）であるピクセルには変更を加えない二値化処理を加え、マスク画像を作成する。マスク画像において、緑色の除去対象物の3次元モデルが重畳された領域は白色になり、他の領域は黒色になっている。以上が合成領域決定プロセスである。

d) クロマキー処理

Cameraウィンドウに表示された、現実世界の除去対象物に、除去対象物の緑色VRMLモデルが重畳しているカメラ画像と、Point Cloudウィンドウに表示されている、

図-2 PCDRシステムのアルゴリズムフロー

景観シミュレーション対象地周辺の3次元点群データから構成される仮想世界の画像、および二値化処理の際に作成したマスク画像を用いてクロマキー合成を行う。マスク画像の白色の領域のみを、位置合わせの行われた背景画像として使用する3次元点群データから、カメラ画像にコピーすることで、カメラから不可視領域を、3次元点群データによる仮想世界で除去対象物領域に合成し、DRが実現する。PCDRシステムは、位置合わせの際に3次元点群データと対応付けられた特徴点をカメラ映像に追従して、トラッキングを行うので、動画像へも適用可能である。しかし、素早い視点の移動を行うと点群データと特徴点の対応付けが失われてしまい、DRが続行不可能となる。また、位置合わせの際に使用した画像中の特徴点が視点の移動によって画像の外に出てしまった場合もDRが続行不可能となる。PCDRシステムは、仮想世界として使用する3次元点群データの色調を調整する機能も実装しているため、現実世界と仮想世界との光学的整合性をとることが可能である。

(3) PCDRシステムの制約条件

PCDRシステムの屋外検証実験を行う際、考慮しなければならない制約条件を以下に列挙する。

a) 除去対象物の背景の3次元点群データが取得されていること

除去対象物の背景の3次元点群データが十分に取得されていない場合、3次元点群データのみでは、現実世界との幾何学的整合性のある仮想世界の作成が難しいため、3次元モデリングで補う必要がある。そのため、背景の3次元点群データが十分に取得されているような位置関係である、除去対象物とカメラの視点の位置を選定する必要がある。

b) カメラの視点と除去対象物の間に障害物が存在しないこと

カメラが除去対象物をとらえる際に、除去対象物より手前に樹木等の障害物が存在する場合、背景画像を重畳することによって、手前に存在する樹木が部分的に見えなくなってしまう、幾何学的整合性が失われる可能性がある。適切な景観検討を行うためには、カメラの視点と除去対象物の間に障害物の存在しない場所を選定する必要がある。

c) 3次元点群データを用いての位置合わせを行うことが可能であること

PCDRシステムは3次元点群データと自然特徴点とを対応付けて位置合わせを行うため、カメラは、位置合わせの対象とする構造物をとらえ続ける必要があり、なおかつその構造物の3次元点群データが取得されている必要がある。

4. PCDRシステムの検証実験

3章で述べた制約条件をふまえ、PCDRシステムの検証実験を行った。

(1) 実験対象地の選定

PCDRシステムの屋外検証実験対象地を、大阪大学吹田キャンパス構内において選定した。実験対象地については、実験当時に3次元点群データの取得されている建物が背景に位置するような、除去対象物およびカメラ視点を選定した。実験対象地を大阪大学吹田キャンパス21世紀プラザおよびサイバーメディアセンター周辺とし、除去対象物をサイバーメディアセンターとした。図-3に実験対象地の航空写真を示す。3次元点群データの取得されている21世紀プラザおよびレーザーエネルギー学研究センターが背景に位置するように、サイバーメディアセンターを除去対象物とした。また、21世紀プラザの3次元点群データを用いて位置合わせをおこなうことから、カメラは、除去対象物であるサイバーメディアセンター

図-3 実験対象地周辺 (Google Mapsより著者が加工)

図-4 不可視領域および点群データ領域 (図の紫の太線は仮想世界に使用する点群データの領域を示す)

と21世紀プラザをとらえる必要があるため、カメラの視点の位置を大阪大学吹田キャンパス銀杏会館の3階とした。検証実験時のカメラの視点および方向は、図-3のカメラの位置から、赤の点線方向である。

(2) 周辺環境の3次元点群データ

図-4の黄色の領域は、実験時にカメラが除去対象物をとらえる際に、除去対象物の背後にあつて見えなくなる不可視領域である。21世紀プラザとレーザーエネルギー学研究センターの、仮想世界として使用する3次元点群データの領域を、図-4の紫線で示す。3次元点群データは関西工事測量株式会社の3次元レーザースキャナによって計測された、大阪大学吹田キャンパス内部の3次元点群データを使用した。使用点数は約350万点、データサイズは約180MBである。また、地面部分の3次元点群データは取得していなかったため、Google SketchUp 2014を用いた3次元モデリングによって仮想世界の補正を行った。地面の3次元モデルを図-5に示す。地面の3次元モデルのデータサイズは、370KBである。

(3) DRシミュレーション結果および考察

カメラの視点から除去対象物をとらえたときの画像を図-6に示す。仮想世界として使用した21世紀プラザおよびレーザーエネルギー学研究センターの点群データの一部を、図-7に示す。位置合わせには、21世紀プラザの点群データのみを使用し、21世紀プラザの壁面における、およそ同一平面上にあると考えられる6つの特徴点を対応付けた。図-8、図-9の赤点がカメラ画像、点群データそれぞれの対応付けられた点である。位置合わせ後、カメラ画像中の除去対象物に除去対象物の緑色の3次元モデルが重畳された画像を図-10に示す。二値化処理を行うための図-10の緑チャネルのグレースケール画像を図-11に示す。二値化処理後のマスク画像を図-12に示す。マスク画像の白色の領域が除去対象物領域である。図-10において、 $(R, G, B) = (0, 255, 0)$ であるピクセル数

図-5 仮想世界の地面の3次元モデル（赤枠部分はサイバーメディアセンター）

は、29,891ピクセル、図-11において、Value値が255であるピクセル数は、29,709ピクセル、図-12における白色のピクセル数は、29,706ピクセルであった。このピクセル数計測結果から、除去対象物領域を、概ね適切に抽出されていると考える。除去対象物領域に3次元点群データで構成される仮想世界を重畳した、位置合わせ直後のDRシミュレーション結果を図-13に、位置合わせから約10秒後のDRシミュレーション結果を図-14に示す。位置合わせの精度については、カメラ画像中の21世紀プラザの特徴点（図-15の赤点A, B, C, D）と、位置合わせ後の点群データの同一箇所をピクセル単位のユークリッド距離で比較した。4箇所の平均距離は約7.25ピクセルであった。比較に使用した特徴点付近の、1ピクセル当りの長さは約0.2mであったので、現実のスケールでの誤差を計算すると、約1.45mの表示誤差となった。PCDRシステムは、景観検討を目的としてDRシミュレーションを行うので、概ね許容範囲の表示誤差であると考えられる。PCDRシステムは屋外の大規模構造物を対象としたDRを実現できることが確認されたが、点群データ計測時の天候や日照条件によって、計測した点群データの色みが変わることも確認された。シミュレーション時の天候によっては、カメラ画像と3次元点群データから構成される仮想世界との光学的整合性が取れないという問題が起こりうると考えられる。今後、カメラ画像の現実世界の色みを仮想世界に反映させ、現実世界と仮想世界の境界を知覚しないようにする画像処理機能を加えることで、より光学的整合性のとれたDRシミュレーションが可能となると考えられる。

(4) 対象地を変更しての追加実験

PCDRシステムの一般性を検証するため、第3章のPCDRシステムの制約条件を考慮した上で、対象地を変更して追加実験を行った。追加実験の対象地は、大阪大学吹田キャンパスS4棟および理工学図書館周辺とし、除去対象

図-6 カメラ画像

図-7 点群データで構成される仮想世界

図-10 除去対象物の3次元モデルの重畳

図-8 カメラ画像における位置合わせに用いた対応点 (赤点)

図-11 グレースケール画像

図-9 点群データにおける位置合わせに用いた対応点 (赤点)

図-12 マスク画像

物をS4棟とした。S4棟は2015年春に解体、撤去され、跡地が駐車場として利用される予定である。S4棟およびその周辺の建物、樹木の3次元点群データは事前に取得した。図-16に実験対象地の航空写真を示す。3次元点群データの取得されている理工学図書館、S1棟および周辺の木々が背景に位置するように、S4棟を除去対象物とした。

検証実験時のカメラの視点および方向は、図-16のカメラの位置から、赤の点線方向である。図-17の黄色の領域は、実験時にカメラが除去対象物をとらえる際に、除去対象物の背後にあつて見えなくなる不可視領域である。理工学図書館、S1棟および周辺の木々の、仮想世界として使用する3次元点群データの領域を、図-17の紫線で示

図-13 DRシミュレーション結果 (位置合わせ直後)

図-16 追加実験対象地周辺 (Google Mapsより著者が加工)

図-14 DRシミュレーション結果 (約10秒後)

図-17 不可視領域および点群データ領域 (図の紫の太線は仮想世界に使用する点群データの領域を示す)

図-15 精度検証に使用した特徴点

図-18 カメラ画像

す。使用した3次元点群データは約1,500万点、データサイズは約750MBである。また、地面部分の3次元点群データは取得していなかったため、Google SketchUp 2014を用いた3次元モデリングによって仮想世界の補正を行った。カメラの視点から除去対象物をとらえたときの画像を図-18に示す。仮想世界として使用した理工学図書館、

S1棟および周辺の木々の、仮想世界として使用する3次元点群データの一部を、図-19に示す。除去対象物領域に3次元点群データで構成される仮想世界を重畳した、位置合わせ直後のDRシミュレーション結果を図-20に、位置合わせから約10秒後のDRシミュレーション結果を

図-19 点群データで構成される仮想世界

図-21 DRシミュレーション結果 (位置合わせ約10秒後)

図-20 DRシミュレーション結果 (位置合わせ直後)

図-22 精度検証に使用した特徴点

図-21に示す、(3)と同様の方法で位置合わせ精度の検証を行ったところ、平均表示誤差は約9.0ピクセルで、比較に使用した特徴点付近の、1ピクセル当りの長さは約0.05mであったので、現実のスケールに換算した表示誤差は、約0.45mであった。精度検証に使用した特徴点を、図-22の赤点で示す。こちらの対象地においても、許容範囲内の表示誤差であったと考える。PCDRシステムは、他の対象地でもDRシミュレーションを行うことが可能であることが確認された。樹木の上部など、色情報を計測できず、白色になってしまう点があることも確認された。

5. 結論

本研究では、屋外の大規模構造物を対象としたリアルタイムレンダリング方式のDRシミュレーションシステム「PCDRシステム」を開発した。本研究の結論は以下の通りである。

- ・本研究で開発したPCDRシステムによるDR手法により、

現在のAR手法では適切な検討が難しい、屋外の大規模構造物の解体、撤去を想定した、幾何学的整合性のとれた景観検討が可能であることが確認された。

- ・PCDRシステムによるDR手法は、建物の解体、撤去後の新設構造物のARシミュレーションに適用可能である事が確認された。

今後は、仮想世界と現実世界の色調が異なる問題を解決していきたい。

謝辞：本研究を進めるにあたり、関西工事測量株式会社から多大なるご協力を頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：国土交通省所管公共事業における景観検討の基本方針，
<http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/13/130330/01.pdf>，
(2013.2.6 参照)
- 2) 物部寛太郎，田中成典，伊藤裕二，武井千雅子，許会慶：3次元VRシステムを用いた住民参加型景観シミュレーションツールの研究開発，情報処理学会，

- 全国大会講演論文集 第70回平成20年(3), ”3-117”-“3-118”, 2008.
- 3) 矢吹信喜: VR, MR, AR の基礎と建設分野への適用について, 日本建設情報総合センター, JACIC 情報103号, Vol.26, No.3, pp.6-16, 2011.
- 4) Paul Milgram, Haruo Takemura, Akira Utsumi, Fumio Kishino: Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum, The International Society for Optical Engineering Vol. 2351, Telemanipulator and Telepresence Technologies, 1994.
- 5) V. Lepetit and M. -O. Berger: A Semi-Interactive and Intuitive Tool For Outlining Objects in Video Sequences With Application To Augmented and Diminished Reality, Proceedings of the International Symposium on Mixed Reality, 2001.
- 6) F. I. Cosco, C. Garre, F. Bruno, M. Muzzupappa and M. A. Otubay: Augmented touch without visual obstruction, Proc. International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2009), pp.99-102, 2009.
- 7) 榎本暁人, 斎藤英雄: 複数のハンディカメラを利用した Diminished Reality, MIRU 2007, pp.1277-1282, 2007.
- 8) 森尚平, 一刈良介, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: 隠消現実感の技術的枠組と諸問題〜現実世界に実在する物体を視覚的に隠蔽・消去・透視する技術について〜, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.16, No.2, pp.239-250, 2011.
- 9) 瀧口純一: 高精度 GPS 移動計測装置三菱モービルマッピングシステム, 情報処理学会研究報告. CVIM, [コンピュータビジョンとイメージメディア], 2011-CVIM-176(20), pp.1-5, 2011.
- 10) Mark Fiala: The SQUASH 1000 Tangible User Interface System, Proceedings of the Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2005)
- 11) 神原誠之, 横矢直和, 竹村治雄: マーカと自然特徴点を併用した広範囲見回し可能なステレオビデオシーンスルー拡張現実, 電子情報通信学会技術報告. PRMU, パターン認識・メディア理解 101号, pp.47-53, 2002.
- 12) 佐藤智和, 横矢直和: AR/MR における幾何位置合わせ手法の現状-自然特徴を使った手法の研究動向と課題, 第14回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2009.
- 13) N. Yabuki, Y. Hamada and T. Fukuda: Development of an Accurate Registration Technique for Outdoor Augmented Reality Using Point Cloud Data, Proceedings of 14th International Conference on Computing in Civil and Engineering, Moscow, 2012.
- 14) 高奥信豪, 矢吹信喜, 福田知弘: 3次元レーザースキャナの点群データを用いた屋外拡張現実感技術の検討, 平成23年度日本建築学会近畿支部研究報告書, 第51号・計画系, pp.441-444, 2011.
- 15) 鈴木宏正, 神鳥泰章, 金井崇, 木村文彦: 測定点群からの三角形メッシュ生成(第1報)―空領域削除法と陰関数再構成法による初期メッシュ生成―, 精密工学会誌, 第64巻, 第9号, pp.1314-1319, 1998.
- 16) 鈴木宏正, 神鳥泰章, 金井崇, 木村文彦: 測定点群からの三角形メッシュ生成(第2報)―初期メッシュの改良法―, 精密工学会誌, 第64巻, 10号, pp.1461-1466, 1998.
- 17) 北川憲佑, 矢吹信喜, 福田知弘: 都市モデルから3次元計測された点群の最適化システムに関する研究: GUI とテクスチャ生成機能の開発(都市計画), 平成23年度日本建築学会近畿支部研究報告書, 第51号・計画系, pp.569-572, 2011.

(2014.10.16 受付)

DIMINISHED REALITY FOR AR SIMULATION OF DEMOLITION AND REMOVAL OF URBAN OBJECTS

Nobuyoshi YABUKI, Takashi TANEMURA, Tomohiro FUKUDA and Takashi
MICHIKAWA

Augmented Reality (AR) which extends an environment with virtual objects has been studied extensively and has gained popularity in landscape assessment. However, existing AR approaches cannot correctly simulate views after the demolition and removal of outdoor buildings. To resolve this problem, Diminished Reality (DR) has been paid attention. DR is a technique which can remove the image of an existing object and paste the background image on the area of the diminished object in real time. It is well known that accurate registration of video camera's position and direction is quite difficult in AR or DR if it is used outdoors. On the other hand, a measurement technology of point cloud data by using 3D laser scanner has also been focused. Point cloud data can be measured in a wide-range scale such as a city or a country by using Mobile Mapping System (MMS) which is a laser scanner on a moving vehicle. Considering rapid progress of information technology in recent years, it is expected that we can get point cloud data of any place freely in near future. The registration methods using point cloud data for AR have been studied. Therefore, in this research, a Diminished Reality simulation system using point cloud data was proposed. This system facilitates landscape simulation and assessment of demolition and removal of outdoor buildings beforehand.