

9

オリンピック招致のための
VR / AR・MR

大石岳史 (東京大学生産技術研究所)
池内克史 (東京大学大学院情報学環)

VR / AR・MR

スマートフォンやタブレットの普及によって AR (Augmented Reality: 拡張現実感), MR (Mixed Reality: 複合現実感) という言葉が一般にも広く知られるようになってきている。VR (Virtual Reality) では完全な仮想世界を体験させることが目的であるが、AR・MR は実際の映像に仮想物体の CG 映像を重畳し、あたかも実世界に仮想の物体が存在するように見せることができる。AR は実世界に付加的に情報を表示するのに対して、MR は AR より広義の意味で、実世界と仮想世界を重畳させる意味で用いられる。一般的には AR という言葉の方が広く浸透しているが、本稿では仮想世界を融合させて見せるという意味では MR という言葉を用いる。

これまで我々のグループでは、失われた文化財を仮想復元することを目的として MR 技術の研究開発を進めてきた。日本の伝統的な建物は木造建築であり、多くの歴史的建造物が失われたため、MR によって実世界に重畳して仮想復元して表示する。MR の技術的課題はいかに実世界と仮想世界の間の違和感を低減するかであり、座標系を統一する位置合わせやオクルージョン処理、光源環境に合った見えを生成する陰影付けといった幾何・光学的整合性の実現が重要となってくる。これまでに国内では古都飛鳥京や平城京、海外でもローマ・アウグストゥス神殿などの失われた建造物を対象として、これらの整合性を実現するためのさまざまな手法を開発してきた。

東京オリンピック招致活動の際には、これまでに開発した理論をベースに、実時間かつ複数台同時に動作可能な MR システムを構築し、IOC (国際オリ

ンピック委員会) 評価委員の現場視察に際して VR / MR 技術を用いたプレゼンテーションを行った。このプレゼンテーションでは建設予定のスタジアムを晴海の現場に MR 表示し、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を通して仮想的にオリンピックの様子を体感してもらうというものであった。

本稿では、この 2016 年オリンピック招致活動の際に使用された技術、システムやコンテンツの概要について主に解説する。また先般開催が決定した 2020 年招致活動においても、AR 技術を想定した映像が用いられたため、このような技術についても紹介し、さらにオリンピックが開催される 2020 年における VR / AR・MR 技術への期待について述べる。

オリンピック招致活動における
VR / MR の活用

2016 年オリンピック招致活動の際には晴海ふ頭にオリンピックスタジアムの建設が予定されていた。建設予定スタジアムの展示方法としては精密な模型や CG アニメーションが製作されていたが、IOC の事前視察において、このスタジアムを視覚的かつ直感的に見せるために、晴海ふ頭現地に MR システムを構築してプレゼンテーションを実施した (図-1)。ここでは MR システムに利用された技術の概要とシステム構成、コンテンツなどについて述べる。

MR 技術概要

MR では仮想物体を実映像の正しい位置 (画面上の位置、奥行き位置) に表示することが必要であり、



図-1 オリンピックスタジアムのMR展示

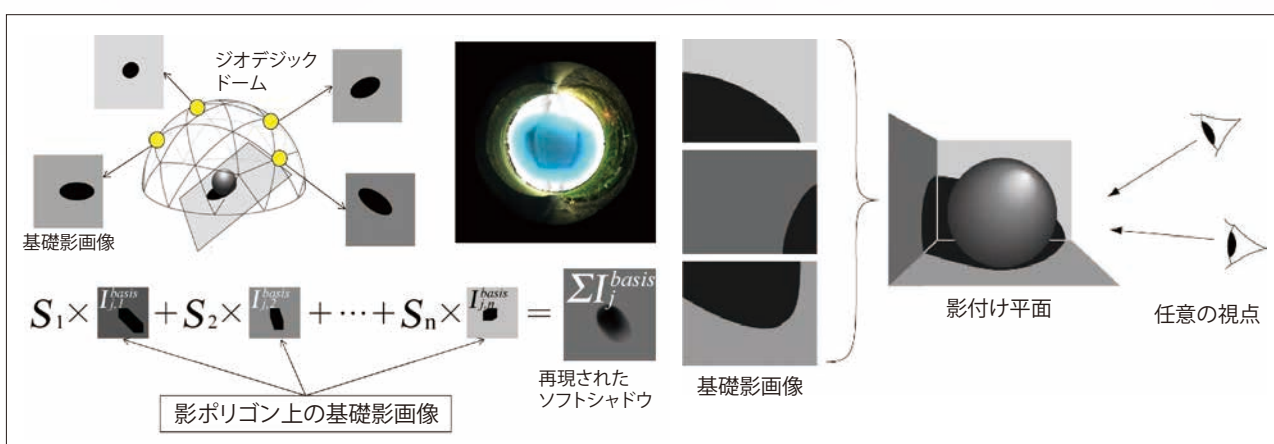


図-2 MRのための実時間陰影表現手法

これを幾何学的整合性と呼ぶ。幾何学的整合性は仮想物体の実世界上での位置を知覚させるためには非常に重要である。一方、位置関係を正しく表示しても、陰影情報がなければ仮想物体が浮き上がって見えるなど大きな違和感が生じる。特に影は物体の位置情報の知覚にも大きく影響し、陰は実世界との見えの連続性に影響している。この実世界と同じ陰影情報を仮想物体に付加することで本物らしい映像を生成することは光学的整合性と呼ばれる。

オリンピック招致プレゼンシステムでは、主に光学的整合性の実現を特色としており、実世界から光源環境を取得し、実時間で陰影付けを行った。ここでは、①実環境測定による陰影表現、②基礎画像法による影の実時間処理、③影付け平面による視点変更、の3つの主な特徴について解説する。

実光源環境測定に基づく陰影表現

光源環境の推定には、カメラによって光源を直接撮影する手法や、撮影した参照球から推定する手法

などがある。本システムでは前者のカメラによって直接撮影する手法を用いている。まず魚眼レンズを装着したカメラによって、上空に存在する太陽や空や雲が、仮想スタジアムにどの方向からどれだけの量の光が投げかけられているかを観測する。この得られた光量分布を用いて、地上面の各地点においてスタジアムがある場合とない場合の影の比率を計算し、影比率に応じて各地点の実画像を暗くすることで仮想スタジアムが地上面に投げかける影を実際の時間・天候に応じて生成することができる。また点光源だけでなく、全方向からの光の影響を考慮することによって図-2にあるような境界がはっきりしないソフトシャドウを生成することができる。

基礎影画像による実時間処理

前述の陰影付けは、すべての地点に対してすべての方向からの光量を計算する必要があるため多くの処理時間が必要となる。一方、あらかじめある方向に光源があった場合に、その光源による影響、つま



図-3 MRシステム設置と体験の様子

り影は事前に計算しておくことができる。この事前に計算された影を基礎影画像と呼ぶ。レンダリング実行時には、カメラによって明るさ分布を測定し、各方向での光源の強さを基礎影画像にかけあわせ総和を計算することによって影を高速に生成することができる。さらに総和計算はフラグメントごとに処理できるため、グラフィクスプロセッシングユニット（GPU）上で、シェーダー機能を用いて実装している。これによりGPUを搭載していれば比較的小型のノートPCなどでも実時間で写実的な陰影表現が可能となる。

影付け平面法による視点変更

従来の基礎画像法はカメラ画像に対して計算するイメージベースの手法であったため、ユーザが視点を変更することができなかった。この問題を解決するために仮想的な影付け平面を実物体および仮想物体に配置して影を投影する手法を開発して用いた（図-2）。実世界に影を落とすためには、仮想スタジアムの周辺に影付け平面を配し、この影付け平面上で基礎画像を計算する。さらに地上面と同じように仮想物体表面上で影を計算して張り込むことで、ユーザが視点を変更しても、仮想物体が自分自身に落とすセルフシャドウを含む影を実時間でスタジアム全体につけることができる。各基礎平面で影を計算するのではなく、生成された映像のフラグメントごとに影を計算すれば良いため、GPU計算によって非常に高速に処理することができる。

オリンピックスタジアム体験システム

MRシステムの表示装置には、キヤノン社製のHMD（MRP VH-2002）を使用した（図-3）。HMDにはカメラが搭載されており、ユーザ視線の映像が取り込まれて、CGが合成されて内側のディスプレイに表示される。ただしCGを画像内のどこに表示するかを決めるためにはHMDの位置姿勢を求める必要がある。また複数人が同時にコンテンツを体験するためには、並列に動作するシステムが必要である。ここでは幾何学的整合性、同時体験システムと提示したコンテンツの概要について説明する。幾何学的整合性の実現

HMDの位置関係を求めるため、近年では画像特徴量ベースの手法が多く提案されている。しかし、屋外環境では光源環境の変化が激しく、また背景への距離が大きくなるため画像ベースの手法では安定かつ誤差の蓄積なく位置姿勢推定するのは難しい。IOC評価委員へのプレゼンテーションはわずか数分に限られ、失敗が許されない状況であったため、位置姿勢推定にはPOLHEMUS社の磁場を用いる方式を採用した（FASTRAK）。磁気センサからはHMDの位置姿勢（6自由度）が求められるので、この位置姿勢をもとに仮想スタジアムの見えが計算され、これが実世界映像の上に重畳される。この重畳された画像がHMD内のディスプレイ部に表示されることで、HMDをつけた人は、実際に晴海の予定地にスタジアムが建っているように感じるができる。この際、前節で述べた陰影付け手法を適用して、仮想スタジアムやその周辺のグラウンドの影や

色合いを実際の晴海のそれと一致するように処理を行った。

並列配信による複数ユーザの同時体験システム

今回の IOC の視察では、評価委員は 16 名かつ見学時間が限られていたため、予備の 4 台を含め 12 台の HMD を同時に制御する必要があった。そこで、各クライアントはネットワーク接続し、コンテンツ進行中のグローバルな位置姿勢情報はサーバで管理し、ネットワークを介して各 HMD に装着された PC に送信することで複数のユーザが同時体験することを可能とした。さらに、各タイミングで発生するイベント信号をネットワーク上で送信することで、複数のシステム間の同期をとり、それぞれのユーザが視点移動の自由を保ちながら、MR モードと、シナリオに沿って構成された VR モードを切り換えて体験できるシステムとした。POLHEMUS 社の FASTRAK は 1 台のトランスミッタに対して、4 台のレシーバを接続することが可能であるため、図-3 左に示すように 3 台のトランスミッタ (有効半径 2.5m) を使用して、12 台が同時稼働できるようにした。磁器センサを近くに置くと干渉するが、各トランスミッタは異なる周波数を用いて同期信号によって干渉を防いでいる。

オリンピック仮想体験コンテンツ

仮想観戦場所は晴海ふ頭の実際のスタジアム建設予定地付近に大型のテントを敷設して設置された (図-3)。この位置からスタジアム方面を見ると図-1 左にあるように何も無い敷地が広がっているだけであるが、図-1 右のように開催時には芝と木々に覆われた土地となり、その中にスタジアムが建設されるというシナリオを再現した。また MR ではセンサの有効範囲内からの見えしか再現できないため、MR モードから VR モードにシームレスにシフトし、スタジアムの内部に移動して、観客席からのビューやピッチ中央からのビューを体験できるようにした。さらに 100m 走の決勝戦を走っている状況を VR 再現することで、元オリンピック選手も多い IOC 委員に仮想東京オリンピックの一部を体験してもらい、その魅力をアピールした。

2020 年オリンピックにおける VR / AR ・ MR 技術への期待

招致活動プレゼンテーションビデオにおける映像処理

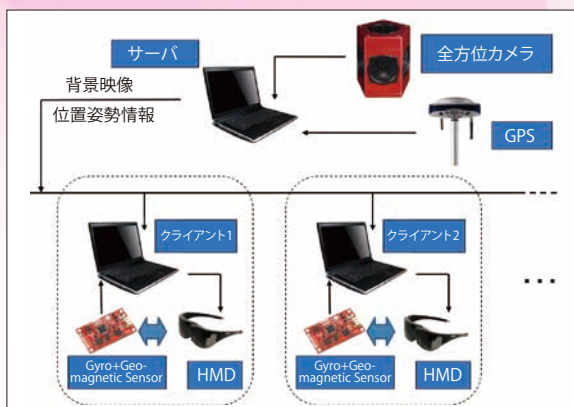
前述の 2016 年オリンピック招致は残念ながら成功しなかったが、周知のように 2020 年東京オリンピックが開催される運びとなった。この 2020 年招致活動の際にはプレゼンテーション中で映像が多く活用されており、プレゼンテーションビデオの中には AR 技術の利用を想定した映像が用いられていた。

フェンシングの太田雄貴選手のプレゼンテーションで使用されたビデオでは、高速に移動する剣先の軌跡を可視化し、さらに剣先が相手選手にヒットするとエフェクトが表示されるというものがあった。これはルールを知らない人でも楽しめるように、未来の試合観戦の様子を表現したものとのことである (ITMedia)。確かに我々がフェンシングの試合を観ても、剣先を追うことは難しく、また何がポイントになるのかも分からない。このビデオではいわゆる剣先のモーションをキャプチャし、その軌跡を効果 (アート) 的に可視化している。未来の様子ということであるが、技術的に見ると、ハイスピードカメラによって撮影した映像から剣先の軌跡をリアルタイムで追跡し、既存の判定システムと連携すれば、実際の試合中において AR 再現は可能であると考えられる。またこの撮影にはモーションコントロールカメラを用いているということなので、カメラ位置姿勢も既知である。つまり幾何学的整合性は実現されているので剣先だけでなくさまざまな情報を選手の体や空間に重畳表示することも可能であると推定される。

このように実用的かつ実現性が高い AR ・ MR の活用が実際のオリンピック観戦の中でも見られるようになることが期待される。どう見せるかという発想とそれを実現する技術の発展が今後の大きな課題である。



図-4 多人数体験・移動型 MR システム



視点共有型 MR

これまでの MR システムといえば個人で利用するのが通常であるが、スポーツ観戦においては多くの人が体験を共有することがポイントであるともいえる。前述のようにネットワーク技術を利用して個人向け MR システムで体験を共有することも可能であるが、全方位カメラを利用して視点を共有する MR システムも実現できる。図-4 に示すのは我々が開発している電気バスを利用した移動型 MR システムである。このシステムでは、車の左右に搭載された全方位カメラによって撮影した映像を複数のユーザに実時間で配信し、配信された映像に仮想物体を重畳表示している。GPS と画像トラッキング、ジャイロ、地磁気センサなどを用いて幾何学的整合性を実現し、全方位画像から直接取得した光源情報を用いて実時間陰影処理を行うことで光学的整合性を実現している。

ユーザの表示デバイスには HMD を用いているが、VH-2002 のようにカメラ付きではなく、姿勢センサのみを搭載した VR 向け HMD である。姿勢センサを搭載しない HMD の場合は別途センサをとり付けている。全方位カメラによって得られた背景映像はサーバで圧縮されてすべてのクライアントに配信される。クライアント側では、受け取った全方位映像からユーザの視線方向に応じて領域を切り出して CG を重畳表示する。この際、全方位カメラの位置姿勢および、ユーザの視線方向を求める必要があるが、前者は GPS および画像トラッキングによって正確な位置姿勢を求め、後者はユーザ個々の姿

勢をジャイロと地磁気センサフュージョンによって求めている。このシステムではカメラの位置姿勢は正確に推定する必要があるが、ユーザは直接実世界を見ているわけではないため視線方向を完全に実世界と合わせる必要はない。背景の全方位映像は周囲の光源状況を直接観測していることになるので、光学的整合性の実現も前述の手法で同様に実現できる。

このシステムのように全方位映像とそのカメラの位置姿勢が推定できれば、複数の観戦者とその視点からの映像を共有し、観戦者の動作に応じて視線方向を自由に変更することが可能となる。さらに位置姿勢情報に応じてさまざまな情報を重ねて表示することでより魅力的なコンテンツを提供可能になると考えられる。

2020 年オリンピック観戦への期待

このような映像提示システムの実現にはハード面、ソフト面ともにさらなる技術の発展が必要である。近年では Google Glass や EPSON 社の MOVERIO といったカメラ搭載型の小型軽量 HMD の普及が広がっている。また GoPro などの高解像度・小型カメラを利用して、スポーツプレイヤーが自分を撮影したり、プレイ中の一人称視点映像も多く見られるようになってきている。Panasonic 社の 4K ウェアラブルカメラでは著名なサッカー選手の一人称視点映像を観ることができるコンテンツを提供している。現在はオフラインでの鑑賞であるが、映像のネットワーク配信技術を用いることによってリアルタイムでの鑑

賞が可能となり、カメラのさらなる小型化・全方位化によって自由な視線での鑑賞が可能となることが期待される。

このように、映像機器やネットワーク、レンダリングを含む VR / AR・MR 技術の発展によって、これまでのように決められた台数のカメラによって撮影された映像をテレビで観戦するスポーツから、HMD やタブレットによって自由な視点で体感するスポーツ観戦への大きな変化が予想される。さらには、高速・高解像度カメラの発達や、認識や追跡など映像処理技術の発達によって、選手の動きを詳細に解析してさまざまな情報を加えて AR・MR 表示することによって、より魅力的なコンテンツを提供し、個人の要望に応じて観戦を楽しむことができるようになると考えられる。

今後の展望

本稿では、2016 年・2020 年東京オリンピック招致活動において利用された VR / AR・MR 技術について紹介した。2016 年招致活動の IOC 委員へのプレゼンテーションでは、多人数 MR システムによって仮想スタジアム・オリンピックを体験してもらい大変な高評を得た。そのため同システムをローザンヌにおける最終プレゼンテーション、ブース展示においても、より多くの IOC 委員に体験してもらおうこととなった。また 2020 年招致活動においても、件の映像がフェンシングの元オリンピック選手である Thomas Bach IOC 会長に大絶賛されたというのも納得できる。

このように招致活動においては VR / AR・MR 技術の活用が見られるが、今後は実際のオリンピッ

ク観戦やさらに案内・広告などといった場面への応用が期待される。現在、携帯機器や映像機器の劇的な進歩と、計算機の高速化に伴う映像処理技術の発達によってハード、ソフトの両面から表現方法に大きな可能性が見いだされつつある。しかし、これらの技術が一般に実用化されているとはいいがたいのも事実である。前述のようにさらなる技術の発達により、オリンピック開催の 2020 年には、会場あるいは各家庭においてこのような技術が利用されているものと期待したい。またオリンピックという非日常だけでなく、普段の生活においても VR / AR・MR 技術が広く浸透しているものと予想し、さらなる技術の発展に貢献していきたいと考えている。

(2014 年 9 月 2 日受付)

大石岳史 (正会員) oishi@cvi.iis.u-tokyo.ac.jp

2005 年東京大学大学院学際情報学府学際情報学専攻博士課程修了。同年同大生産技術研究所特任助手。2006 年同特任助教。2007 年東京大学大学院情報学環特任講師を経て、2011 年同大生産技術研究所先進モビリティ研究センター准教授。現在に至る。複合現実感、ITS、デジタルアーカイビングに関する研究に従事。博士 (学際情報学)。

池内克史 (正会員) ki@cvi.iis.u-tokyo.ac.jp

1978 年東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻博士課程修了。同年 MIT 人工知能研究所研究員。1980 年電子技術総合研究所研究官 / 主任研究官。1986 年 CMU 計算機科学部研究准教授 / 研究教授。1996 年東京大学生産技術研究所教授。2000 年同大学院情報学環教授兼任。現在に至る。有形・無形文化財のデジタル保存、明瞭さ解析、物体認識、ITS の研究に従事。博士 (工学)。Marr 賞、IEEE Fellow、紫綬褒章等。

謝辞 本プレゼンテーションにおいて HMD の貸出にご協力いただいたキャノン社、奈良先端大・木戸出研究室・横矢研究室、慶應大・斎藤研究室に感謝の意を表します。