

AR/MR デモンストレーションの再現性を保証する ソフトウェア環境の構築 —Casper Cartridge プロジェクト—

林 将之[†] 北原 格[‡] 亀田 能成[‡] 大田 友一[‡]

[†] 筑波大学 大学院システム情報工学研究科 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: [†] mhayashi@image.iit.tsukuba.ac.jp, [‡] {kitahara, kameda, ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし 拡張現実感や複合現実感の研究デモンストレーションにおいて、同一のハードウェア条件であれば同一のパフォーマンス実施を保証できる Linux ベースのソフトウェア環境提供の枠組みを提案する。これは、デバイスドライバから OS, その上の AR/MR デモンストレーションを含むアプリケーションプログラム層に至るまで全てのソフトウェアを一つの USB メモリに収め、それに依ってのみシステムを稼働させる枠組みを用いることで実現される。これにより、ターゲットとなる AR/MR システムについて、USB ブート可能な同一構成のハードウェアさえ用意すれば、USB メモリを挿して起動するだけで同一のパフォーマンスを示すことができる再現性(完全性)を保証することができる。我々は提案するソフトウェア環境を Casper Cartridge と呼んでいる。Casper Cartridge にはさらに 3 つの重要な利点がある。一つめは USB ブート可能なハードウェアに対して USB メモリを挿して起動するだけでターゲットとなる AR/MR デモンストレーションが利用可能になる利便性であり、二つめは AR/MR の開発環境の再配布の容易性であり、三つめは再配布を受けた利用者側が本環境上で開発をさらに継続できる発展性である。そのため、本提案はシステムの正当な評価を望む先端的な研究者だけでなく、AR/MR 研究の入口に立つ学生や研究者にとっても大きな福音となろう。具体的な AR/MR アプリケーションの例として、ARToolKit と PTAM の導入例を挙げる。TRAKMARK 評価環境についても今後用意する予定である。

キーワード 拡張現実感, 複合現実感, システム構築, USB ブート, Linux, TRAKMARK, ARToolKit, PTAM

Software Environment for Repetition of AR/MR Demonstration Performance —Casper Cartridge Project—

Masayuki HAYASHI[†] Itaru KITAHARA[‡] Yoshinari KAMEDA[‡] and Yuichi OHTA[‡]

[†] Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

E-mail: [†] mhayashi@image.iit.tsukuba.ac.jp, [‡] {kitahara, kameda, ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

Abstract We propose a Linux-based software environment in which Augmented Reality and Mixed Reality (AR/MR) demonstration programs can show expected performance as it is written in papers by preparing same hardware set-up. The environment that includes all the essential software such as device drivers, operating system, and AR/MR demonstration program are stored in a single USB memory. Since AR/MR demonstration program runs by relying on the software in the USB memory, this approach guarantees its repeatability if only same hardware is prepared. We call this software environment a Casper cartridge. Our Casper cartridge has three more important advantages. First is its easy operation because target AR/MR program can run by just plugging the USB memory to hardware. Second is its easy redistribution. Third is its expansibility since others can examine and improve programs on this software environment. Our project will be helpful for researchers who wish to show their system performance correctly, and for researchers and new students who will start their AR/MR researches. “ARToolKit” and “Parallel Tracking and Mapping (PTAM)” are taken up as example AR/MR demonstration programs. A TRAKMARK evaluation program will be also ready in our Casper cartridge project too.

Keyword Augmented Reality, Mixed Reality, System Installation, USB boot, Linux, TRAKMARK, ARToolKit, PTAM

1. はじめに

リアルタイム画像処理やユーザインタフェースの研究分野においては、アルゴリズムや方法論だけでな

く、高いシステムパフォーマンスが研究評価の大きな要因となることがある。この傾向は、拡張現実感 (Augmented Reality; AR) や複合現実感 (Mixed Reality;

MR)の研究分野では特に顕著である。これは、システムパフォーマンスが被験者の評価に影響を及ぼすためである。

AR/MR デモンストレーションにおいては、その性能を正しく評価するためには、ハードウェア環境のみならずそのソフトウェア環境を、オリジナルの環境と同一にすることが望まれる。ところが、現実には AR/MR デモンストレーションの基盤となる技術の高度化に伴い、提案されている AR/MR デモンストレーションの再現実験を行うことが困難になりつつある。ハードウェアについては、量産品による構成であれば、資料を元に全て再現することはまだ可能である。しかし、ソフトウェアに関しては、ソースコードやバイナリが公開されている場合でも、必ずしも同一の性能をだせる環境を用意できている保証はない。これは、AR/MR デモンストレーションの性能が画像処理や CG、パターン認識などの様々な要素技術の組み合わせによって定まるため、同一のソフトウェア環境を用意することが難しいためである。例えば、AR/MR システムでは、カメラをはじめとするセンサやグラフィックカードなど様々なマルチメディアデバイスを駆使することが時として求められるので、デバイスドライバのバージョンなどまで検証する必要がある。

そこで、本稿では、USB メモリのみによる、実行環境の同一性を保証できる AR/MR デモンストレーション向けのソフトウェア環境を構築する Casper Cartridge プロジェクトを提案する。これは、近年登場してきた casper-rw¹ というファイルシステムの仮想化技術を利用し、アプリケーションプログラム層のみならず、OS やデバイスドライバに至るまで全てをパッケージ化し、ハードウェアが同じである限り必ず同じ動作を保証する実行環境である (図 1)。

提案手法には、さらに 3 つの重要な利点がある。一つめは USB ブート可能なハードウェアに対して USB メモリを挿して起動するだけでターゲットとなる AR/MR デモンストレーションが実行可能になる利便性である。二つめは AR/MR デモンストレーションを配布しようとしている場合に再配布実施までに必要な処理がないという、再配布の容易性である。三つめは再配布を受けた利用者側が本環境上で開発をさらに継続できる研究の発展性である。

本稿の構成は以下の通りである。2.では既存のソフトウェアの開発環境・配布方法について、AR/MR デモンストレーションの再現性の面から考察する。3.では、提案する Casper Cartridge の基本構成について述べ、提案手法の特長の根拠を示す。4.では実際に Casper

Cartridge で現在導入済みないし導入予定の AR/MR アプリケーションについて紹介する。これには、ARToolkit[1]、Parallel Tracking and Mapping (PTAM)[2]、および TRAKMARK[3]が含まれる。最後に、5.で現状の問題点を挙げ、今後の展開について述べる。

2. デモンストレーション用ソフトウェア環境の配布方法

AR/MR デモンストレーションに限らず、研究におけるソフトウェアの配布形態として、最も一般的なのが当該ソフトウェアのみを配布対象としてインターネット等で配布する手法である。これに対して、OS および開発環境ごと配布する方法として、仮想マシンの配布、CD-ROM/DVD-ROM ブート可能な OS 形態による配布が挙げられる。提案する Casper Cartridge は、この派生系に分類されるが、他の配布形態にない利点がある。以下にその点について論じる。

2.1. デモンストレーションプログラムの単体配布

AR/MR 分野において研究開発を行う際は、画像処理や CG などの要素技術を利用するために複数のソフトウェア・ライブラリを使用することが一般的である。例えば、その一例として、Klein らが提案しソフトウェアを公開している Parallel Tracking and Mapping (PTAM) [2] と呼ばれるカメラトラッキングアルゴリズムが挙げられる。彼らは Linux や Windows などで作動するプログラムのソースコード、依存するライブラリの一覧およびビルド方法を示したドキュメントを公開している²。PTAM が依存するライブラリは全てオープンソースであったため、誰もが無償に必要なソフトウェア環境を構築することが可能である。しかし、実際に全てのライブラリをビルド・インストールするためには多くの作業が必要で、AR/MR 以外の ICT 技術についても知識がなければ、導入は容易ではない。

この問題を解決する方法の一つに、依存するライブラリとデモンストレーションプログラムをまとめてバイナリコードの形で同時配布する方法がある。この場合でも、OS 側の実行環境と整合がとれる保証はなく、かつ、追実験検証を行うためのプログラム変更を加えることができないことから、問題点が残る。

また、最近ではオンラインアップデートが標準となりつつあり、複雑化する OS 環境やライブラリについて、デモンストレーションプログラムの提供者が想定していたものと全く同一のソフトウェア環境を構築することは容易ではない。OS やライブラリのバージョンなどの違いはエラーやパフォーマンスの低下を引き起こす場合があり、デモンストレーションの再現性が保

¹ LiveCDPersistence: <https://help.ubuntu.com/community/LiveCD/Persistence>

² Parallel Tracking and Mapping (PTAM) news: <http://ewokrampage.wordpress.com/>

証されない。そのため展示等で AR/MR デモンストレーションを行う際には、ソフトウェア環境を構築済みのコンピュータシステムを持ち運ぶ必要があった。

そこで、OS やライブラリを含めた全てのソフトウェア環境をパッケージ化することで、ハードウェアが想定内である限りデモンストレーションの再現性を保証する方式が求められることになる。

2.2. 仮想マシンの配布

OS やライブラリも含めた全てのソフトウェア環境の配布を行う方法の一つとして、仮想マシン [4] を利用し、ゲスト OS 上に全てのソフトウェア環境を導入する方法が挙げられる。しかし、本方式ではホスト OS の実行のために、ハードウェアの演算性能の全てを利用できないため、AR や MR のように 3 次元 CG を表示し、同時に様々な画像処理も行いながらもリアルタイム性が要求されるシステムのデモンストレーションは行いにくい。また、ホスト OS 上のソフトウェア環境も性能に影響を及ぼす可能性があるが、それを統制することは容易ではない。

2.3. ブータブルメディアからの OS を含む配布

全てのソフトウェア環境を CD-ROM や DVD-ROM の形で提供し、それによってのみシステムをブートアップさせる方法は、Live CD 等と呼ばれ、ソフトウェア環境を固定するために有効な方法である。USB メモリを用いた方式の場合でも、ブートアップ形態はほぼ同じであり、ソフトウェアがハードウェア上で直接実行されるため、ハードウェアの演算能力を全て利用できる。

ただし、この Live-CD 形式を利用するためには、CD-ROM/DVD-ROM の場合と同じく USB メモリに搭載するディスクイメージを作成する必要があり、この作業が手間になるという問題があった。

これを解決するのが、USB メモリ上に Live CD 用ディスクイメージに加えてさらに書き込み可能領域を設ける方式である。これは Linux の配布の一つの形態としてすでに実用化されているが、アプリケーションのパフォーマンスを均一化する手段としてはみなされていなかった。本稿では、その点に注目し、AR/MR デモンストレーションに特に本方式が有効であることを示す。

3. Casper Cartridge の構成

3.1. 概念と利点

Casper Cartridge の実体は、USB メモリに格納された約 1~4GB³のサイズの単一のファイル⁴である。初期の

³ 本プロジェクトでは FAT32 ファイルシステムで扱えるよう 4GB を上限とする

Live-CD による起動後、特権操作であれユーザレベルの操作であれ、全てのファイル操作は、このファイルに記録され参照される。この Casper Cartridge の入った USB メモリさえ持ち歩けば出先の PC でデモンストレーションや展示が可能であり、しかもハードウェアが想定のものであれば全くの同一性能を保証可能であるため、AR/MR デモンストレーションの性能検証に適している。

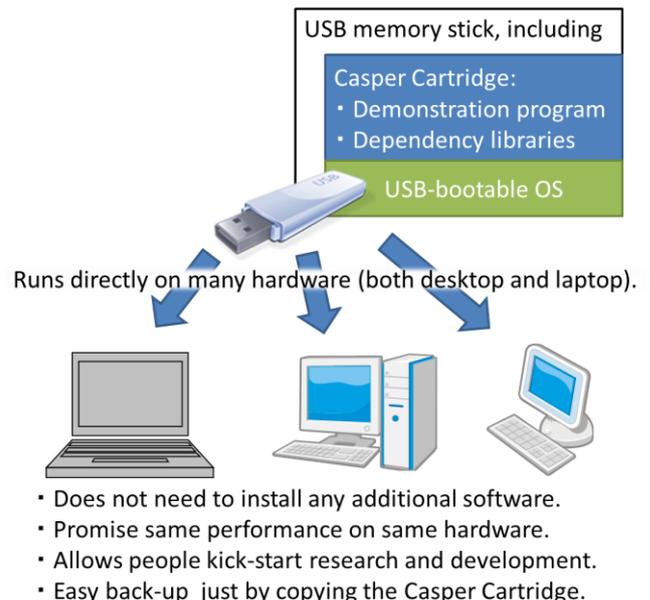


図 1 Casper Cartridge プロジェクトの概要
Fig.1 Concept of Casper cartridge project.

以下に Casper Cartridge 方式の利点を整理する。

【再現性（完全性）】

実体が単なるファイルであるため、単にそのファイルをコピーするだけでソフトウェア環境を完全に再現することができ、完全性が保証される。同じ理由でバックアップも容易である。この点は、仮想マシンの配布と似ているといえる。

【利便性】

USB メモリに格納して運用できることから、可搬性と可用性に優れる。最近の PC の多くは USB ブートに対応していることから、本方式によって逆に利用可能なハードウェアを調べることも容易である。

【再配布の容易性】

技術的には、利便性で述べたように再配布は容易である。OS やライブラリを注意して選択することで、知的所有権の観点からみても再配布に問題のないソフトウェア環境を無償で構築することができる。

作業としての観点からみれば、Casper Cartridge ファ

⁴ 現行配布形態では casper-rw というファイル名

イルはその性質上、利用者が行うファイル操作を伴う全ての作業を記録することができる。このことは、本環境上でシステム開発を行っている提供者側にあつては、開発を終了してシステムをシャットダウンした状態の Casper Cartridge をそのまま再配布すれば、即時に完全な形でデモンストレーションプログラム配布となることを意味する。

【発展性】

再配布の容易性と同じことではあるが、本環境上で利用者側がデモンストレーション実行時に行った様々なファイル操作もまた、すべて Casper Cartridge ファイルに保存される。このことは、配布を受けた側はその利用開始から、全くの追加作業なしに評価・開発・改良等の作業を継続し研究を発展させていけることを意味する。

ソフトウェア環境には、USB から起動可能な Linux 上に、OpenCV⁵, ARToolKit [1], Parallel Tracking and Mapping [2]など、AR/MR の研究開発で一般的に使用されているライブラリと開発環境を導入する。また、カメラからの画像を用いた位置合わせ手法・トラッキング手法を対象としたベンチマークテストである TrakMark [3]の実行環境も導入し、ベンチマークテストの共通環境としての利用も可能とする。

これらのソフトウェア環境は通常の Linux 環境と同様に利用でき、加えた変更は全て Casper Cartridge ファイルに保存されるため、Casper Cartridge を入れ替えるだけで様々な作業状態をすぐに体験することができる。システム研究成果や扱いにくい最先端プログラムなどを専門家が搭載させた Casper Cartridge を公開することで、すぐに一般へ普及させることが可能になる。

提案パッケージは、2011年9月現在、Casper Cartridge のプロジェクトページ⁶よりダウンロードが可能である。

3.2. 基本構成

ソフトウェア環境の構成を図2に示す。

OS としては、USB から起動可能で可搬性が高く、かつ知的所有権の観点から再配布に問題のないものを利用することが重要である。そこで、Live-CD 形式の Linux (現時点では Ubuntu Linux⁷) を USB メモリ上にインストールして用いる。これは、CD-ROM/DVD-ROM の場合と同じく、読み込み専用のファイルシステム上にインストールされる。作業状態を保存するために、

Casper Cartridge ファイルを用いる⁸。このファイルは読み出し/書き込み可能なファイルシステムが構築されたディスクイメージを成していると考えられることができる。これを、複数のファイルシステムを透過的に重ねて一つの仮想的なファイルシステムを形成する Union FS [5]を利用して、OS が格納された読み込み専用のファイルシステムと統合する。2つのファイルシステム内に同じパスを持つファイルがある場合、Casper Cartridge 内のファイルが優先されるため、統合後のファイルシステムは見かけ上、読み出し/書き込みが自由に可能となる。

Casper Cartridge は OS がインストールされた USB メモリにコピーするだけで使用でき、取り扱いが容易である。なお、USB メモリへのブータブル OS のインストールについては、OS 配布側の作業通りに行うだけでよい⁹。

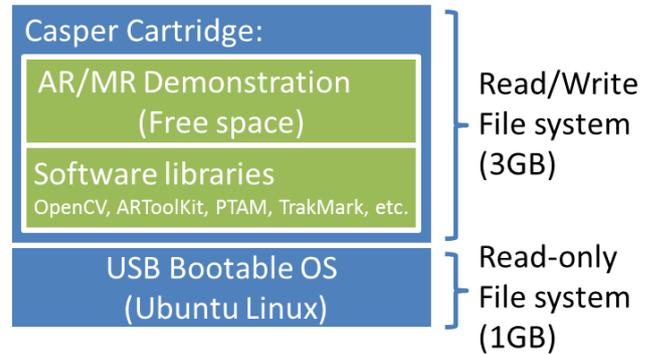


図2 USB メモリ内のソフトウェア構成
Fig.2 Software structure of USB memory.

3.3. 導入するソフトウェアとライブラリ

Live-CD 形式で提供される OS, デバイスドライバ, ライブラリ, 及びアプリケーション以外のソフトウェアで AR/MR デモンストレーションプログラムの実行に必要な全てのソフトウェアは、Casper Cartridge 内に準備する必要がある。もっとも、この準備作業自体も空の Casper Cartridge を用意して行うだけで全て記録され保存されるので、実質的な作業量は最小限で済む。

さらに、発展性を考える場合は、実行に必要なソフトウェアだけでなく、開発やプログラム改変に必要なソフトウェア・ライブラリやツールも同様に用意しておくことが望ましい。

現在公開している Casper Cartridge 上では、Live-CD 由来の gcc などの基本的なコンパイラ環境に加えて、

⁵ OpenCV: <http://opencv.willowgarage.com/wiki/>
⁶ Casper Cartridge Project: <http://www.kameda-lab.org/casper/index-j.html>
⁷ <http://www.ubuntu.com/>

⁸ 一般には Persistent file と呼称される
⁹ USB メモリブータブルな Ubuntu Linux の導入に関しては Windows ベース・Linux ベースどちらの手法も用意されている

Eclipse のような統合開発環境, およびライブラリの例として OpenCV¹⁰も用意している.

その上で, AR/MR 分野において先進的かつ潜在的利用者が多いと思われる AR/MR デモンストレーションプログラムを導入する. 具体的には, ARToolkit [1], PTAM [2], PTAMM [6]とその依存ライブラリである.

図3に Casper Cartridge を用いて構築したソフトウェア環境で PTAM を動作させた画面例を示す. 通常の Ubuntu Linux 環境と同様に利用でき, 3次元 CG のレンダリングや USB カメラのキャプチャなどが問題なく行えていることがわかる.

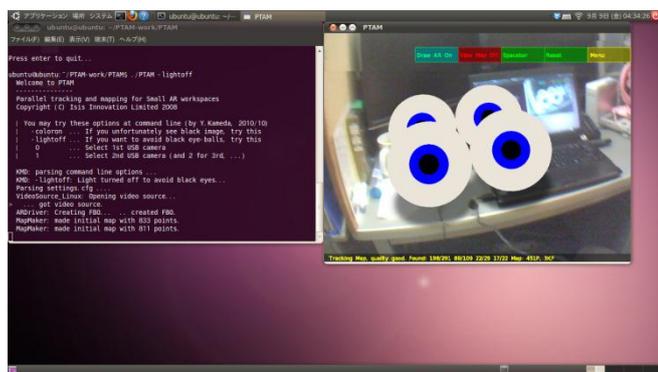


図3 Casper Cartridge 上での PTAM 実行例

Fig.3 Screen shot of PTAM on our Casper cartridge.

3.4. TRAKMARK ベンチマークテストの導入

カメラからの画像を用いた位置合わせ手法・トラッキング手法は, AR/MR の分野で最も重要な研究テーマの一つであるが, その性能を評価する標準的な手法はいまだ確立されていない. そこで, その性能評価基準として国際的に使用されることを目標とし, TRAKMARK ワーキンググループがベンチマークテストの策定作業を行っている [3].

2011年9月現在, テスト用の映像シーケンスが公開されており¹¹, PTAM などのカメラトラッキング手法を試験することが技術的には可能である. ただし, 作業として PTAM のソースコードの修正が必要なため, 開発環境を準備しなければならないが, 2.1.で述べたようにその準備には十分な専門知識が必要である.

そこで本プロジェクトは, 提案する Casper Cartridge 内に PTAM を用いた TRAKMARK の実行環境を構築し, 誰もが容易に TRAKMARK を試すことができる環境を準備する.

図4に TRAKMARK の Conference Venue Package 01 データセットにおけるカメラの軌跡を3次元でプロッ

トした図を示す. データセットに含まれる Grand truth の世界座標系と PTAM が設定する世界座標系とは原点, 座標軸の向きおよびスケールが異なる. そのため, 両者の誤差を定量的に評価するためには, これらを揃える処理などを行う必要がある. TRAKMARK のカメラトラッキング結果の定量的な評価基準については策定作業が進行中であるが, 図4のような3次元軌跡の表示は, おおよその評価を与える上で有効であると考えられる. このような軌跡のプロットを行うソフトウェアもまた Casper Cartridge に導入することで, TRAKMARK 実行結果の比較が行いやすくなる.

TRAKMARK のように, 標準化を目指し, 多くの人々に利用しやすいよう整備していく必要があるシステムにとって, Casper Cartridge の利用は効果的であると考えられる.

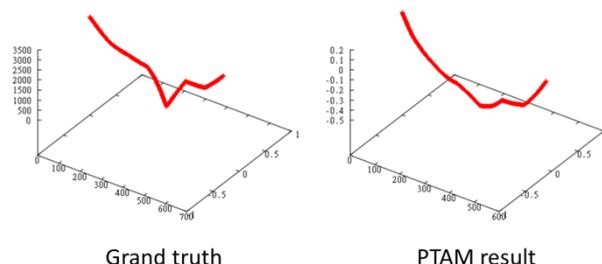


図4 TrakMark 実行結果の一例: 世界座標系におけるカメラの3次元軌跡

Fig.4 Result of TrakMark: Grand truth and PTAM estimated camera path in each world coordinate.

4. おわりに

USB メモリのみによる, ハードウェアを選ばずかつソフトウェア環境の同一性を保証できる Casper Cartridge プロジェクトを提案した. これは通常の Linux 環境と同様に使用でき, システムの変更点も全て記録できるという仕組みを利用した, AR/MR デモンストレーションや研究開発に適したソフトウェア環境のパッケージである.

現在, AR/MR デモンストレーションの例として, OpenCV, ARToolkit, PTAM などをもすぐに利用可能な状態で配布しているため, PTAM などの先端プログラムも容易に利用することができる. AR/MR デモンストレーションが必要な研究については, 今後, Casper Cartridge に導入して配布することで, システムの正当な評価を受けやすくなることが予想される. また, USB メモリスティックと PC さえあればどこでも研究開発が可能なことは, 入門レベルの学生や研究者にとっても大きな利点をもたらすであろう.

なお, Casper Cartridge の利用にあたっては注意すべ

¹⁰ OpenCV: <http://opencv.willowgarage.com/wiki/>

¹¹ TrakMark: <http://trakmark.net/>

き点がいくつかある。一つは、ウイルスや害意のあるプログラムの混入である。原則としては提供者側がモラルをもって対処すべき事項ではあるが、意図しないソフトウェアが混入された状態で配布されてしまわないよう、チェックサムを設けて配布することが望ましい。今一つは、再配布時の情報漏洩である。OSを含めた全ての環境を保存でき、それを再配布すること可能であるため、通常、ブラウザの履歴やシェルのヒストリ等もすべて保存されることになる。こうした個人情報誤って配布しないよう、作成・配布時には注意が必要である。いずれにせよこれらの問題点は仮想マシンの配布時の危険性と同等であり、Casper Cartridge 固有の問題ではないため、注意を払えば問題発生を回避することは十分に可能である。

謝 辞

本研究の一部は、日本学術振興会基盤研究(B)の「環境カメラ群映像の安心かつ効率的見える化の為の時空間解析と複合現実感的可視化」(課題番号 23300064)および平成 23 年度科学研究費補助金(特別研究員奨励費:課題番号 23・310)の支援を受けて行われた。

文 献

- [1] Hirokazu Kato and Mark Billinghurst, "Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-Based Augmented Reality Conferencing System," Proceedings of the 2nd International Workshop on Augmented Reality (IWAR), pp.85-94, 1999.
- [2] George Klein and David Murray, "Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces," Proceedings of the 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pp.1-10, 2007.
- [3] Hideyuki Tamura and Hirokazu Kato, "Proposal of International Voluntary Activities on Establishing Benchmark," Proceedings of the 8th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pp.233-236, 2009.
- [4] James E. Smith and Ravi Nair, "The Architecture of Virtual Machines," Computer, vol.38, 5, p.32-38, 2005.
- [5] David Quigley, Josef Sipek, Charles P. Wright, and Erez Zadok, "UnionFS: User- and Community-Oriented Development of a Unification Filesystem," Proceedings of the 2006 Linux Symposium, pp.349-362, 2006.
- [6] Robert Castle, Georg Klein, and David Murray, "Video-rate Localization in Multiple Maps for Wearable Augmented Reality," Proceedings of 12th IEEE International Symposium on Wearable Computers (IWAR), pp.15-22, 2008.