

奥行き画像センサを用いた展示空間の物理評価

Physical evaluation method of exhibition space using depth image sensors

岩楯翔仁, 藤村航, 三角甫, 小坂崇之, 白井暁彦

Shoto IWADATE and Wataru FUJIMURA and Hajime MISUMI

and Takayuki KOSAKA and Akihiko SHIRAI

神奈川工科大学

(〒 243-0292 神奈川県厚木市下荻野 1030)

Abstract : This article describes about ResBe series, our remote entertainment space recognition systems. ResBe-T(top view) by laser range finder had tested in iTokyo2011, an actual public demonstration event of interactive techniques. And it reports an usage rate map by heatmap method in this condition. It also reports about ResBe-K(Kinect) with a calibration method to obtain estimated height of visitors and snapshot function to describe events in exhibition space.

Key Words: Depth image processing, Kinect, Physical evaluation, space evaluation

1. はじめに

近年創出されている VR エンタテインメントシステムや、コミュニケーションロボット、デジタルサイネージといった、デジタルコンテンツを体験している対象に対して、身体的な動作・現象などからアンケートや主観的ではなく、物理的な評価を行う方法を開発することは、システムの質的向上や、工学的なコンテンツ開発ノウハウを積み上げ、広告メディアの価格決定などで重要となる [1] .

我々はこの課題に対し、非接触でユーザ属性を測ることに注目し、赤外線レーザーによる Time of Flight を用いた円形スキャンが可能な赤外線測域センサを使用し、ユーザ非装着型エンタテインメント空間評価手法 ResBe(Remote entertainment space Behavior evaluation) の研究を進めてきた [2][3] .

2. 関連研究

本研究の関連研究としては、体験者へのアンケートやゲームシステムにおけるコイン投入数などのマーケティング手法、CG アニメーション生成における確率場によるシミュレーションや、遠隔臨場感システムにおける HMD 装着による注視点測定、血流・血圧や呼吸、GPS 装着による測位など装着物を使った測定法などが存在する。また事例としては、カートや携帯電話などの端末に取り付けられた RFID や IC を店内のセンサで読み取ることによるスーパー内での顧客、従業員の行動把握・作業の効率化や、陳列・ポップなど広告の配置検討に利用するもの、駅構内に設置されているデジタルサイネージコンテンツの広告効果・広告料評価システムなどが存在する。

これらの方法、たとえばデバイス装着方式では、装着物による束縛感・重量感に加え、被験者が協力を前提とする必要がある。また画像認識では、撮影環境や遮蔽、解析による人的労力などの問題が残る。また、アンケート手法では、言語的な理解に基づいた情報しか問えず、実験者の意図した結果に誘導されたり、新奇な体験に対して評価できないなどの問題がある [6] .

3. ResBe-T による展示空間の評価

そこで我々は、被験者となる空間に存在する人間が一切の装着物を着用せず、かつ測定を意識させないよう、遠隔もしくは事後にエンタテインメント空間の評価を行う物理計測システム「ResBe」の研究開発を行っている。

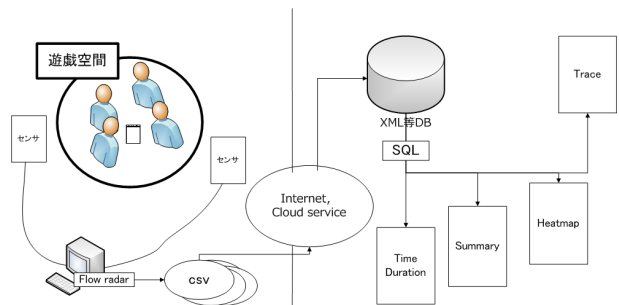


図 1: ResBe-T システム構成

複数存在する「ResBe」の中でも、特に赤外線レーザーによる Time of Flight(TOF) スキャナ式レンジセンサ (北陽電機株式会社製 UTM-30LX; 以下測域センサ) を使用し、円形近似により人体をトラッキングするタイプの ResBe シ

システムを「ResBe-T (Top View)」と呼び ([図 1]) , インタラクティブ空間の展示やサイエンスワークショップ, e-sports イベントなど様々な環境で公開実験を行い, 可視化手法とともに報告してきた [2][3] .

4. インタラクティブ展示「iTokyo」での ResBe-T を用いた展示空間の物理評価

2010 年 8 月 24, 25 日に日本科学未来館にて開催された「インタラクティブ東京 2010」(以下 iTokyo) において, ResBe-T システムを用いて, 来場者の室内空間での振る舞いと展示空間の評価を他のインタラクティブ展示の中で公開実験として実施した .

iTokyo は研究者による最先端の革新的なインタラクティブ技術を広く伝えるためのデモ展示イベントであり, 「研究のプロセスとしての実演発表」というコンセプトで, 様々な研究者が実演展示を実施している. ResBe-T での計測および会場内の撮影はイノベーションホール (16.0m × 10.5m) の空間に設置され, 被験者 (以下「来場者」) とのコンセンサスは iTokyo2010 実行委員会の協力により, 受付時に伝えられており, 特にプライバシーなどに危惧する意見は聞かれなかった .

実験空間内には, ResBe-T 展示を含めると 10 のインタラクティブ展示が設置されている (図 2) . 来場者は図中左側から薄暗い展示空間に入退場し, 自由な意思で展示を訪問・体験することができる. なお, この状態はエンタテインメントシステム [1] の「遊戯状態」の 6 条件である「自由, 隔離, 利益を生まない, 虚実の理解が可能, ルールがある, 先が読めない」が成立した空間ともいえる .

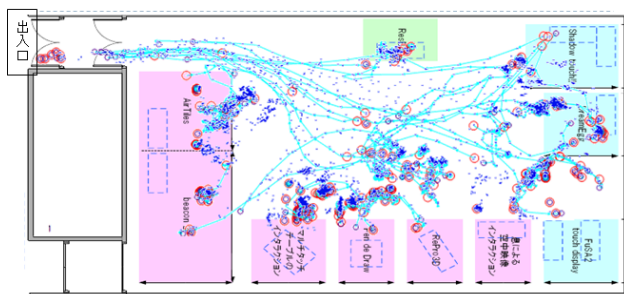


図 2: インタラクティブ展示空間内での動線 (3 分間)

図 2 中の軌跡は 24 日の実際の展示時間中における特徴的な 3 分間の展示空間の様子を抽出したものである (点 1 点が 1 秒の記録に該当する) .

以下の考察は個々の展示物の優越ではなく, 空間の評価であるため, 本来 A~J などの符号で表現すべきであるが, 「展示空間の評価」を評価するという意味合いのため, 実際の展示物名を表示することを理解されたい .

まず, すべての展示物に来場者が集まっていることが読み取れるが, 入り口からの動線を観察すると, 図中左下の「beacon」, 「マルチタッチテーブルのインタラクション」, 中央下「RePro 3D」, および図中右下の「Fusa2 touch display」,

「息による空中映像インタラクション」に対して「出入口から直接進んでいる来場者」が極端に少ないことが観察できる. これは出入口からのビジビリティが影響していることが原因だろう. 対して, 床置き型インスタレーションを行った図中「Shadow Touch」, 「Dream Egg」については, 出入口から距離が遠いにもかかわらず, 直接動線が確認できる. また描線のストロークが長いことから, 小走りに会場を移動していることがわかる. 出入口から最も近い「AirTiles」は直接動線が多いが, 展示ゾーンを横切ることなく, 展示の正面側からゾーンに入り, 関連性の高い展示である「beacon」に続いている点が興味深い .

なお図中の で表示されている箇所が, オクルージョンが発生し, ユーザの認識が途切れたデータである. ResBe-T には数秒間の遮蔽であればフレーム差分から復元する機能があるが, このようなケースは, センサと来場者や解説者, 展示物などの遮蔽で発生する. 今回の実験では展示物として「ResBe-T」を展示しているため, センサ前に来場者が立ち, 遮蔽が生じた状況もあった. なお, このフラグメンテーションを復元し, 正しい来場者の動向を推定する手法については各種考えられるが, 今後の課題とする .

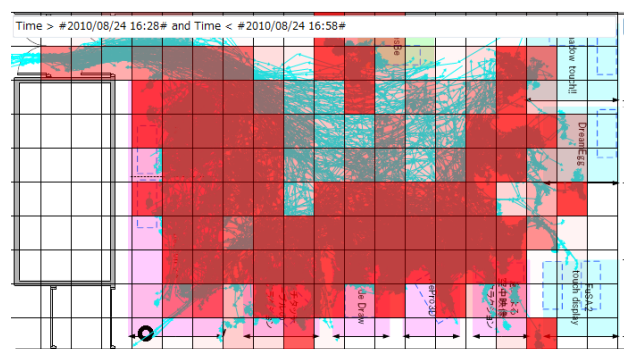


図 3: Heatmap 手法による空間使用率 (30 分間)

次に図 3 は, 同計測データを HeatMap アルゴリズムを用いて, 2010 年 10 月 24 日 16 時 28 分 ~ 16 時 58 分の 30 分間における空間使用率と来場者の歩行パスを重畳表示したものである. 濃く表示されているブロックは, 来場者が { 長く / 多く } 存在していたことを表している. 歩行もしくは滞在により全体的に使用率が高い. 「ResBe-T」が展示されていた中央上が若干の使用率の低いゾーンであるが, これは「ResBe-T」の測定の特性上, 有利な条件であったといえる .

この可視化データの着色強調は本計測における相対的な配色であるが, 同空間でほかのイベント (たとえば静止画の展示など) が開催された場合など, 継続的に測定を行えば, 空間使用の効率やイベント間での使用率の傾向やレイアウト設計に有益な知見が得られるだろう .

また歩行と滞在を分離するフィルタリングや, 滞在時間の分析, 来場者ごと体験した展示物の遷移の分析に使えば, 展示空間だけでなく個々の展示物の質的評価が実現できるため, 今後も継続的に分析を続けていきたい .

5. ResBe-K

ResBe-T により、測域センサのみを使った方法で、来場者の空間内での動線分析や、Heatmap 手法による空間利用率の可視化が可能となったが、前節の遮蔽問題の分析や、より高度な質的調査を物理計測によって実施するための手掛かりとなる来場者の属性情報、例えば身長や年齢、来場者同士の関係といったデータは取得する方法がない。ビデオカメラ等の画像カメラを使う方法は多数あるが、iTokyo のような展示空間は暗所など光源環境が安定しないため、使いづらい。そこで、奥行きセンサと画像カメラをパッケージしたゲームコントローラである KinectTM を ResBe シリーズに加え、新たに「ResBe-K」として、奥行き画像処理認識による展示空間の質的評価が可能になるシステムを開発した。

5.1 Kinect による身長推定

Kinect で取得した被写体の奥行き画像における頭頂部と足先部分のピクセルから幾何光学的に求められる。

ResBe-K を用いた計測を行う前に Kinect での奥行き認識と実身長との誤差の大きさを測るためのキャリブレーション実験を行った。まず Kinect を床から 87cm の高さの台座に乗せ、図 4 のように、床に直線を引き、で記した測定点（手前からそれぞれ奥に 220cm, 300cm, 370cm, 中心線から左右に 50cm）に被験者を立位で静止させ計測を行った。グラフは全員のデータをユーザごと左中右の 3 系統、Kinect から見て左列を 1 (ABC), 中列を 2 (DEF), 右列を 3 (GHI) に分け、特性をグラフ化した。

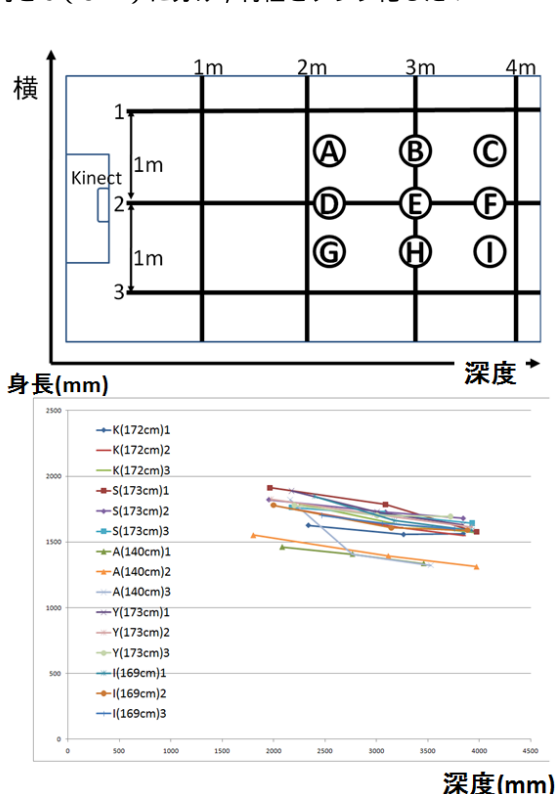


図 4: Kinect による身長推定実験

身長 170cm で初期値を設定し、身長の異なる計 5 人の被験者で計測した結果、手前（220cm 地点）では増加傾向、

中間地点（300cm）では実身長に近い値が取得でき、奥に行く程小さくなるという結果がでた。左右でも同様に直線的な傾向がみられるため、一次補完、ルックアップテーブル等を用いる事で、より高精度、高速な身長計測システムが実現できるだろう。

今回の報告ではリアルタイムで歩行する身長の値を取得するため、常に変動する値の平均値を取得し、その値を推定された身長としている。画像カメラによる画像認識に頼らず、奥行き画像のみで人間の存在および接近を認識するため、システムに認識している空間の実画像と奥行き画像を撮影し、身長・深度・時間の値を csv ファイル形式で記録する機能を加えた。これにより、ResBe-T ではできなかった質的評価の物理計測や、膨大な記録データを圧縮する鍵となるイベントの取得が可能になった。

6. ResBe-K によるインタラクティブ展示物と静止

画混在環境における展示空間評価

2011 年 7 月 17 日、大学内で行われた高校生向けオープンキャンパスにて、インタラクティブ作品「CartooNect」[4][5] のデモ展示と、静止画ギャラリー展示を図 6 のような配置で設置し、ResBe-T と ResBe-K（以後、ResBe-T+K）による来場者の動線調査および属性評価実験、事後のアンケートの 3 手法の比較実験を行った。

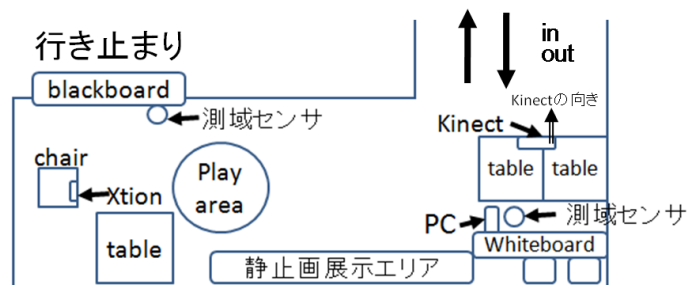


図 5: 展示作品混在環境における ResBe-T+K の配置

今回の実験では、インタラクティブ展示と静止画展示を混在させ、実験の課題としては (1) ResBe-T+K の赤外線干渉がないことの確認、(2) 自動シャッター機能による来場者属性の取得、(3) 身長推定とアンケートによる実身長の比較の 3 点に重きを置いた。

まず、(1) については Kinect は Light Coding 手法、ResBe-T は TOF を使っており、また展示物「CartooNect」は Kinect と同じ PrimeSensor を内蔵した Xtion を使用しているが、光軸を直行させ 4 メートル以上離れた場合は全く問題なく使用できた。

6.1 結果:奥行き画像センサによる身長推定

(2) について、図 7 は、ResBe-K によって取得された、実画像と奥行き画像の例である。ResBe-T だけでは測定しづらい L 字型の空間において、スタッフ（図下左）や来場者が混在する環境においても、ある程度の属性を取得でき、事後判断の助けとなる事がわかる。

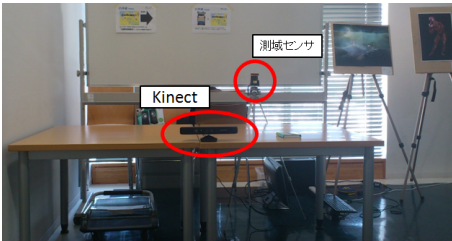


図 6: ResBe-K 設置環境

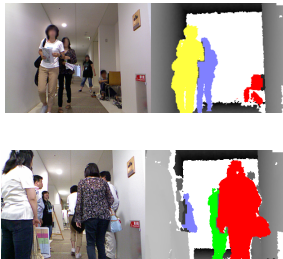


図 7: ResBe-K による実画像と奥行き画像

図 7 で認識された母娘（上図左，下図中）を例として，(3) について考察する．s システムで計測された身長は，接近時は 150cm（測定時深度=2095mm），奥へ向かっている状態（下図中）で 151cm（測定時深度=3390mm）であった．アンケートによる実身長は 163cm とあり，-8%程度の誤差が存在することが認められた．

動歩行時の推定身長の傾向については，Kinect によるキネマティクス取得や，数多くのデータと実身長との比較をとることで，より高精度な身長が取得できる可能性がある．今後の課題としたい．

6.2 平均滞在時間の評価

展示空間に訪れた人数は 49 人で，インタラクティブ作品「CartoonNect」のプレイ，静止画閲覧，アンケート記入を全て含めた空間内平均滞在時間は，5 分 57 秒であった．しかし，最長の滞在時間であった「17 分」など離れた値を排除した平均時間は大体 2～4 分であり，うち「CartoonNect」の 1 プレイ時間が 1 分前後であるので，並べられた 6 つの静止画作品を閲覧する時間の平均は，1～2 分（1 枚につき平均 10 秒～20 秒）と分析できた．美術系教員へこの結果を伝えたところ，このような場での静止画作品を鑑賞する時間は 1 作品大体 10～20 秒が平均とのことであり，妥当な結果であると考えられる．

7. まとめ

測域センサを用いた ResBe-T を用いて，一般公開されたインタラクティブ展示の状態を測定し歩行動線および Heatmap を用いた分析を行った．また，質的評価のための属性取得を前提とした Kinect の奥行き画像処理による身長推定キャリブレーションを報告，ResBe-K と ResBe-T をインタラクティブ展示と静止画展示の混在する展示環境に展示し，赤外線の影響や自動撮影による属性取得，歩行状態における身長推定誤差について報告した．

謝辞

機器をご提供いただいた北陽電機株式会社，実験にご協力いただいたインタラクティブ東京実行委員会・長谷川晶一先生に，この場を借りて謝意を表します．

参考文献

- [1] 白井 暁彦：エンタテインメントシステム，芸術科学会論誌，Vol. 3，No. 1，pp. 22-34，2004.
- [2] 岩橋翔仁，荒原一成，周立，白井暁彦：ResBe:エンタテインメントシステム周囲のコミュニケーション場に対する遠隔評価手法の提案，日本バーチャルリアリティ学会大会論文集，Vol. 15，2010.
- [3] 白井暁彦，岩橋翔仁，瀬口慎人，鈴木真一朗，長谷川晶一：測域センサを用いた ResBe システムと Heatmap による実世界指向エンタテインメントシステムの物理評価手法，エンタテインメントコンピューティング 2010 予稿集，2010.
- [4] FUJIMURA Wataru, IWDATE Shoto, SHIRAI Akihiko: CartoonNect: Sensory motor playing system using cartoon actions, Proceedings of Virtual Reality International Conference (VRIC 2011), 6-8 April 2011, Laval, France.
- [5] Misumi HAJIME, Wataru FUJIMURA, Takayuki KOSAKA, Motofumi HATTORI, Akihiko SHIRAI: Development of serious game which use full body interaction and accumulated motion, NICOGRAPH International 2011, 10-11 June 2011, Kanagawa, Japan.
- [6] 加藤 匠，白井暁彦，田中健司，早川貴泰，服部元史：スマートフォンの高精細加速度センサを用いた抽象的動画作品視聴時のユーザ動作分析と作品のクオリティ向上手法の提案，IT を活用した教育シンポジウム講演論文集，神奈川工科大学，2011.
- [7] 山田英樹，白井暁彦，河北真宏，三ツ峰秀樹，中嶋正之：Axi-Vision を用いた三次元モデリング，情報処理学会第 67 回全国大会，情報処理学会，2005.