

現実空間とCG空間を往来するミニカーコンテンツの開発

上村 杏由菜¹ 齋藤 吉平¹ 水野 慎士^{1,a)}

概要：ゲーム機やタブレット端末を用いたデジタルゲームは子供から大人まで大いに人気がある。その一方で、アナログな遊びであるミニカー遊びは昔から現代まで子供たち、特に男児に人気であり、近年は大人であってもコレクションとして楽しむ人も少なくない。そこで、本研究ではデジタルとアナログを繋ぐ鍵としてミニカーに着目して、ミニカーを用いた新しいコンテンツの提案と開発を行ったので報告する。このコンテンツは実物のミニカーを用いており、現実空間のミニカーが仮想空間に移動する。そして、仮想空間のミニカーでレースゲームを楽しんだ後、ミニカーは再び現実空間に戻ってくる。提案コンテンツを実装したところ、車体到手描きのスケッチを施したミニカーを現実空間と仮想空間で往来させながらミニカー遊びを楽しむことができることを確認した。

1. はじめに

ゲーム機やタブレット端末の普及が進み、それらを用いたデジタルゲームやコンテンツも一般的となって子供から大人まで大いに楽しんでいる。その一方で、ボードゲームやブロック、ぬいぐるみなどのアナログな遊びも昔から現代まで根強い人気があり、ゲームマーケットといったアナログゲーム専門の巨大イベントも開かれている。

そして、近年はアナログな道具やインタフェースを用いたデジタルコンテンツに大きな注目が集まっている。この理由としては、デジタル機器の使用が困難な未就学児であっても楽しむことができる点に加えて、現実空間のアナログな道具を使った日常的な動作によって仮想空間のデジタルデータと繋がるのがユーザに対して新鮮さや驚きを与えて、コンテンツが新しい魅力を持つ点にある。また、子供に興味を抱かせることができるため、楽しみながら学ぶことができる教育向けコンテンツが開発できる点もある。そのため、お絵描き [1]、砂場遊び [2]、折り紙 [3]、ロボットペーパークラフト [4] といった現実空間のアナログな道具やインタフェースを使ったデジタルコンテンツがイベントやアミューズメント施設などで活用されている。

アナログな遊びの一つとしてミニカーがある。最も一般的なミニカーはトミカに代表される約 60 分の 1 サイズのもので、子供、特に男児がミニカーを並べたりコースで走らせたりするなど遊びを楽しんでいる。自動車会社から新車が発表されるたびに新たなミニカーが登場して、時には限定ミニカーが登場することもあるため、ミニカーをコレ

クションとして楽しんでいる人も少なくない。

一方、デジタルゲームの中でも車を扱ったもの、特にレーシングゲームは人気のあるジャンルの一つであり、マリオカートのようにみんなでワイワイと楽しむタイプのものから、グランツーリスモのように超リアルな見た目の挙動でドライビングシミュレーションを楽しむタイプのものまで存在する。

著者らは、アナログな遊びであるミニカーとデジタルのレーシングゲームを融合することで、車を扱った新しい魅力を持つコンテンツが実現できるのではないかと考えた。そこで、本研究では実物のミニカーを使いながら仮想空間でのレースを行うことができるコンテンツの提案と開発を行った。このコンテンツの特徴は、現実空間の実物のミニカーが仮想空間に移動してレースを行い、レースが終わった後には再び現実空間に戻ってくるという点である。使用するミニカーの種類は自由であり、車体にお絵描きを施すこともできる。自由に選択したりお絵描きを施したりした自分のミニカーが現実空間と仮想空間を往来させながらレースを行うことができるため、現実空間と仮想空間を跨いだ新しいミニカー遊びとして、イベントなどで子供から大人まで多くの人が楽しむことができるコンテンツになる可能性がある。

2. 関連研究

現実空間のミニカーを仮想空間に登場させるコンテンツは既に著者らが開発している [5]。このコンテンツでは、ユーザは決められた種類の白いミニカーの車体にお絵描きを施して、専用の撮影台にミニカーを載せてミニカーの前

¹ 愛知工業大学情報科学部

^{a)} s.mizuno@ipsj.or.jp

後左右および上面からカメラで撮影する。その結果、お絵描きを施したミニカーが 3DCG モデル化されて、仮想空間内に登場して走り始めるというものである。このコンテンツでは現実空間のミニカーが仮想空間に登場するが、仮想空間に行って戻ってくるという表現はない。また、使用できるミニカーは 1 種類である。

現実空間の電動カートで仮想空間を走行するというコンテンツも著者らが開発している [6]。このコンテンツでは、お絵描きで描いた仮想空間の街の様子が電動カート前面のディスプレイに表示されて、ユーザはそれを見ながら電動カートを運転する。そのため、電動カートが現実空間と仮想空間を往来するというより仮想空間への窓口になっているというものである。

本研究と同様に現実空間のリアルな物体が仮想空間に行ってから戻ってくるという状況を再現したコンテンツとしては、尾崎らが人形遊びを拡張した仮想ドールハウスを開発している [7]。この研究では、ドールハウスの玄関を模した箱型装置の中にぬいぐるみを入れて扉を閉めると、そのぬいぐるみがディスプレイに表示された仮想ドールハウス内に登場する。そして、箱型装置の呼び鈴を押すと仮想ドールハウス内のぬいぐるみが扉に向かって移動して、画面から見えなくなると箱型装置の扉が自動的に開くため、まるでぬいぐるみが現実空間と仮想空間を往来しているような雰囲気が得られる。ただし、オリジナルのぬいぐるみを用いることはできない。

これらの関連研究に対して、本研究のコンテンツは自由な種類で場合によってはお絵描きを施したミニカーを現実空間から仮想空間に移動させてレースをした後、再び現実空間に戻すというこれまでにはない特徴を持つ。そのため、仮想空間のミニカーが自分のオリジナルのものであるという意識を十分に持つことができるため、より仮想空間と現実空間との繋がりを感じながら楽しむことができるコンテンツになる可能性を持つと考えている。

3. コンテンツの概要

本研究で提案するコンテンツの概要を図 1 に示す。

初めにユーザはミニカーを用意する。ミニカーの形状や種類は自由で、車体にお絵描きを施すことも可能である。用意したミニカーは専用の装置で撮影して 3DCG モデルを作成しておく。

次にミニカーをコースに置く。コースは坂になっているため、ミニカーは自然にコースを走り始めて、コース中のトンネルに入る。すると、ディスプレイに表示された仮想空間内のコース上に 3DCG モデル化されたミニカーが登場する。ユーザはコントローラを用いて仮想空間内のコースで 3DCG ミニカーを走らせる。そして 3DCG ミニカーが仮想空間内のコースのゴールに到着すると、トンネルからミニカーが戻ってくる。

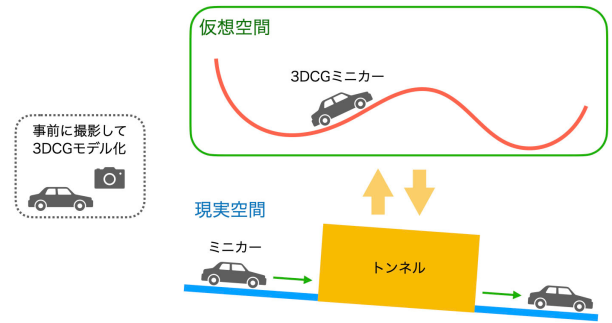


図 1 コンテンツの概要

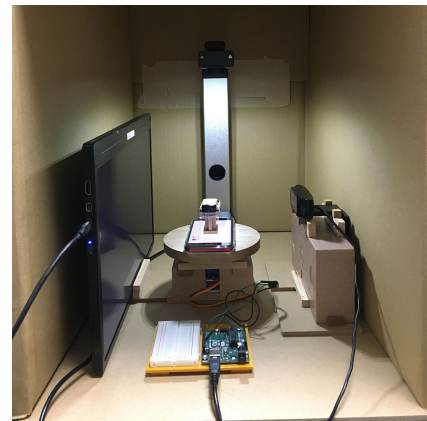


図 2 ミニカー撮影装置

つまり、現実空間のミニカーがトンネルを経由して仮想空間と往来する状況表現している。

4. 実現手法

提案コンテンツを実現するには、実物のミニカーを 3DCG モデル化することと、トンネルを経由してミニカーを現実空間と仮想空間を往来させる仕組みを構築することが必要になる。以下のそれぞれの実現手法について述べる。

4.1 実物のミニカーの 3DCG モデル化

4.1.1 ミニカー撮影装置

実物のミニカーの 3DCG モデル化は、ミニカーを前後左右および上面から撮影した画像に基づく。そのため、本研究ではミニカーを撮影する装置を開発した。図 2 に作成した撮影装置を示す。この装置は 2 台のカメラとミニカーを置く回転台で構成されており、1 台のカメラは回転台の側面、もう 1 台のカメラは回転台の上方に設置している。そして、回転台を 90 度ずつ回転させながら側面カメラでミニカーを撮影することで、ミニカーの前後左右の画像を取得する。また、上方カメラでミニカーの上面を撮影する。

ミニカーを撮影した画像からミニカーの 3DCG モデルを生成するには、画像からミニカー領域だけを抽出する必要がある。ここで、ミニカーの色や形状は様々であり、場合によっては車体にペンでお絵描きが施される場合もある。

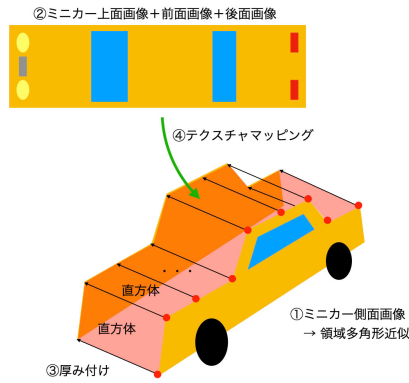


図 3 ミニカー撮影装置

そのため、単純な色を用いた領域抽出や事前に用意したマスクを使った領域抽出は適用が困難である。

そこで、本研究で開発した撮影装置では各カメラの反対側にディスプレイを設置して、周期的に輝度が変化する背景画像を表示している。これにより、カメラで撮影するときにミニカーの背景の明度が変化するため、明度変化に関するしきい値処理によってミニカー領域だけを抽出することが可能となる。

4.1.2 画像に基づくミニカー 3DCG モデルの生成

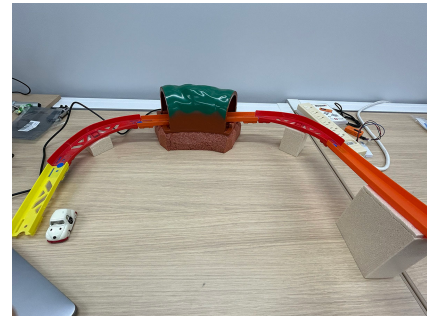
図 3 に画像に基づくミニカー 3DCG モデルの生成の手順の概要を示す。初めに、ミニカーの左右側面を撮影した画像からミニカー領域を切り取る。これにより、ミニカーの横からのシルエットを求める。前後および上面から撮影した画像についてもミニカー領域を抽出してから、前後から撮影した画像のうち上面からは写っていない部分について、上面から撮影した画像の前後に繋げる。次に、ミニカー側面シルエットを多角形近似してから、多角形の各辺を長方形にすることで多角形に厚みを与えることで立体化する。厚みはミニカーを上面から撮影した画像から抽出したミニカー領域に基づいて得られたミニカーの幅とする。これにより、ミニカー 3DCG モデルは左右のシルエットと、そのシルエットのフロントからリアまでに厚みを与える長方形群で構成される三次元形状として決定する。

生成されたミニカー 3DCG モデルにはミニカーを撮影した画像をテクスチャとして与える。具体的には、3DCG モデルの左右側面にはミニカーを左右から撮影した画像をテクスチャとして貼り付ける。また、3DCG モデルのフロント、ボンネット、屋根、リアに渡る長方形群にはミニカーを上面から撮影した画像に前後から撮影した画像を繋げた画像をテクスチャとして貼り付ける。

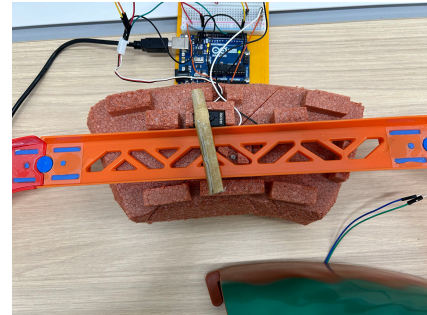
生成されたミニカー 3DCG モデルは、次章で紹介するシステムに送られる。

4.2 現実空間および仮想空間でのミニカーの操作

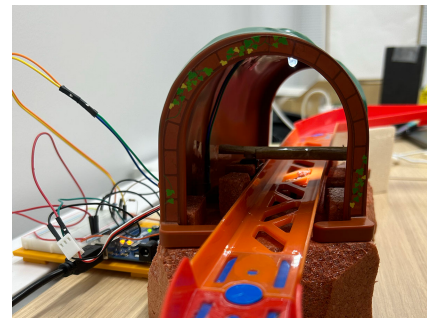
現実空間と仮想空間でミニカーを往来させるシステム用コースを図 4 に示す。コースは全体的に傾斜が付けられて



(a) 全景



(b) トンネル内の機構



(c) トンネル内の様子

図 4 現実空間と仮想空間でミニカーを往来させるシステム

おり、コースのスタート地点（図 4(a) 右端）にミニカーを置いて手を離せばミニカーは自然に動き始める。コース中にあるトンネル内部にはミニカーを一時的に停止させるバーや照度センサが設置されており、トンネル内天井に LED がセットされている（図 4(b)(c)）。そしてこのトンネルが現実空間と仮想空間を繋ぐシンボルとなっている。

ミニカーがシステムのコース中のトンネルに入ると、停止バーでミニカーが停止する。その際、LED で照らされている照度センサがミニカーによって覆われることでシステムはミニカーがトンネル内に入ったことを検出する。

システムは仮想空間の構築も行っており、そこには 3DCG で作成したレーシングコースが設置されている。そして、現実空間のミニカーがシステム用コースのトンネルに侵入したことを検知すると、前章で生成したミニカー 3DCG モデルが仮想空間のレーシングコース内に登場する。これにより、現実空間のミニカーがトンネルを通して仮想空間に到着したことを表現する。

仮想空間内での 3DCG ミニカーの操作は一般的なレー

シングゲームとほぼ同じである。ハンドル操作でミニカーを左右に移動させて、コース外に外れないようにしながらゴールを目指す。コース中にはスピードアップ／ダウンのアイテムが落ちているため、それらをうまく活用しながらなるべく早くゴールに到達できるように操作する。

仮想空間のレーシングコースをゴールすると、その先にもトンネルがある。このトンネルも仮想空間と現実空間を繋ぐシンボルとなっている。そのため、3DCG ミニカーが仮想空間のトンネルを通過すると、現実空間のシステム用コースのトンネル内の停止バーが開いて、その結果として止まっていたミニカーが動き出してトンネル外に現れる。これにより、仮想空間のミニカーがトンネルを通して現実空間に戻ってきたことを表現する。

5. 実験

5.1 実物のミニカーの 3DCG モデル化

実際にミニカーの撮影装置（図 2）を実装して 3DCG モデルを生成する実験を行った。撮影装置は 2 台の Web カメラと Arduino 接続のステッピングモータで制御する回転台で構成されており、PC（MacBook Air）に USB で接続されている。側面撮影用カメラの反対側には通常のディスプレイ、上面撮影用カメラの反対側にはスマートフォンを設置しており、それぞれ白と黒の画面を点滅させている。撮影装置を制御しながらミニカーの 3DCG モデルを生成するアプリケーションは PC 上に C++ で実装しており、画像処理用ライブラリとして OpenCV と OpenGL を用いている。使用するミニカーは約 60 分の 1 サイズのトミカである。

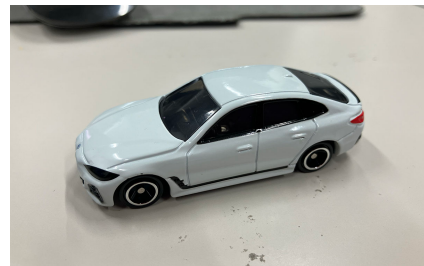
図 5 に 3DCG ミニカーの生成事例を示す。撮影画像の背景が明度が点滅するディスプレイとなっているため（図 5(a)(b)）、画像から適切にミニカー領域を抽出することができた（図 5(c)(d)(e)）。そして、側面ミニカー領域画像を領域多角形近似を行いながら厚みを与える立体化を行うことで、実物のミニカーが適切に 3DCG モデル化されていることを確認した（図 5(f)(g)）。

図 6 に別の 3DCG ミニカーの生成事例を示す。使用したミニカーの車体にはお絵描きが施されているが、明度差を利用した領域抽出手法によってミニカー領域が適切に抽出されて 3DCG モデル化も適切に行われた。

なお、現状の 3DCG モデル化は側面形状が平面になり、車体前後や上方の幅が絞り込まれるような側面の凹凸には対応していない。そのため、3DCG ミニカーの車体形状はオリジナルに比べて簡易的になる。また、ハシゴ車など車体の一部が他の場所に比べて幅が極端に狭い場合には適切に 3DCG モデル化ができない場合もある。

5.2 現実空間および仮想空間でのミニカーの操作

現実空間と仮想空間でミニカーを往来させるシステム



(a) 実物のミニカー



(b) ミニカーの正面および上面より撮影した画像



(c) ミニカー領域画像（左側面）



(d) ミニカー領域画像（正面）



(e) ミニカー領域画像（上面）



(f) 生成された 3DCG ミニカー（1）



(g) 生成された 3DCG ミニカー（2）

図 5 3DCG ミニカーの生成事例（1）

（図 4）を実装して実験を行った。システム用コースにはステッピングモータで制御する停止バーとコース上の照度セ



(a) 実物のミニカー



(b) 生成された 3DCG ミニカー (1)



(c) 生成された 3DCG ミニカー (2)

図 6 3DCG ミニカーの生成事例 (2)

ンサが設置されており、それらは Arduino を経由して PC (MacBook Air) に USB で接続されている。PC は仮想空間の構築や制御も行っており、ディスプレイには仮想空間の 3DCG レーシングコースが表示される。

コースの制御および仮想空間の表示のためのシステムは PC 上に C++ で実装しており、画像処理ライブラリとして OpenGL と OpenCV を用いている。仮想空間での 3DCG ミニカーの運転は M5Stick を装着したハンドルを用いて行い、M5Stick で計測した加速度を PC に Bluetooth で送信することで 3DCG ミニカーの左右移動を制御する。

図 7 に現実空間と仮想空間を走るミニカーの様子を示す。システムのコースにミニカーを置くと、傾斜に従ってミニカーは走り始めた (図 7(a))。次に、コース中のトンネルにミニカーが突入すると、システムのディスプレイには仮想空間のトンネルを進む 3DCG ミニカーが表示された (図 7(b))。その後、仮想空間内のレーシングコースに 3DCG ミニカーが登場して、ハンドル型コントローラを用いて 3DCG ミニカーを運転することができた (図 7(c))。そして、仮想空間内のレーシングコースを走り終えて再びトンネルに突入すると、現実空間のコースのトンネルからミニカーが戻ってきた (図 7(d))。

以上により、提案コンテンツの一連の動作を確認するこ



(a) システムのコースを走り始めるミニカー



(b) ミニカーがトンネルに突入した様子



(c) 仮想空間の 3DCG レーシングコースを走る 3DCG ミニカー



(d) トンネルから現実空間に戻ってきたミニカー

図 7 3DCG ミニカーの生成事例 (2)

とができた。

6. まとめ

本研究では実物のミニカーを現実空間と仮想空間を往来させながらレースゲームを楽しむことができるコンテンツの提案を提案した。また、コンテンツを実際に実装して、想定した一連の機能が実現できることを確認した。

本研究で提案したコンテンツは、ミニカーという現実世界で身近にある玩具をアナログ的に扱いながら、仮想空間にミニカーを送り込んでデジタルゲームのようなレースを楽しむという新しい遊びを実現した。自分が自由に選んだミニカーを使用可能であり、車体にお絵描きを施すことも可能であるため、仮想空間のミニカーが自分のオリジナルのものであるという実感を十分に持つことができ、仮想空間と現実空間との繋がりを感じながらミニカー遊びを楽し

むことができることが期待される。

今後の課題としては、3DCG ミニカーの高品質化が挙げられる。現状は側面が平面となっているが、側面を格子構造に変更することで絞り込みのある車体形状や車体の一部が極端に細い形状も表現可能になる。また、複数システムを連動することで対戦に対応させるなどエンタテインメント性の向上も必要である。そして、実装したシステム使って子供達などに実際に遊んでもらうことで、システムの有用性を検証することを考えている。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費基盤研究 (C)22K12337 および (C)23K11182 の支援を受けています。

参考文献

- [1] チームラボ: お絵かき水族館, 入手先 (<https://www.teamlab.art/jp/w/aquarium/>) (2024.12.23).
- [2] セガ: えーでるすなば, 入手先 (<https://edel-sand.sega.jp>) (2024.12.23).
- [3] J. Ito, K. Saito, S. Mizuno: Development of a digital content for computational thinking education using origami, Proc. SPIE 13164, International Workshop on Advanced Imaging Technology (IWAIT) 2024, 131641P (2024).
- [4] 鈴木浩, 佐藤尚, 速水治夫: 子どもを意欲的にペーパークラフト工作へと導く 3 次元ゲームシステムの開発, 情報処理学会研究報告デジタルコンテンツクリエーション, Vol. 2014-DCC-6, No. 18 (2014).
- [5] 愛知工業大学 CG メディア研究室, ソニー: らくがきクルーズトミカバージョン in ジャパンモビリティショー 2023, 入手先 (<https://www.youtube.com/watch?v=TQtQbmQWKSg>) (2024.12.23).
- [6] 水野慎士, 朝倉麻友: 手描き絵から生成した 3DCG シーン内での運転とインタラクションを実現する「不思議なスケッチブック・ザ・ライド」, 情報処理学会論文誌・デジタルコンテンツ, Vol. 11, No. 1, pp. 9–20 (2023).
- [7] 尾崎保乃花, 的場やすし, 椎尾一郎: 実世界人形遊びを拡張する仮想ドールハウスとその評価, 情報処理学会インタラクション 2018, 1A03, pp. 183–188 (2018).