

手描き CG 空間を自由に走り回る 「不思議なスケッチブック・ザ・ライド」の提案

朝倉 麻友¹ 水野 慎士¹

概要: 本研究では、手描きの絵から三次元 CG 空間を生成して、さらに生成した三次元 CG 空間内にまるで没入したような感覚で、実際のカートを使って自由に移動することができるインタラクティブコンテンツ「不思議なスケッチブック・ザ・ライド」の提案と開発を行った。三次元 CG 生成は紙にカラーペンで描いた絵に基づいており、建物や木の絵に基づいて三次元 CG の街が構築されている。そして、ディスプレイ付きカートに乗って、構築された三次元 CG の街を実際に運転しながら移動することができる。カートの動きとディスプレイ映像の三次元 CG 内の移動は連動しており、ユーザは自分の絵から生成された三次元 CG の街の中に没入して、カートを使って三次元 CG の街を自由に移動できるという、これまでにない体験が可能となった。

キーワード: 3DCG, 没入, お絵描き, インタラクション, カート運転, LiDAR

A proposal of “Amazing Sketchbook The Ride” to drive around freely in the hand-drawn CG space

ASAKURA MAYU¹ SHINJI MIZUNO¹

Abstract: In this research, we propose an interactive content “Amazing Sketchbook The Ride” that can create a 3DCG space from hand-drawn pictures and drive in the created 3D CG space freely as if being immersed in it. 3DCG generation is based on a picture of buildings and trees drawn with color pens on paper. Then, getting on a cart with a display, the user can move in the 3DCG city by driving the cart. The movement of the cart and the movement in the 3DCG city on the display are linked, and the user can immerse himself in the 3DCG city created from his own picture and move around the CG city freely by actually driving the cart.

Keywords: 3DCG, immersion, sketching, interaction, driving a cart, LiDAR

1. はじめに

子供が多く参加するイベントやエンタテインメント施設では、参加者自身が創作活動を行いながらコンテンツに積極的に関わる体験型デジタルコンテンツが多く用いられるようになってきている。例えば、チームラボによる「お絵かき水族館」[1]では、参加者が海洋生物の塗り絵を行い、塗り絵から生成された CG モデルを CG 水族館で泳がせることで、参加者みんなで CG 水族館の生物を充実させてい

く。また、リトルプラネットによる「SKETCH RACING」[2]では、参加者が塗り絵によって車の三次元 CG モデルを作成して、参加者同士がそれぞれ作成した車でレースを競い合う。

そして、著者らも同様のコンセプトを持つデジタルコンテンツをいくつも開発してイベントで披露してきた。「お絵描きダンスステージ」[3]は、参加者がお絵描きとダンスを行うことでダンスする CG キャラクタを作成して、参加者みんなで CG ダンスステージで踊る CG キャラクタで充実させていくコンテンツである。また、「Toyota City

¹ 愛知工業大学大学院
Graduate School of Aichi Institute of Technology

Creation」[4]は、参加者が車の絵を描くことで街の中を走る車を増やしていくコンテンツとなっている。

このように、参加者自身が創作活動を行いながらコンテンツ自体を作り上げていくことは、完成されたコンテンツを単に体験するだけに比べて、全体的な体験時間が長くなったりコンテンツの内容に直接関わることができたりするため、参加者の満足度が高くなることが期待できる。そして、コンテンツの一部の内容が毎回変わるため陳腐化しにくいといったメリットもある。

このような背景の中、著者らはユーザが創作活動によってコンテンツ内容に積極的に関わることができ、コンテンツ体験時にはユーザ自身の創作作品に没入することができるデジタルコンテンツ「らくがきクルーズ」を開発した[5]。このコンテンツでは、お絵描きで三次元CGの街を構築してから、ディスプレイ付きカートに乗って自分で構築した街の中を移動することができる。しかし、移動ルートは予め決まったコースに限られており、ユーザとのインタラクションは実現されていなかった。

そこで、本研究では「らくがきクルーズ」を改良することで、ユーザのお絵描きから構築された三次元CGの街を実際にカートに乗って仮想的に移動することができるインタラクティブコンテンツ「不思議なスケッチブック・ザ・ライド」の提案と開発を行った。このコンテンツでは、ユーザ自身がディスプレイ付きカートを自由に運転する。このとき、センサを用いてカートの位置と方向を取得して、カートのディスプレイに表示する三次元CGの視点位置と視線方向にリアルタイムで反映させる。これにより、ユーザは実際のカートを運転することでお絵描きから生成された三次元CGの街に没入して自由に移動することが可能となる。

2. 関連研究

カートなどの乗り物に乗ってCG空間に没入することができるコンテンツとしては、「らくがきクルーズ」と同じディスプレイ付きカートを用いた「ムーンライトクルーズ」[6]や、HMDを装着してVR空間やAR空間でゴーカートを実際に運転する「VR GO KARTS」[7]、「HADO KART」[8]が開発されている。しかし、これらのコンテンツにおいてユーザが没入できるのは、コンテンツ開発者によってあらかじめ用意された三次元CG空間だけである。

「マリオカートライブサーキット」は、カメラ付きリモコンカーを操作して、実空間にコースや敵キャラクタが三次元CGで合成されたAR空間内でレースを楽しむことができる。ただし、三次元CGはあらかじめ用意されたもので、ユーザが関与できるのは実空間への物体の配置やルートの設定となる。また、カートに実際に乗ることはできない。

「Quill」はHMDを装着したVR空間内に没入しながら、体験者自身が三次元CGを制作することができる[10]。

三次元CG都市

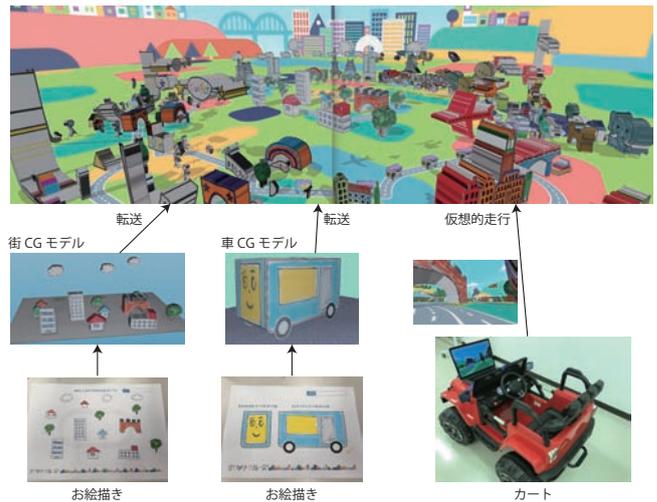


図1 「不思議なスケッチブック・ザ・ライド」の概要

ただし、制作にはHMDとコントローラが必要な上、コントローラを使った三次元的描画の習得が必要なため、誰でも気軽に体験できるという訳ではない。

本研究の「不思議なスケッチブック・ザ・ライド」は、ユーザが没入するための三次元CG空間を自分自身で完成させていくという点で、従来コンテンツと比べて参加者のコンテンツ内容に対する関与が大きい。そして、単に自分の絵から生成された三次元CGを俯瞰的に観察するだけでなく、その中に入り込んで、自分でカートを運転して自由に移動できるという、従来のコンテンツにはない特徴を持つ。そのため、体験者コンテンツに対する満足度も高くなることが期待される。

3. コンテンツについて

3.1 概要

本研究の「不思議なスケッチブック・ザ・ライド」は、2種類のお絵描きとカートへの乗車という2つの体験によって構成されている。図1にコンテンツ体験の概要を示す。

お絵描きに関する部分は従来の「らくがきクルーズ」と同じである。描くのは街と車の2種類で、どちらも紙にカラーペンで描く。街のお絵描きでは、ユーザは家、ビル、樹木、橋、看板、雲など、街の中で見かけそうなものを自由に描く。そして、描いた絵をカメラに差し出すと、描いた家や樹木などがそれぞれ三次元CGモデル化されて、それらが配置されたCG都市が自動的に生成される。車のお絵描きでは、ユーザは車の側面と上面、または側面と前面を自由に描く。そして、描いた絵をカメラに差し出すと、車の三次元CGモデルが自動的に生成されて、お絵描きによって生成されたCG都市を走り始める。

ユーザはディスプレイ付きカートに乗って運転することで、構築された三次元CG都市に没入したような感覚で移動することができる。カートは三次元CG都市内に仮想的

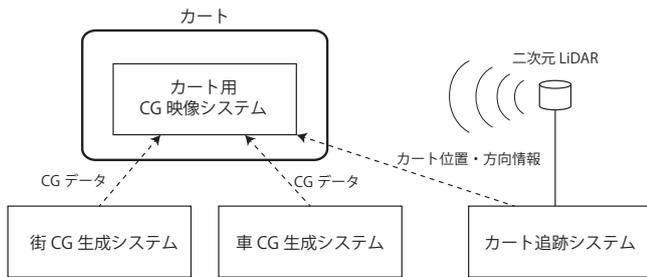


図 2 全体のシステム構成

に置かれた状態になっている。カート前方にはディスプレイが設置されており、三次元 CG 都市内に置かれた仮想カートの中から外を眺めたような CG 映像が表示される。そして、カートを運転して動かすと、三次元 CG 都市内の仮想カートも実空間のカートに同期して動き始めて、その結果としてカートに設置したディスプレイに表示された CG 映像も動き始める。そのため、ユーザは実際にカートを運転してその動きを体で感じながら、自分の絵から生成された三次元 CG の街をカートで移動するような体験をすることができる。

3.2 全体のシステム構成

「不思議なスケッチブック・ザ・ライド」は、街 CG 生成システム、車 CG 生成システム、カート用 CG 映像システム、カート追跡システムから構築される (図 2)。

街 CG 生成システムと車 CG 生成システムは「らくがきクルーズ」のものと同じである。それぞれ、「不思議なスケッチブック」[11]と「お絵描き i-Can」/「Toyota City Creation」[4]がベースとなっており、PC と Web カメラで構成されている。そして、カメラに街の絵や車の絵を差し出せば、それらの三次元 CG を自動的に生成する。どちらのシステムもカート用 CG 映像システムに無線ネットワークで接続されており、それぞれ生成した街や車の CG モデルデータをカート用 CG 映像システムに送信する。

カート用 CG 映像システムは「らくがきクルーズ」の CG 都市構築システムとカート内部 CG 映像システムを合わせたものと同様である。CG 生成システムから送信された街や車の CG モデルデータから三次元 CG 都市を構築して、三次元 CG 映像を生成する。カート用 CG 映像システムは後述するカート追跡システムともネットワークで接続されており、カートの位置と方向に関する情報を常時受信している。そして、カートの位置と方向の情報に基づいて三次元 CG 都市内の仮想カートの位置と方向を決定して、仮想カートを視点とする三次元 CG 都市の CG 映像をリアルタイムで生成する。

カート追跡システムは、従来コンテンツから新たに追加されたシステムである。このシステムには二次元 LiDAR が接続されており、カートの位置と方向を取得して、カート用 CG 映像システムに逐次送信している。



図 3 使用した子供用乗用電動カート

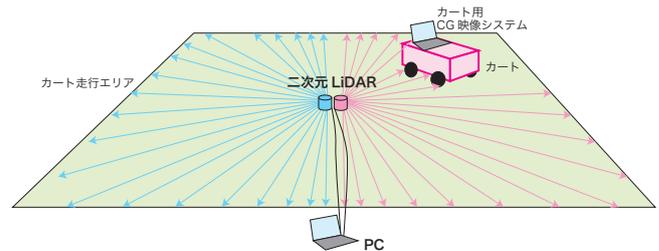


図 4 カート追跡システムの構成

使用するカートは、子供用の乗用電動カートである (図 3)。全長 128cm、全幅 78cm、全高 76cm で、乗車定員は 1 名である。現状のシステムでは、カートのボンネット上にカート用 CG 映像システムのノート PC を設置している。カートはカートに設置されているアクセルとハンドルで運転する他、リモートコントロールで運転することもできる。

4. カート追跡システムについて

4.1 システム構成

「不思議なスケッチブック・ザ・ライド」では従来コンテンツと異なり、カートはユーザの運転によって自由に移動する。お絵描きで生成した三次元 CG 都市をカートで運転して自由に移動するには、カートの位置と方向を逐次取得して、三次元 CG 都市内にある仮想カートの位置と方向に反映させる必要がある。

そこで、本研究で新たに追加したカート追跡システムは、自由に移動するカートの位置と方向をリアルタイムで取得する。図 4 にシステム構成を示す。

カートの位置の取得は二次元 LiDAR に基づいて行う。まず、二次元 LiDAR でカートが走行するエリアの床面をスキャンする。このとき、カートのタイヤ設置部分がスキャンされることになる。

4.2 追跡手法

まず、スキャンした結果を二値画像化する。走行エリア内にあるのはカートだけであり、ノイズ等の小領域の除去を行うことで二値画像ではカートのタイヤ部分だけが領域として抽出される。そして二値画像に適切な膨張処理を適用することで、2~4 つのタイヤ領域が抽出される。抽出で

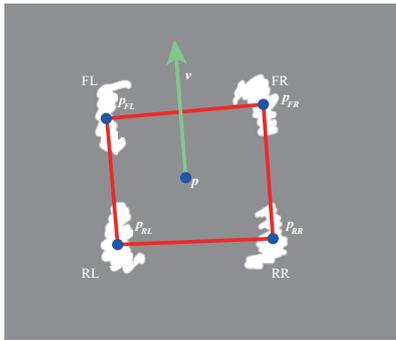


図 5 カートの位置と方向の決定

きるタイヤ領域の個数は LiDAR に対するカートの方向によって変化するが、予備実験ではタイヤ領域が 1 つしか抽出できない状況は確認されなかった。

カートの位置と方向は抽出したタイヤ領域に基づいて決定する (図 5)。そのためには、各タイヤ領域がカートの左右前後のどのタイヤなのかをラベリングする必要がある。そこで、初期のラベリングは手動で行う。タイヤ領域が 2 つ以上抽出されている状態で、各領域に対して FL (左前), FR (右前), RL (左後), RR (右後) のいずれかのラベリングを行う。

ラベリングを行ったら、各タイヤ領域の重心座標に基づいて、4 つのタイヤの二次元座標 p_{FL} , p_{FR} , p_{RL} , p_{RR} を求める。ここで、前後のタイヤ間隔 w , および左右のタイヤ間隔 d は事前に測定可能であるため、2 つのタイヤの座標が決まれば、残りのタイヤの座標は計算で求めることができる。例えば、前後の左側のタイヤ座標 p_{FL} と p_{RL} が取得できれば、 $p_{FL} - p_{RL}$ を 90 度回転して正規化したベクトル t を求める。そして、前後の右側のタイヤ座標 p_{FR} と p_{RR} は、以下の式で求めることができる。

$$p_{FR} = p_{FL} + wt \quad (1)$$

$$p_{RR} = p_{RL} + wt \quad (2)$$

前後右側, 左右前側, 左右後側のタイヤ座標が取得できた場合も、同様の考え方で残りのタイヤ座標を計算で得ることができる。

そして、手動で初期のラベリングを行った後、以降のフレームにおける各タイヤ領域については、前フレームのタイヤ座標周辺を探索してタイヤ領域を関連付けることでラベリングを自動的に行う。カートの位置や方向によっては 1 つまたは 2 つのタイヤが他のタイヤによって隠れてしまい、タイヤ領域が抽出できない場合がある。このとき、該当するタイヤ座標の周辺を探索してもタイヤ領域が見つからないため、抽出されたタイヤ領域のラベリング結果に基づいて、前述の手法でタイヤ座標を計算で求める。探索領域をタイヤ座標周辺に限定することで、カート走行エリアに人が入った場合でも安定的なカートの追跡が可能である。

4 つのタイヤの二次元座標 p_{FL} , p_{FR} , p_{RL} , p_{RR} が得ら



(a) カート走行エリア



(b) 使用した 2 台の二次元 LiDAR

図 6 実験の様子

れば、カートの二次元座標 p はタイヤ座標の平均値として以下の式で求める。

$$p = \frac{p_{FL} + p_{FR} + p_{RL} + p_{RR}}{4} \quad (3)$$

また、カートの方向ベクトル v は後方タイヤから前方タイヤへの方向ベクトルとして以下の式で求める。

$$v' = \frac{p_{FL} + p_{FR}}{2} - \frac{p_{RL} + p_{RR}}{2} \quad (4)$$

$$v = \frac{v'}{|v'|} \quad (5)$$

そして、カートの二次元座標 p とカートの方向ベクトル v を逐次計算して、これらの値をネットワーク経由でカート用 CG 映像システムに送信する。

5. システム実装と実験

5.1 実装

提案手法を検証するためにシステムを実装して実験を行った。図 6 に実験の様子を示す。

カートへの乗車は子供のみ可能であるため、今回はカートの運転はリモートコントロールで行った。カートの最高速度は約 3(km/h) である。

カートをスキャンするための二次元 LiDAR は北陽電機の UST-20LX-H01 (スキャンステップ角: 0.125 度, スキャン範囲: 20(m), フレームレート: 40(fps)) を用いた。カートの走行するエリアは 600×600(cm) の正方形である。このサイズであれば 1 台の LiDAR でもスキャン可能であるが、実験ではより広い範囲への拡張も考慮して、2 台の LiDAR をエリア中央に設置して、それぞれエリアの半分ずつをスキャンした。そして、2 台の LiDAR によるスキャ

ン結果を統合して、600×600画素、つまり1画素あたり1(cm)の解像度で二値画像化した。

カート追跡システムはカート走行エリア外に設置しており、LiDARからのデータを有線LANで取得する。実装はMacBookにC++を用いて行い、二値画像処理のためにOpenCVを用いている。タイヤ領域のラベリングのための探索領域は、カートの最高速度を考慮して、各タイヤ座標から距離が30(cm)以内とした。

カート用CG映像システムは前述のようにカートのボンネットに設置している。実装はMacBookProにC++を用いて行い、三次元CG映像生成のためにOpenGLを用いている。そして、カート追跡システムが取得したカートの二次元座標と方向の情報を、無線LANのTCP通信を経由して30(fps)で受信している。

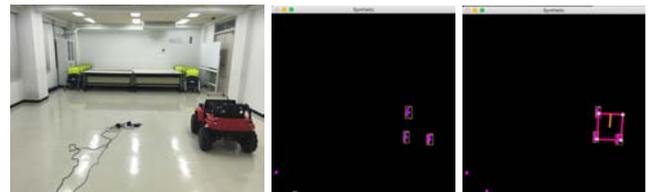
なお、三次元CG都市は事前に制作したものを利用するため、実験では街CG生成システム、車CG生成システムは使用しなかった。

5.2 実験

図7に二次元LiDARに基づくカートの位置と方向の取得の様子を示す。この例では、最初の移動前の状態は1つのタイヤが他のタイヤで隠されており、抽出できたタイヤ領域は3つのため、タイヤ座標は3つしか取得できていないが、取得できたタイヤ座標から残りのタイヤ座標を計算で求めている。そして、カートの位置と方向が正しく取得できていることを確認した(図7(a))。また、前フレームのラベリング結果とタイヤ座標を用いることで、カートが移動した場合でも現フレームのタイヤ領域が正しくラベリングされて、移動するカートの位置と座標を連続的に取得できることを確認した(図7(b)(c))。

図8に得られたカートの位置と方向を三次元CG都市内の仮想カートに適用した様子を示す。実際のカートの位置と方向が三次元CG都市内の仮想カートの位置と方向に反映されていることがわかる。また、図9にカート用CG映像システムで仮想カートの視点から見た三次元CG映像を生成した様子を示す。カートの移動に同期して生成される三次元CGが適切に変化していることが確認できた。そのため、生成されたCGをカートに乗って観察した場合には、実際にCG空間内を運転しているような感覚が得られることが期待される。

なお、カートの移動に対する追跡結果算出の遅延は最大で約0.4秒発生する場合があった。原因としては、処理速度の不足の他、タイヤ領域抽出のための膨張処理に伴う平滑化の影響が考えられる。現時点で遅延がCG空間での運転にどの程度影響するか検証できていないため、今後はその検証を行いながら遅延削減のための手法改良を実施する。



(a) 移動前の状態



(b) 移動状態 (1)



(c) 移動状態 (2)

図7 二次元LiDARによるカートの位置と方向の取得

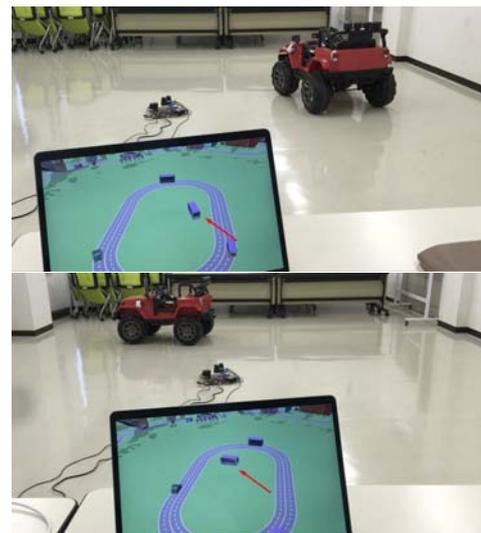


図8 仮想カートに対する実空間のカートの位置と方向の反映

6. まとめ

本研究では、実際のカートを手動で運転しながら、自分のお絵描きから生成した三次元CG都市内に没入して移動するような体験が可能な「不思議なスケッチブック・ザ・ライド」の提案と開発を行った。本研究で提案したような体験を実現しているインタラクティブデジタルコンテンツはこれまでになく、イベント等で実施すれば子供を中心とした多くの人を楽しんでもらえることが期待される。

今回はカートの運転をリモートコントロールで行ったが、今後は実際に人が乗って運転する実験を行うつもりである。また、三次元CG都市内の物体との衝突判定などは



図 9 実空間のカートと 3DCG 空間の仮想カートの移動の同期の様子

未実装のため、運転中の CG 空間内の物体と衝突した場合に、映像と音でフィードバックを行うような、インタラクティブ性をより高める拡張も考えている。そして、床面や壁へのプロジェクションマッピングと組み合わせることで、より高い没入感のあるエンタテインメントコンテンツにしたいと考えている。

参考文献

- [1] チームラボ, “お絵描き水族館”, <https://futurepark.teamlab.art/playinstallations/sketch-aquarium/> (2013).
- [2] ワンダープラネット, “SKETCH RACING”, https://litpla.com/attraction/sketch_racing/ (2018).
- [3] 水野慎士, 内藤将司, 岡部紗千子, 磯田麻梨乃, 伊藤玲, 岡本芽唯, 近藤桃子, 杉浦沙弥, 中谷有希, 廣瀬元美, “「お絵描きダンスステージ」の提案”, 情報処理学会インタラクシオン 2015 論文集, C69, pp. 989-993 (2015).
- [4] S. Mizuno, “Digital Contents for Creating and Watching 3DCG of Vehicles Based on Drawing”, Proc. of IEVC 2019, 5A, 7pages (2019).
- [5] 水野慎士, “手描き 3DCG 空間内に没入して移動するコンテンツの提案と開発”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2020-DCC-25, No. 2, 8pages (2020).
- [6] カヌチャリゾート, “ムーンライトクルーズ”, <https://www.kanucha.jp/feature/stafan/event/moonlightcruise/> (2019).
- [7] Master of Shapes, “VR GO KARTS”, <https://masterofshapes.com/work/vr-go-karts/> (2018).
- [8] meleap, “HADO KART”, <https://meleap.com/hadokart/coinrush/jp/> (2018).
- [9] 任天堂, “マリオカートライブホームサーキット”, <https://youtu.be/LvPON803cOQ> (2020).
- [10] Inigo Quilez, “Quill: VR drawing in the production of Oculus Story Studio’s new movie”, SIGGRAPH 2016, Real-Time Live! (2016).
- [11] 水野慎士, “輪郭検出を用いた「不思議なスケッチブック」の CG 表現拡張とイベント展示のためのビューア開発”, 芸術科学会論文誌, Vol. 17, No. 4, pp. 72-82 (2018).