

複数人同時体験可能な歴史的町並み体験 VR システムのための手書き地図からの 地形生成

熊谷 龍之裕¹⁾ 古舘 守通²⁾ 今野 晃市³⁾(正会員)

1) 株式会社ソルブレイン

2) 岩手大学 理工学系技術部 理工学系第一技術室 知能・メディア情報技術グループ

3) 岩手大学 大学院 総合科学研究科 理工学専攻 デザイン・メディア工学コース

A Study on Terrain Creation from Handwritten Map for Historic Townscape VR Experience by Multiple People

Ryunosuke Kumagai¹⁾ Morimichi Furudate²⁾ Kouichi Konno¹⁾

1) Sole Brain Inc.

2) Iwate University Technical Division Technical Office for Science and Engineering
Computer, Intelligence and Media Technology Group

3) Graduate School of Arts and science, Iwate University

furu@iwate-u.ac.jp, konno@cis.iwate-u.ac.jp

概要

近年、VR 技術を教育に活用する事例が多くみられる。特に歴史の教育では、VR 技術は体験学習として活用されている。しかし、VR を使った歴史教育にはいくつか課題がある。そのうちの一つに、VR システムに用いる三次元モデル作成の難しさがある。特に、歴史的町並みは手書き地図等で表されており、詳細な数値情報を得ることができないため、三次元モデルの作成はより困難な課題となる。この課題を解決するために、本論文では数値情報の無い手書きの地図から地形の三次元モデルを作成する方法を提案する。また、作成した三次元モデルを用いた複数人同時体験可能な VR システムを開発し、作成した三次元モデルの有用性を検証する。

Abstract

In recent years, there have been many cases of utilizing VR technology for education. Especially in history education, it is used as experiential learning. However, construction of VR contents has some problems. One is the difficulty of creating a 3D model. In particular, the creation of a 3D model from a handwritten map without numerical data is a more difficult task. In order to solve the problems, in this paper, we have proposed the method of creating a 3D model from a handwritten map without numerical information. We have developed a VR system that can be experienced by multiple people at the same time using the created 3D model.

1 はじめに

1.1 背景と目的

近年 VR 技術が学習に用いられることがあり、特に歴史的な街並みを再現した VR コンテンツによって地域の歴史の学習に役立てられるものがある。歴史の学習に役立てる VR コンテンツを作成する際の問題点として、VR コンテンツのベースとなる三次元モデルの作成が難しいことがあげられる。

VR コンテンツに用いる三次元モデルは、実際のあるものを計測したり、モデリングソフトを使って手作業で作成したりする。しかし、これらの方法では、三次元モデル作成に十分な数値情報や処理ソフトを扱う技術が必要である。また、三次元モデル化する対象物を一つ一つ計測したり、モデリングしたりすることは時間がかかる。特に昔の地形情報として、手書き地図が与えられている場合は、GIS データなどの数値情報を得ることができない。また、昔の地形は土地開発などによって変化しており、現在の数値情報で再現を行うことが不適切な場合がある。したがって、地形の数値情報などが得られない手書きの地図から、容易に三次元モデルを作成できる手法が望まれている [2]。

そこで、本論文では数値情報の記載がない手書き地図から地形の三次元モデルを作成する方法を提案する。また、複数人同時体験可能な VR システムを開発し、作成した三次元モデルの有用性を検証する。

1.2 復元対象

本研究で扱う復元対象は盛岡市玉山地域の宿場町である。盛岡市玉山地域は盛岡以北最初の宿場町として栄えた記録がある。図 1 は当時の宿場町周辺の手書き地図である。図 2 は宿場町周辺を描いたイラストである。本研究では、図 1 と図 2 から読み取れる街並みの建物、周辺の山岳地形、道、川を再現することを要件とする。

本論文では、歴史的な街並みを再現するための地形の三次元モデルとして、山、川、道路の三次元モデルを作成する方法を提案する。山は街道を歩いている人からよく見える景観であり、特定の山が見える景観は、その地域を代表する景観である場合も多い。また、道路は数値情報の記載がない状態では勾配を再現することが難しいため、本研究では道路を平坦に再現する。さらに、川は景観に影響するのは川面の様子のみであり、川の深さや

川底の様子などは再現する必要が少ないと考えられるため、本研究では地面の高さを低くした部分を川として再現する。

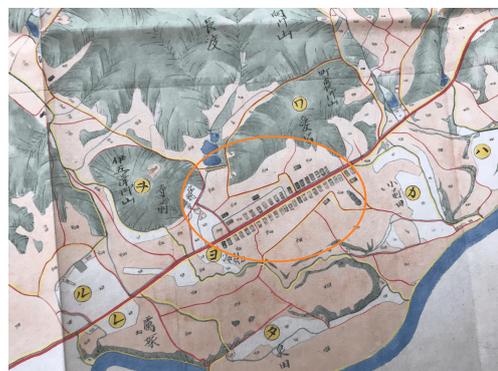


図 1 手書き地図の例



図 2 街並みのイラスト

2 関連研究

2.1 三次元モデル生成

文献 [4] は、スケッチブックに書いた図形を三次元に可視化する手法について述べられている。この手法では数値情報を用いず、手書きの図形から三次元化することができるが、尾根線などの地形の特徴を反映した三次元モデルを作成することはできない。また、文献 [6], [7] は、共に数値情報をもとに地形や建物を三次元化する方法を提案している。これらの方法では、資料から数値情報が得られない場合、対象物を三次元化することはできない。

以上のように、従来手法では、数値情報の記述がない手書き地図からの三次元地形モデル生成は困難である。

2.2 複数人同時体験可能な VR システム

本研究では、地域の施設に VR システムを設置し、ここを訪れた複数の人が同時に体験できる場面を想定する。文献 [8] には、コンピュータを用いた協調学習やアクティブラーニングの有効性が示されている。よって、VR コンテンツを用いた体験学習は、通常の座学よりも、歴史を学ぶ上での教育効果が期待できる。

文献 [1] は、複数人で多視点から空間をレイアウトするシステムであり、町並みに没入するものとは用途が異なる。文献 [9], [10], [11] は、商用システムであり、導入コストがかかる。例えば、最低 1 台の HMD と、HMD に表示される映像をプロジェクターに投影する VR 体験システムがあれば、HMD 装着者の視点をプロジェクターに投影することで、HMD 未装着者は HMD 装着者の視点を通じて VR 体験することが可能となる。このようなシステムがあれば、コストを抑えながら、本研究で生成する地形モデルの検証および小学生の社会科見学などへの対応を行くことが期待できる。

3 提案手法

本章では、VR システムに組み込むための地形の三次元モデル生成方法について説明する。以下に、本手法を実現するための詳細を示す。

3.1 地形の三次元モデル作成

3.1.1 地形の三次元モデル作成の概要

始めに復元対象の手書き地図から、山岳地形の輪郭と尾根線、川、道を示す線をトレースした画像を作成する。その後、トレースした画像に対して地形の推定を行う。山岳地形については、トレースした輪郭と尾根線から疑似等高線を作成した後、作成した疑似等高線に基づいて地形を推定する。川と道についてはトレースした線を抽出し、その線の座標を川と道として推定する。最後に、推定した情報をもとに三次元モデルを作成する。

3.1.2 手書き地図のトレース

手書き地図には図 1 のように注釈や記号、紙を折った線の跡など不要な情報が含まれる。本研究では山岳地形、川、道の三次元モデルを作成するために、手書き地図から山の輪郭と尾根線、川を示す線、道を示す線を手動でトレースして情報を取り出しやすくする。後の処理を容易にするため、トレースする際は、黒い線で描くようにする。

本研究では、様々な山岳地形の三次元モデルを容易に生成できるようにするため、山の頂上を明示的に指定しない場合と、明示的に指定する場合の両方を実現する。そのために、山の尾根線のトレース方法と山の頂上を求める処理を次のように場合分けする。

- 頂上を明示的に指定しない場合

手書き地図から読み取れる山の頂上から、尾根線が伸びるようにトレースする。頂上は、トレースした尾根線の端点から推定する。通常は、こちらの処理でトレース画像を生成する。尾根線で頂上を表せないときには、頂上を指定できるものとする。

- 頂上を明示的に指定する場合

手書き地図から尾根線をトレースする。手書き地図から読み取れる山の頂上を、赤い円でトレース画像に加える。

手書き地図のトレースによって、山岳地形、川、道それぞれをトレースした 3 枚の画像を得る。例として、図 3、図 4、図 5 は図 1 をトレースして得られた、山の輪郭と尾根線、川を示す線、道を示す線である。



図 3 山の輪郭と尾根線



図 4 川を示す線

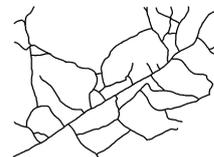


図 5 道を示す線

3.1.3 輪郭と尾根線の抽出

トレースした画像から、黒い画素に対して輪郭抽出を行い、山の輪郭と尾根線を点列で抽出する。点列を構成する点は、画像上の 2 次元座標 (x, y) で表される。ま

た、点列は、輪郭のある点を始点として、輪郭を閉じるように反時計回りに順番に抽出する。取り出した輪郭と尾根線について、輪郭を親、輪郭で囲まれる領域内にある尾根線を子として親子関係を構築する。ここで、抽出した輪郭ひとつひとつに識別番号 cid を付与する。同様に、抽出した尾根線ひとつひとつに識別番号 rid を付与する。図 6 は親を赤い線、子を青い線で示している。また、赤い数字は cid 、青い数字は rid を示す。

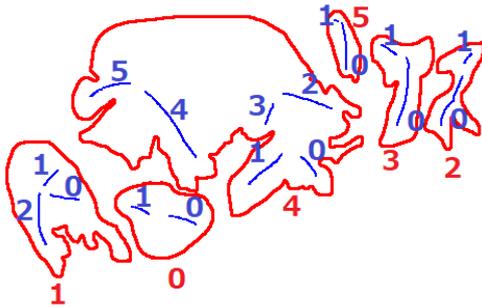


図 6 抽出した輪郭と尾根線

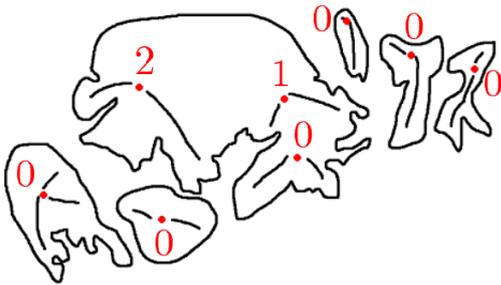


図 7 推定した頂上

3.1.4 尾根線のグループ化

頂上を推定するために、複数の尾根線の端点近傍に頂上が存在すると仮定し、グループごとに尾根線の番号を手動で入力して尾根線をグループ化する。手書き地図をもとに尾根線を描く際に頂上から尾根線が伸びるように描いたため、同じ頂上から伸びる尾根線ごとにグループ化を行う。今後は説明のため、尾根線のグループを cid が 0, 1, 2, 3, 5 の輪郭についてはそれぞれの輪郭内の尾根線を 1 グループとし、 cid が 4 の輪郭では尾根線の rid が 0 と 1, 2 と 3, 4 と 5 という 3 グループとした、合計 8 グループに分けたとする。

3.1.5 頂上の推定

尾根線の端点から頂上を推定する。尾根線は端点を 2 つ持ち、一方が頂上に近い端点、もう一方が山の麓側の

端点である。グループ化された尾根線について、端点同士の距離を測り、距離が一番小さかった端点の組み合わせをそれぞれ頂上に近い端点とする。ここで、頂上に近い端点の座標の平均値を頂上とする。また、頂上に識別番号 tid を付与する。図 7 は推定した頂上を赤い円で示している。頂上近くの数字は tid である。図 7 では、尾根線のグループは 8 つであるため、推定される頂上は 8 つとなる。

3.1.6 明示的に指定した頂上の抽出

山岳地形をトレースした画像で、頂上を明示的に指定している場合は、頂上の抽出を行う。3.1.2 項で述べたように、頂上を指定している場合は、山岳地形をトレースした画像に頂上を示す赤い円が含まれる。まず、山岳地形をトレースした画像の赤い画素に対して輪郭抽出を行い、赤い円で描かれた頂上の輪郭を点列として得る。次に、取り出したそれぞれの頂上の点列に対して平均座標を計算し、頂上とする。さらに、頂上に識別番号 tid を付与する。

3.1.7 頂上の高さの設定

それぞれの頂上に高さを示すパラメータ h_k^n を手動で設定する。 n は対象の頂上を領域内に持つ輪郭の cid である。 k は頂上の tid である。ここで、すべての h_k^n の中から最大値 H を求める。また、輪郭ごとに、輪郭内に含まれる頂上に設定された h_k^n の最大値 H_n を求める。

3.1.8 オフセット処理を行う回数の設定

山岳地形を推定するために、輪郭に対して縮小のオフセット処理を行い、疑似等高線を作成する。そのために、オフセット処理を行う回数 N_n を示す整数値のパラメータ N を設定する。また、輪郭ごとに、式 (1) から、オフセット処理を行う回数 N_n を求める。 N_n は小数点第一位を四捨五入し、整数値とする。各輪郭のオフセット処理後の疑似等高線の本数は、作成された疑似等高線と抽出された輪郭の合計 $N_n + 1$ 本となる。

$$N_n = (N + 1) \times \frac{H_n}{H} - 1 \quad (1)$$

3.1.9 疑似等高線の作成

3.1.3 項で抽出した輪郭線にオフセット処理を行い、疑似等高線を作成する。オフセット処理は式 (2) に従う。一度目のオフセット処理では、3.1.3 項の処理で抽出した輪郭を縮小元とし、二度目以降は、直前のオフセット処理により縮小して得られた疑似等高線を縮小元輪郭と

する。オフセット処理は、縮小元輪郭を形成する点列のすべての点について計算を行う。図8は、オフセットされた点の計算を示している。ここで、 \mathbf{P}_i は処理対象の点である。 \mathbf{P}'_i は \mathbf{P}_i をオフセットしてできる点である。 \mathbf{n} はz軸方向の法線ベクトルである。縮小元輪郭の領域内にある頂上のうち、 \mathbf{P}_i に一番近い頂上を求めてその距離を d_k 、その頂上の高さを h_k^n とする。対象の点 \mathbf{P}_i に対し、2つ前の点 \mathbf{P}_{i-2} から2つ後の点 \mathbf{P}_{i+2} へ向かう単位ベクトルを接線ベクトル \mathbf{v} として計算する。 \mathbf{v} に垂直なベクトル \mathbf{u} を求め、移動ベクトルとする。それぞれの輪郭に対し、オフセット処理は N_n 回行う。 N_k は小数点第一位を四捨五入し、整数値とする。輪郭ごとにオフセット処理が何回行われたかを示す変数を t とし、オフセット処理が行われるたびに0から1ずつ増加する。

$$\begin{aligned} \mathbf{P}'_i &= \mathbf{P}_i + \frac{d_k}{N_k + 1 - t} \times \mathbf{u} \\ \mathbf{u} &= \mathbf{v} \times \mathbf{n} \\ \mathbf{v} &= \frac{\mathbf{P}_{i+2} - \mathbf{P}_{i-2}}{|\mathbf{P}_{i+2} - \mathbf{P}_{i-2}|} \\ N_k &= (N_n + 1) \times \frac{h_k^n}{H_n} - 1 \end{aligned} \quad (2)$$

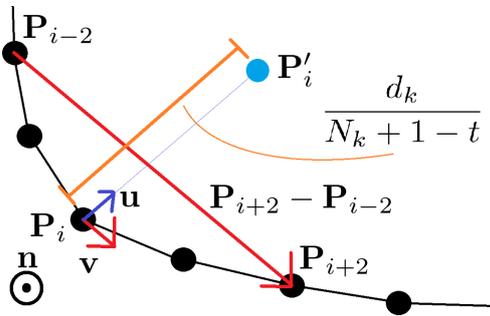


図8 オフセット処理

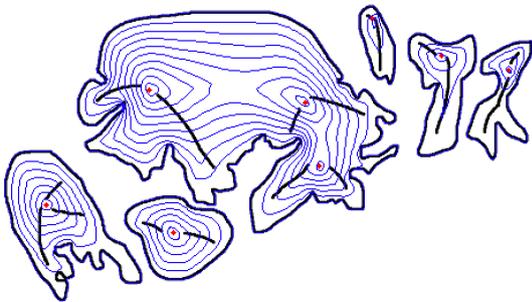


図9 作成された疑似等高線の例

縮小元の点列すべてに対して式(2)を適用すると、内

側に縮小された点列が得られる。この点列に自己交差がある場合、以下の手順で自己交差を削除する。

- 自己交差毎に領域を分割する。
- 分割された領域について、領域内に頂上を含むか計算する。
- 分割された領域が頂上を含まない場合、その領域を形成する点を削除する。

作成された疑似等高線は輪郭と同様に cid を持つ。作成された疑似等高線は図9のようになる。

3.1.10 疑似等高線の変形

地図において、尾根線を表す等高線の形状は外側に湾曲する特徴がある。本手法では疑似等高線と尾根線が交差する部分に二本の三次ベジエ曲線 [5] を挿入し、山の輪郭の外側へ向かって変形させることで、尾根線の形状を等高線に反映する。変形の結果、疑似等高線が縮小元の疑似等高線よりも山の麓側へ飛び出てしまう場合は変形を行わないこととする。

始めに、それぞれの疑似等高線と尾根線との交点 \mathbf{I}_m^n を検出する。 n は交差した疑似等高線の cid 、 m は交差した尾根線の rid を示す。すべての交点 \mathbf{I}_m^n において以下のような処理を行う。

疑似等高線と尾根線の交点を \mathbf{I}_j^i としたときに、この点の周りに定義される二本のベジエ曲線の制御点をそれぞれ $\mathbf{L}_0, \mathbf{L}_1, \mathbf{L}_2, \mathbf{L}_3$ と $\mathbf{R}_0, \mathbf{R}_1, \mathbf{R}_2, \mathbf{R}_3$ とする。

式(3)に示すように、 \mathbf{I}_j^i を新しい位置 \mathbf{I}'_j^i に移動する。移動後の座標は $\mathbf{L}_3, \mathbf{R}_0$ と一致させる。図10は式(3)の計算を図示したものである。ここで、 \mathbf{E} は rid が j の尾根線の端点のうち山の麓側にある端点とする。変形対象の疑似等高線 i の縮小元の疑似等高線と交点 \mathbf{I}_j^i との最短距離を d とする。 \mathbf{I}_j^i と \mathbf{I}'_j^i の距離は、挿入するベジエ曲線が縮小元の疑似等高線よりも外側に飛び出ることを抑制するために、 $\frac{d}{2}$ とする。

$$\begin{aligned} \mathbf{I}'_j^i &= \mathbf{L}_3 = \mathbf{R}_0 \\ \mathbf{I}_j^i &= \mathbf{I}'_j^i + \frac{d}{2} \mathbf{a} \\ \mathbf{a} &= \frac{\mathbf{I}_j^i - \mathbf{E}}{|\mathbf{I}_j^i - \mathbf{E}|} \end{aligned} \quad (3)$$

次に、制御点 $\mathbf{L}_0, \mathbf{R}_3$ を求める。図11は制御点 $\mathbf{L}_0, \mathbf{R}_3$ の導出の様子を示している。疑似等高線 i の周囲長を l とし、以下の条件に従って、 \mathbf{I}_j^i から $\mathbf{L}_0, \mathbf{R}_3$ への擬

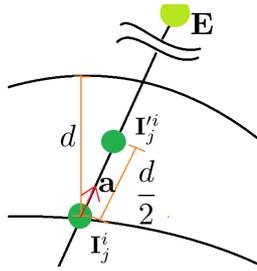


図 10 制御点 L_3, R_0 の導出

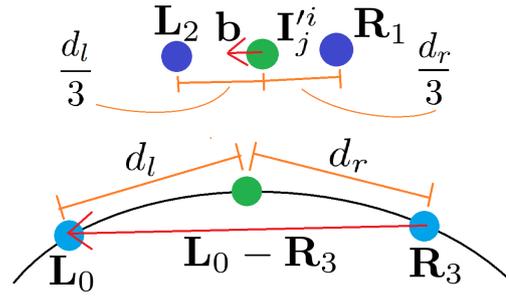


図 12 制御点 L_2, R_1 の導出

似等高線に沿った距離 d を導出する．疑似等高線 i の点列のうち I_j^i から反時計回りに疑似等高線に沿った距離が d となる点を L_0 ，時計回りに疑似等高線に沿った距離が d となる点を R_3 とする．

- I_m^i の総数が 1 の場合
 - ・ $d = \frac{l}{8}$
- I_m^i の総数が 2 の場合
 - ・ 対象の交点 I_j^i からもう一つの交点に対し，疑似等高線に沿った距離 d' を求める
 - ・ $\frac{d'}{4}$ と $\frac{l-d'}{4}$ のいずれか小さい値を d とする．
- I_m^i の総数が 3 以上の場合
 - ・ I_j^i に対し，前後の交点 I_{j-1}^i と I_{j+1}^i について， I_j^i との疑似等高線に沿った距離をそれぞれ求め d_{j-1} ， d_{j+1} とする．
 - ・ $\frac{d_{j-1}}{4}$ ， $\frac{d_{j+1}}{4}$ のいずれか小さい値を d とする．

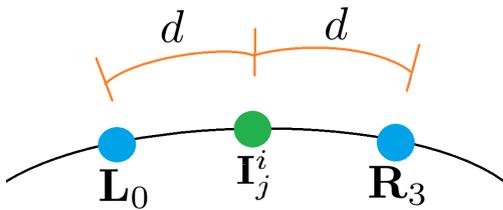


図 11 制御点 L_0, R_3 の導出

次に，式 (4) によって I_j^i を移動させ，制御点 L_2, R_1 を求める．図 12 は計算を図示したものである． I_j^i と L_0 との直線距離を d_l とする． I_j^i と R_3 との直線距離を d_r とする．

$$\begin{aligned} L_2 &= I_j^i + \frac{d_l}{3} \mathbf{b} \\ R_1 &= I_j^i - \frac{d_r}{3} \mathbf{b} \\ \mathbf{b} &= \frac{L_0 - R_3}{|L_0 - R_3|} \end{aligned} \quad (4)$$

また，式 (5) により L_0, R_3 を移動させ L_1, R_2 を求める．図 13 は計算を図示したものである．疑似等高線 i を形成する点について， L_0 に対し反時計回りに一つ外側の点を L_e ， R_3 に対し時計回りに一つ外側の点を R_e とする．

$$\begin{aligned} L_1 &= L_0 + \frac{d_l}{3} \mathbf{v}_l \\ R_2 &= R_3 + \frac{d_r}{3} \mathbf{v}_r \\ \mathbf{v}_l &= \frac{L_0 - L_e}{|L_0 - L_e|} \\ \mathbf{v}_r &= \frac{R_3 - R_e}{|R_3 - R_e|} \end{aligned} \quad (5)$$

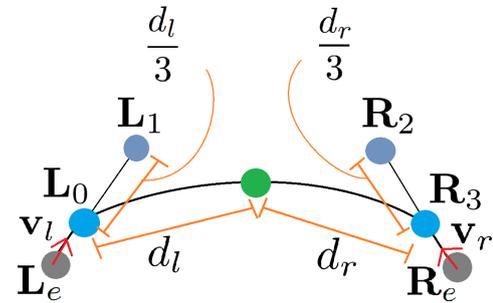


図 13 制御点 L_1, R_2 の導出

最後に，求めた制御点 L_0, L_1, L_2, L_3 と R_0, R_1, R_2, R_3 から二本のベジエ曲線を生成し，疑似等高線に挿入する．同様の処理を，すべての交点 I_m^i について行う．図 14 は求めた制御点と挿入する曲線の例を図示したものである．図 15 は変形した疑似等高線を示しており，青い線が変形前の疑似等高線，赤い線が変形後の疑似等高線である．

3.1.11 川・道の推定

川・道をトレースした画像からそれぞれ黒い画素を検出する．図 4 と図 5 はそれぞれ川・道をトレースした画像である．

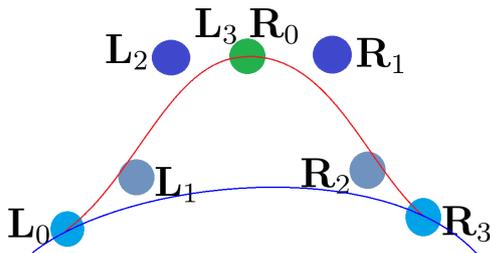


図 14 制御点とベジエ曲線の例

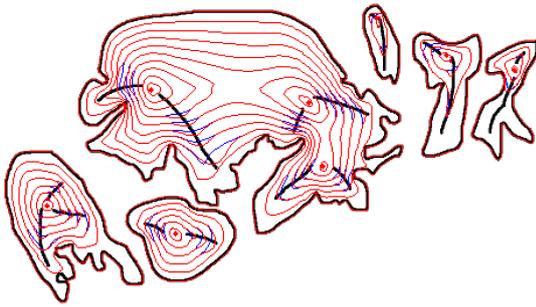


図 15 変形した疑似等高線の例

3.2 推定した情報を用いた三次元モデルの作成

3.2.1 メッシュの頂点の配置と面の作成

入力画像の画素一つ一つと対応する数のメッシュの頂点を配置する。隣接する3つの点ごとに頂点を結び、面を作る。すべての頂点について、地面の高さを0とするため z 値を0で初期化する。山岳地形、川・道を推定した情報から頂点の z 値を計算し、三次元モデルを作成する。

3.2.2 山岳地形の z 値の計算

疑似等高線ごとに、領域内の画素について z 値の計算を行う。まず、対象の疑似等高線が作成された時のオフセット処理の回数を t とする。また、注目画素と対象の疑似等高線との最短距離 d_1 を求める。次に、注目画素と $t+1$ 回目に作成された疑似等高線との最短距離 d_c と注目画素と対象の疑似等高線の領域内にある頂上との最短距離 d_h を求める。図 16 は、 d_1, d_c, d_h を示している。

d_1, d_c, d_h から注目画素の z 値を算出する。 $d_c \leq d_h$ のとき、すなわち注目画素が頂上付近でない場合、式 (6) から z 値を算出する。ここで、 H は頂上に設定した高さの最大値であり、 N は設定したオフセット処理の回数で

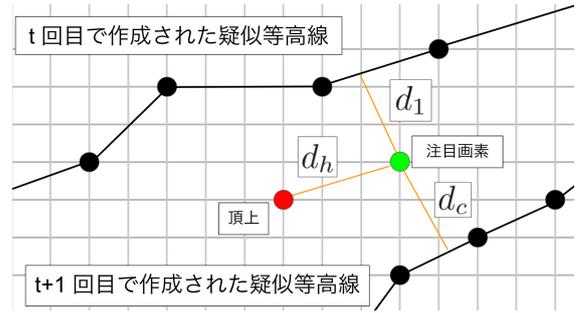


図 16 山岳地形の z 値の計算

ある。

$$z = z_1 \times \frac{d_c}{d_1 + d_c} + z_2 \times \frac{d_1}{d_1 + d_c}$$

$$z_1 = H \times \frac{N+1}{t+1}$$

$$z_2 = H \times \frac{N+1}{N+1}$$
(6)

$d_c > d_h$ のとき、すなわち注目画素が頂上付近である場合、なだらかさを表す係数 $g(d_1, d_h)$ を導入して、形状を制御する。 $g(d_1, d_h)$ は、式 (7) に示す標準正規分布関数 $f(x)$ に基づき、式 (8) から算出する。 $g(d_1, d_h)$ は、注目画素が頂上に近づくほど傾斜が緩やかになる関数である。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right)$$
(7)

$$g(d_1, d_h) = \alpha \frac{f\left(\frac{d_1}{d_1 + d_h} - 1\right) - f(-1)}{f(0) - f(-1)}$$
(8)

図 17 の上側のグラフは、標準正規分布関数 $f(x)$ のグラフである。図 17 の下側に示すグラフのように、本手法では、 x の範囲を $[-1, 0]$ と限定した式 (8) を、なだらかさを表す係数とする。

重み α は、 $f(x)$ で表される頂上付近の傾斜をより緩やかにするために用いる。図 17 の下側に示すグラフでは、青線で $\alpha = 1$ のときを、赤線で $\alpha = 0.5$ のときの $g(d_1, d_h)$ のグラフを示している。図 17 を見るとわかるように、 α を小さくすることで、傾斜が緩やかになる。係数 $g(d_1, d_h)$ を用いて頂上付近の z 値を、式 (9) のように算出する。ただし、 h_k^n は d_h を計算した頂上の高さとする。

$$z = z_1 + g(d_1, d_h) \times (z_2 - z_1)$$

$$z_1 = H \times \frac{t}{N+1}$$

$$z_2 = h_k^n$$
(9)

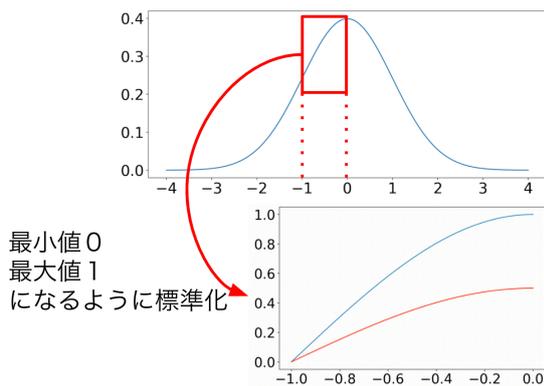


図 17 式 (7) と式 (8) のグラフ

3.2.3 川・道の z 値の計算

川・道は、建物などの三次元モデルの配置のための目安として作成する。具体的には、 $z = 0$ を地面と定義し、川は z 値を下げることで地面との差異を作り、VR コンテンツ制作時に川面の表現をしやすくする。道は z 値の高さを上げることで地面との差異を作る。道は街並みを作成する目安とするため、地面との差が目立たないように上げる z 値を抑える。川をトレースした画像から検出した黒い画素に対応する頂点の z 値を -1 する。道をトレースした画像から検出した黒い画素に対応する頂点の z 値を $+0.1$ する。

4 実験

4.1 複数人同時体験可能な VR システムの構築

4.1.1 システム概要

本システムは、本手法で生成された山岳地形を組み込んだ町並みを VR 体験するための実験用システムである。本システムでは、最低 1 台の HMD と HMD の映像を投影するプロジェクタ、PC で構成される。なお HMD は複数利用することも可能である。図 18 は作成する VR システムの概要を示している。HMD と PC はルーターを介して接続され、HMD をクライアント、PC をホストとして通信を行い、必要な情報をやり取りする。また、PC は 1 から 3 台のプロジェクターと接続されており、指定された HMD に表示されている映像を投影する。PC と HMD の仮想空間のレンダリングは、PC 側と HMD 側でそれぞれ行われる。また、HMD の表示では VR 体験のために一つの HMD で右目用の映像と左目用の映像を表示する。

本研究では HMD にジャイロセンサを搭載したスマートフォンを用いる。ジャイロセンサの値によって HMD 装着者の頭の傾きを検知し、HMD の表示に反映する。

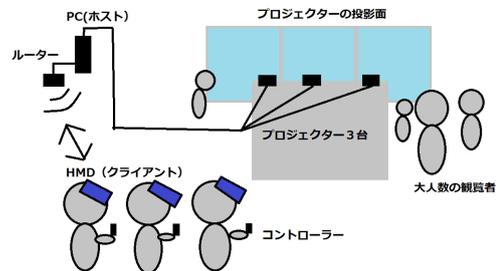


図 18 VR システム

4.1.2 PC と HMD 間の通信

PC と HMD 間の通信では、オンラインゲームなどで用いられるサーバー集中型の通信方式を用いる。HMD はそれぞれの仮想空間上のプレイヤーの位置情報を PC へ送信し、PC は送られてきたプレイヤーの位置情報をまとめて全 HMD に同時通報する。これによって、それぞれのプレイヤーの位置情報が同期される。

4.1.3 HMD 装着者の視点投影

各 HMD の装着者は、それぞれが持つコントローラーを操作することで仮想空間上を動き回ることができる。各 HMD には、各装着者の視点で映像が投影され、その中には、他の HMD 装着者の位置が円柱で表示される。PC の操作で HMD を一つ指定すると、通信によってその HMD のジャイロセンサの値の取得を開始する。HMD の指定は、VR コンテンツ内で装着者ごとに与えられる識別番号で指定する。PC は、ジャイロセンサの値を受け取ることで、指定された HMD の視点を同期し、PC に接続されたプロジェクターに、同期した視点を投影する。このことから、HMD 未装着者は、プロジェクターに投影された映像を介して HMD 装着者の視点を共有することができる。すなわち、本システムで HMD 未装着者が、HMD 装着者の視点を通して、VR 体験できることから、HMD を装着していない体験者にも有用なシステムとなっている。

4.2 地形モデルの VR システムへの組み込み

本節では、図 1 に示す手書き地図を例にして、提案手法の有効性を検証する。具体的には、3 章で述べた手法により地形を生成し、商用 CAD ソフトでモデリングした建物を配置し、VR システムに組み込むことで複数人同

時可能な VR コンテンツを作成する。実験に用いた PC は RAM が 16.0GB, CPU が Intel Core i7-4900, GPU が NVIDIA GeForce GTX 760 である。実験に用いたスマートフォンは RAM が 3.0GB, CPU が Hililicon Kirin 659 であり、一般的にミッドレンジと呼ばれる性能のものである。図 1 から山岳地形, 川, 道をトレースし, 図 3, 4, 5 の三枚の画像を作成した。作成した画像サイズは 600 × 454 ピクセルである。推定した頂上を図 7 に示す。山岳地形の推定に用いる頂上の高さを表すパラメータ h_k^n は表 1 に示す。また, オフセット処理を行う回数を表すパラメータ N は 9, 頂上付近の z 値の計算に用いる α は 0.3 に設定した。

表 1 設定したパラメータ

h_0^0	h_0^1	h_0^2	h_0^3	h_0^4	h_1^4	h_2^4	h_0^5
20	25	15	15	25	30	35	10

4.3 結果

図 19 のように, 手書きの地図を反映した三次元モデルを作成することができた。また, 三次元モデルを出力するまでにかかった処理時間は 20.7 秒であり, 短い時間で三次元モデルを作成することができた。三次元モデルを作成するために必要な作業は, 手書き地図からのトレース, 尾根線のグループ化とパラメータ設定の入力の作業のみであることから, モデリング技術のない人でも三次元モデルを作成できる方法である。図 20 は, 作成した地形モデルに建物を追加した町並みのモデルを示している。図 21 は, プロジェクターを PC の映像出力機器として使用した体験の様子を示している。さらに, 図 22 と図 23 は HMD 装着者の視点と同期した PC 画面を示している。図 22, 図 23 中の水色の円柱は HMD 装着者を示しており, 複数人の HMD 装着者が同一の VR システムで体験できることが確認できた。また, 図 22 は, 識別番号 4 の HMD を指定して同期した視点であり, 図 23 は, 識別番号 5 の HMD を指定して同期した視点である。図 22 と図 23 から, 視点の同期と, 同期する HMD の切り替えができることが確認できた。

4.4 アンケート調査

作成した VR コンテンツが手書き地図とイラストを反映した街並みを再現できているか評価するために, アンケート調査を行った。アンケート項目は以下の 4 つであり, それぞれの質問に対し 1,2,3,4,5 のいずれかの数字を

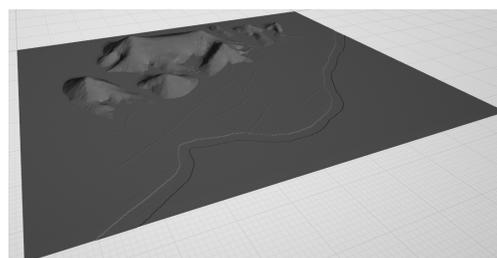


図 19 作成した地形の三次元モデル



図 20 町並みモデル



図 21 プロジェクター投影

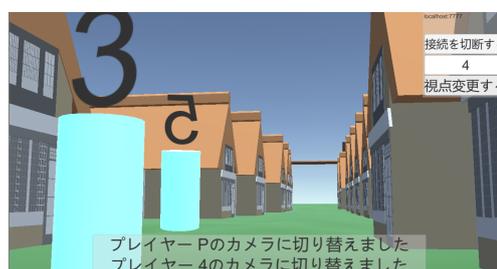


図 22 識別番号 4 の HMD を同期した様子

選択する。数字と質問の回答は表 2 のように対応づけている。また, VR 体験をして感じた意見などを自由に記述してもらうようにした。

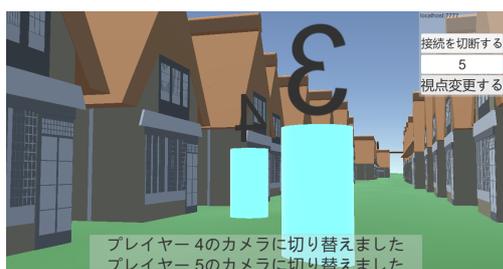


図 23 識別番号 5 の HMD を同期した様子

アンケート項目

- A 仮想空間の山について，現実の山と形が違っていましたか？
- B 地図を反映した地形が再現されていると思いましたか？
- C イラストを反映した街並みが再現されていると思いましたか？
- D 街を歩いている視点から見て，景観に違和感がありましたか？

アンケートは 20 代男性 18 人に対して行った。表 3 がアンケート結果である。表 3 は質問番号に対する回答の件数を示している。なお，括弧内の数字はパーセンテージを示している。

表 2 数字と回答の対応

1	そう思わない
2	どちらかというと思わない
3	どちらともいえない
4	どちらかというと思う
5	そう思う

表 3 アンケート結果

質問	1	2	3	4	5
A	1(5.6)	8(44.4)	3(16.7)	5(27.8)	1(5.6)
B	0(0)	3(16.7)	2(11.1)	7(38.9)	6(33.3)
C	0(0)	1(5.6)	2(11.1)	11(66.1)	4(22.2)
D	4(22.2)	8(44.4)	0(0)	5(27.8)	1(5.6)

アンケートの結果，質問 B と質問 C については，回答 4 と 5 の割合が高く，手書き地図とイラストを反映した地形モデルが作成できたと言える。また，質問 D では，回答 1 と回答 2 の割合が高く，良い評価を得られた。しかし，現実の景観に比べて，地形の細かな凹凸や木などの他のモデル，テクスチャが不十分だという意見があっ

た。また，質問 A では回答が比較的偏っていない。これは，人によって，手書き地図から想像する山が違うために，評価が定まらなかったのだと考えられる。

5 まとめと今後の課題

本論文では，数値情報の記載がない手書きの地図から地形の三次元モデルを作成する方法を提案した。具体的には，地形の三次元モデルは，手書きの地図から簡単なトレースにより，山岳地形と街道，川を再現した。また，作成した地形モデルを，本研究で開発した複数人同時体験可能な VR システムに組み込み，作成した地形の三次元モデルの有用性を検証し良好な結果が得られた。今後の課題として，山岳地形の再現度を高める方法を検討する。

謝辞

資料を提供していただいた盛岡市教育委員会歴史文化課に感謝する。また本論文は，NICOGRAPH2020 へ投稿した原稿を拡張したものである。投稿論文 [3] のご確認とご助言をいただいた NICOGRAPH2020 プログラム委員会に感謝する。

参考文献

- [1] 尉林, 杉浦, 坂本, チョン, 宮田, 多田, 大隈, 蔵田, 新村, 持丸, 五十嵐, Dollhouse VR : 複数人が異なる視点で共同作業を行う VR 環境, 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.12, pp.2610-2616, 2016
- [2] Kumagai, Furudate, Konno, A Study on 3D Modeling from Handwritten Maps for VR Environment Construction of Historical Town, Proc. SPIE 11515, International Workshop on Advanced Imaging Technology (IWAIT) 2020, 2020-1
- [3] 熊谷, 古舘, 今野, 歴史的街並み再現のための複数人同時体験可能な VR 環境構築に関する検討, NICOGRAPH2020, 2020
- [4] 近藤, 水野, スケッチブックでのお絵描きを三次元 CG で拡張する映像ツールの提案とその実現方法, 情報処理学会論文誌 デジタルコンテンツ (DCON), Vol.1, No.1, pp.1-9, 2013
- [5] 今野晃市, 3次元形状処理入門-3次元 CG と CAD への基礎-, サイエンス社, 2003

- [6] 下田, 梶並, 遠藤, 齊藤, 海老原, 山田, 小川, GIS データの可視化への試み: 天然記念物の保存と活用に向けた植生管理と展示教育への利用の観点から, デジタルアーカイブ学会誌, Vol.4, No.2, pp.187-190, 2020
- [7] 藤原, 中沢, 服部, 数値地図を用いた 3 次元街並み CG 映像の構築方法, 情報処理学会研究報告マルチメディア通信と分散処理 (DPS), Vol.2002, No.32, pp.103-108, 2002
- [8] 古屋, 水落, 八代, 水越, タブレット型端末を利用した同期型 CSCL による協同学習の効果に関する研究~edutab を用いた算数科「小数」の実践を通して~, 日本科学教育学会研究会研究報告, Vol.29, No.4, pp.1-6, 2014
- [9] VRED, <https://www.autodesk.co.jp/products/vred/overview>, 参照日時 2020-09-27
- [10] Realis RTS トラッキングシステム, <http://realis.kidsplates.jp/>, 参照日時 2020-09-27
- [11] InstaVR, <https://www.instavr.co.jp/>, 参照日時 2020-09-27

熊谷 龍之裕



2019 年岩手大学工学部卒業。2021 年岩手大学大学院総合科学研究科理工学専攻修士課程修了。現在、株式会社ソルブレイン勤務修士 (工学)。VR, CG 等に興味を持つ。

古舘 守通



1996 年岩手大学工学部卒業, 1998 年岩手大学大学院工

学研究科博士前期課程修了, 2003 年岩手大学大学院工学研究科博士後期課程修了。博士 (工学)。2015 年株式会社ラングにて 3 次元計測装置等の開発に従事。2016 年より岩手大学理工学系技術部技術職員として現在に至る。

今野 晃市



1985 年, 筑波大学第三学群情報学類卒業。(株)リコーソフトウェア研究所, ラティス・テクノロジー (株) を経て, 現在, 岩手大学工学部教授。CG, CAD, VR, 遺物計測などの研究に従事。著書に「3 次元形状処理入門」がある。博士 (工学)。芸術科学会, 映像情報メディア学会, 日本情報考古学会, 情報処理学会, EuroGraphics 会員。