

建物内部の3次元デフォルメ案内図の生成

愛島 快行 杉山 博史 亀山 研一 土井 美和子

yoshiyuki.kokojima@toshiba.co.jp hiroschi1.sugiyama@toshiba.co.jp
kenichi.kameyama@toshiba.co.jp miwako.doi@toshiba.co.jp

(株) 東芝 研究開発センター

本報告では、駅や空港、地下街などの建物内部の3次元案内図を生成するための手法について述べる。最初に、目的地までの経路の見えやすさの評価モデルを提案し、このモデルに基づいて分かりやすい視点位置を決定する手法について述べる。次に、選ばれた視点位置に応じて建物の形状モデルに3次元的なデフォルメ処理を加えることにより、案内図をより分かりやすくできることを示す。また、東京駅構内の3次元案内図を生成する実験を行い、本手法の有効性を実証する。

A 3D Deformed Route Map Generation for Indoor Navigation

Yoshiyuki Kokojima Hiroshi Sugiyama Kenichi Kameyama Miwako Doi

yoshiyuki.kokojima@toshiba.co.jp hiroschi1.sugiyama@toshiba.co.jp
kenichi.kameyama@toshiba.co.jp miwako.doi@toshiba.co.jp

Corporate R&D Center, Toshiba Corp.

This report presents a new method that generates a 3D deformed route map for indoor navigation. Our method first selects a good viewpoint for understanding the route map based on measure of goodness of a viewpoint. According to the selected viewpoint, a shape model is deformed to generate a more understandable route map. We demonstrate experimentally effectivity of our method by generating some route maps for Tokyo Station.

1 はじめに

Web上で地図を表示するサービスが増えてきている。弊社のWebサイト「駅前探険倶楽部」[1]でも、駅から目的地までの案内図を表示するサービスを提供している。このような地図を使った案内サービスでは、詳細なデジタル地図データを簡略化することによって案内図を生成している。

しかしながら、駅や空港、地下街などの建物内部については地図データが未整備であるため、構外の道路のような案内サービスは少ない。例えば、階段の近くに停車する車両とドアを案内するサービス[2]が行われているが、このサービスは限られた範囲をあらかじめ用意された文章で案内するにとどまっておらず、階層の深い大規模な建物を広範囲に案内するには不十分である。他にも、構内の写真を貼り合わせたり補間

することによって案内するシステム[3]が開発されているが、写真はその場限りの情報であるため、利用者が建物の全体像や目的地までの経路を把握することが難しい。

一方、鉄道会社のWebサイト[4]ではイラストレータによって描かれた駅構内の3次元案内図が掲載されている。この案内図には上下の階層をずらしたり天井を削るなどの3次元的なデフォルメ処理が加えられており、単純な3次元図では隠れて見えなくなる箇所でも把握できるようになっている。しかしイラストレータによって描かれる案内図はあくまで1枚の絵であり、視点位置を変えることができないため、目的地までの経路が分かりづらいことが多い。

本報告では、建物内部の分かりやすい3次元案内図を生成する手法について述べる。まず第2節では、目的地までの経路の見えやすさの評

価モデルを提案し、このモデルに基づいて分かりやすい視点位置を決定する手法について述べる。次に第3節では、選ばれた視点位置に応じて建物の形状モデルに3次元的なデフォルメ処理を加えることにより、案内図をより分かりやすくできることを示す。さらに第4節で実装と実験結果を、第5節でまとめと今後の課題について述べる。

2 視点位置の決定

分かりやすい3次元案内図を生成するためには、案内図を把握しやすい視点位置を選ぶことが重要である。そのためには視点位置の良さを評価するための尺度が必要になるが、例えば、Vazquezら[5]は式(1)の視点エントロピーを用いてポリゴンメッシュの見えやすさを計算することにより、視点位置の良さを評価している。

$$E = - \sum_{i=0}^n \left(\frac{A_i}{A_t} \cdot \log_2 \left(\frac{A_i}{A_t} \right) \right) \quad (1)$$

ここで、 $A_i (i > 0)$ はメッシュの i 番目の面の球面への投影面積、 A_0 は背景の球面への投影面積、 A_t は球面全体の面積を表している。

しかし式(1)は形状モデル全体の見えやすさを評価するための尺度であり、それによって選ばれた視点が必ずしも案内図を把握しやすい視点であるとは限らない。案内図を把握しやすい視点を選ぶためには、形状モデル全体の見えやすさではなく、目的地までの経路の見えやすさを評価するべきである。

本節では、このような考え方に基づいて視点位置を決定するアルゴリズムについて述べる。このアルゴリズムは以下の2つのステップからなる。

1. 視点候補の選出
2. 各視点候補の見えやすさの評価

最初のステップで視点の候補点を選出し、次のステップで各候補点について案内経路の見えやすさを評価することにより、最も分かりやすい視点位置を決定する。以下の節で各ステップの処理内容について説明する。なお、本報告では目的地までの経路のことを案内経路と呼び、こ

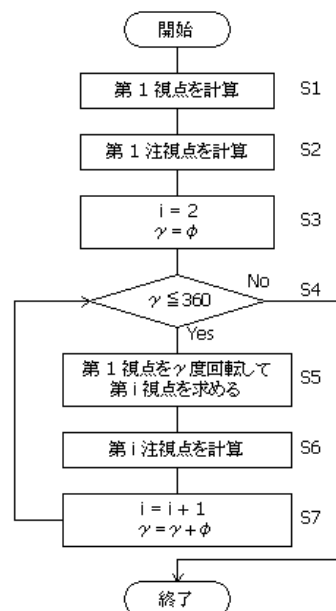


図1: 視点候補の選択処理

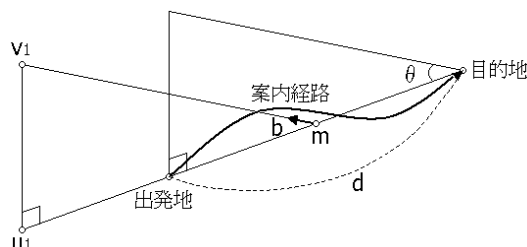


図2: 第1視点位置

の案内経路は出発地と目的地を端点にもつ3次元の折れ線で表されているとする。

2.1 視点候補の選出

視点候補を選出する処理のフローチャートを図1に示す。最初のステップS1では式(2)により第1視点位置 v_1 を求める。

$$v_1 = m + \frac{d \cdot b}{\cos \theta} \quad (2)$$

ここで、 m は出発地と目的地を結ぶ線分の midpoint の3次元座標ベクトル、 d は出発地と目的地を結ぶ線分の長さ、 b は出発地から目的地方向を見たときの後ろ上方 θ 度を指し示す単位ベクトルを表す。また、 v_1 から出発地と目的地を結ぶ直線に下ろした垂線の足を u_1 と表す。各パラメータを図示すると図2のようになる。

次のステップS2では第1注視点 l_1 を求める。注視点の計算方法はステップS6の説明にて後

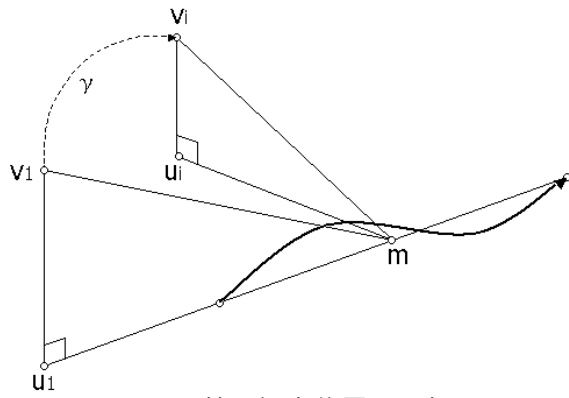


図 3: 第 1 視点位置の回転

述する。

ステップ S3 で添字 i と回転角 γ を初期化し、ステップ S4 で回転角 γ が 360 度以下であるかを判定する。 γ が 360 度以下であればステップ S5 へ進み、360 度より大きければ終了する。

ステップ S5 では、第 1 視点 v_1 を m を中心に γ 度回転することにより、第 i 視点 v_i とその真下の点 u_i を求める (図 3)。

ステップ S6 では、各視点 v_i に対応する注視点 l_i を次式により求める。

$$l_i = \alpha \cdot n_i + \beta \cdot f_i \quad (3)$$

ここで、 n_i は v_i から最も近い経路上の点 p_i から u_i と m を結ぶ直線に下ろした垂線の足を表し、 f_i は v_i から最も遠い経路上の点 q_i から u_i と m を結ぶ直線に下ろした垂線の足を表す (図 4)。また、 α, β は $\alpha + \beta = 1$ を満たす正の定数である。

ステップ S7 では、添字 i を 1 増加させるとともに回転角 γ を ϕ 度増加させてステップ S4 へ戻る。こうすることにより、案内経路の周囲 360 度を ϕ 度ずつ回転したときの視点と注視点のセットが求まる。これらのセットが視点位置の候補点となる。

なお、案内図の読みやすさを考慮すると出発地を手前寄り、目的地を奥寄りに配置する方が望ましいため、回転角 γ は必ずしも 360 度変化させる必要はない。また、回転角 θ を変化させれば視点候補を縦方向に選ぶこともできる。

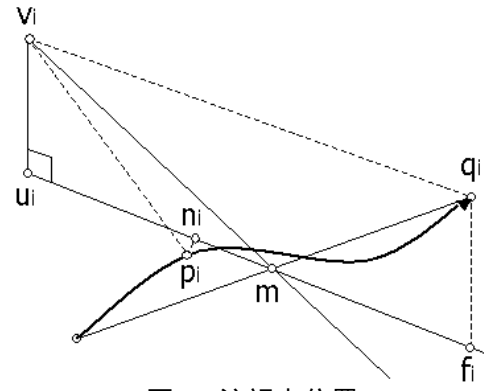


図 4: 注視点位置

2.2 各視点候補の見えやすさの評価

次に各視点候補について案内経路の見えやすさを定量的に評価する。この評価は、式 (1) の視点エントロピーを用いて経路に沿って配置した面の見えやすさを計算することによって行う。本報告では、この経路に沿って配置した面のことを経路面と呼ぶ。

経路面を配置するには、まず、建物のポリゴンメッシュの中から案内経路の下に位置する面を見つける。そして見つけた面の法線ベクトルと同じ法線ベクトルをもつ面を新たに考え、経路がその面の中心線になるように適当な幅をつけて配置する (図 5)。ただし、経路の下に位置する面が階段やエスカレータなどアップダウンを表す場合に限り、面の法線ベクトルと直行する法線ベクトル n_l, n_r をもつ 2 枚の平面 F_l, F_r を配置する (図 6)。図 6 (a) は階段を正面から見た様子、図 6 (b) は左右から見た様子を表している。

このように配置した経路面の見えやすさを式 (1) により計算する。つまり、Vazquez らがポリゴンメッシュのすべての面について見えやすさを計算したのに対して、我々は案内経路に沿って配置した面についてのみ見えやすさを計算する。こうすることにより、各視点候補における案内経路の見えやすさを評価することができる。

式 (1) において、経路面の投影面積 A_i は視線ベクトル (視点から注視点へのベクトル) と経路面の法線ベクトルが正対するほど大きくなる。したがって、階段やエスカレータなどの経路面は真横から見たときに最も見えやすく評価され、それ以外の部分は真上から見たときに最も見え

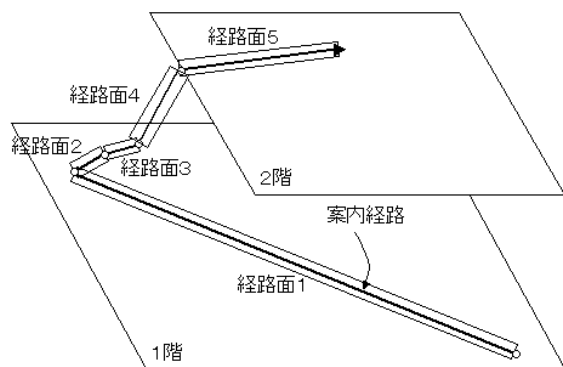


図 5: 経路面

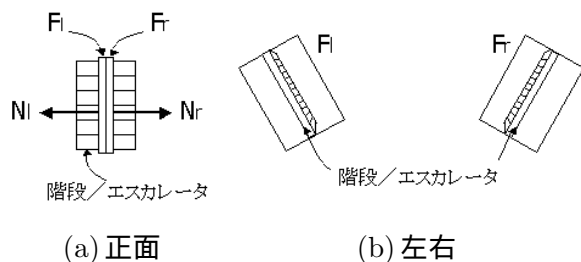


図 6: 階段の経路面

やすく評価される。この戦略は、平面的な道筋は真上から見たときが最も把握しやすく、アップダウンを含む道筋は真横から見たときが最も把握しやすいという考察に基づいている。

また、 A_i は視点位置と経路面の距離が近いほど大きくなるため、視点に近い部分ほど見えやすく評価される。さらに、 A_i は経路面が障害物や上の階層に遮蔽されている場合に小さくなるため、案内経路全体の道筋をよく見通せる視点位置ほど見えやすく評価される。

このように、式 (1) を用いて経路面の見えやすさを評価することによって、案内経路のアップダウンを把握しやすい視点位置や、案内経路が上の階層に遮蔽されない視点位置を的確に決めることができる。

3 形状モデルのデフォルメ

前節で選ばれた視点位置はあくまで候補点の中で相対的に分かりやすいものであり、絶対的な分かりやすさが保証されているわけではない。したがって、建物の形状が複雑な階層関係をもつ場合などには、どんなに分かりやすい視点位置を選んでも案内経路が上の階層に遮蔽されて

しまうことが多い。

このような問題の解決方法のひとつとして多視点投影があげられる。多視点投影とは、異なる視点からの投影図を貼り合わせてあたかも複数の方向からとらえたような絵をつくりだすことにより、通常隠れて見えなくなる箇所でも把握できるようにする投影法のことである。ただし、この投影法では異なる視点からの投影図を 1 枚に貼り合わせる際に、描画対象の可視性をどのように判定するかが大きな問題となる。例えば、Agrawala ら [6] は描画対象の形状モデルの構成要素間の前後関係を利用して、異なる視点からの投影図を 1 枚にマージする手法を提案しているが、この手法では形状モデルの各構成要素が非連結であることが前提条件となっている。

一方、Takahashi ら [7] は地形の形状モデルに 3 次元的なデフォルメ処理を加えることにより、湖や山などの地理的特徴の見えやすい地形案内図を生成している。この手法は従来のように投影法を変化させるのではなく、描画対象の形状モデルを変形させることによって多視点投影の効果をつくりだすため、異なる視点からの投影図を 1 枚に貼り合わせる必要がないという特長をもつ。ただし、Takahashi らが提案しているデフォルメ処理は地形のような滑らかな形状を対象としており、我々が対象とする建物の形状にはあまり適していない。

本節では、前節で選ばれた視点位置に応じて建物の形状モデルに以下の 3 種類のデフォルメ処理を加え、案内図をより分かりやすくすることについて述べる。

- 遮蔽領域の切り取り
- 階層の並進
- 階層の回転

以下の節で各デフォルメ処理の詳細について説明する。

3.1 遮蔽領域の切り取り

形状モデルの中から案内経路を遮蔽している領域を切り取るデフォルメである。図 7(a) では案内経路が 1 階部分と階段部分、2 階部分の 3 つの部分から成るが、最初の 2 つの部分が 2

階の階層によって遮蔽されているため、経路の道筋を把握することが難しい。そこで、図 7(b) のように遮蔽する三角形メッシュを部分的に切り取ることによって案内経路の道筋を見通せるようにしている。

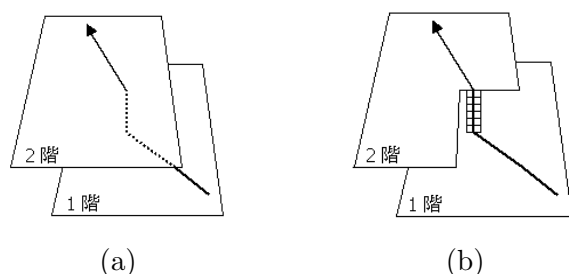


図 7: 遮蔽領域の切り取り

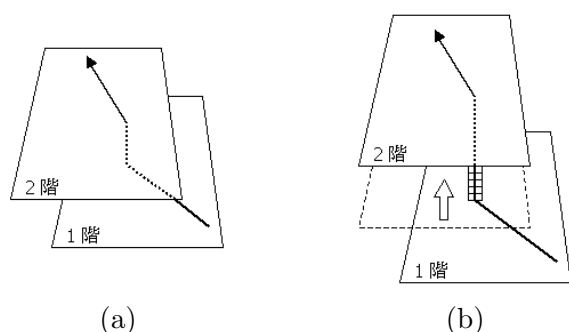


図 8: 階層の並進

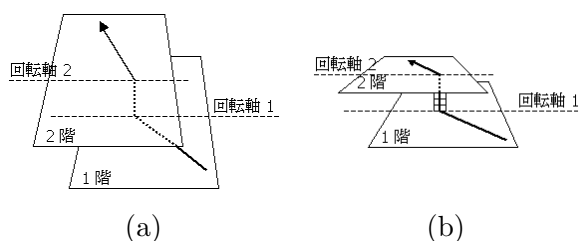


図 9: 階層の回転

3.2 階層の並進

形状モデルの中で案内経路を遮蔽している階層を並進するデフォルメである。図 8(a) では案内経路の 1 階部分と階段部分が 2 階の階層によって遮蔽されているため、経路の道筋を把握することが難しい。そこで、図 8(b) のように遮蔽する階層を奥へずらすように並進させることにより、案内経路の 1 階部分すべてと階段部分の一部を見通せるようにしている。

3.3 階層の回転

形状モデルの中で案内経路を遮蔽している階層を回転するデフォルメである。図 9(a) では案内経路の 1 階部分と階段部分が 2 階の階層によって遮蔽されているため、経路の道筋を把握することが難しい。そこで、図 9(b) のように 2 階と 1 階の階層をそれぞれ回転軸 2, 1 を中心に α, β 度奥へ倒すように回転することにより、案内経路の 1 階部分すべてと階段部分の一部を見通せるようにしている。

このデフォルメは、 $\alpha = \beta$ のときは視点位置を下げることに同じ意味しかもたない。そのため、 α, β を大きくすれば階段は見えやすくなるが、1 階と 2 階はかえって見えづらくなってしまふ。これに対して $\alpha > \beta$ となるように α, β を選ぶと、2 階と 1 階の階層に異なる視点を割り当てて多視点投影したときと同じ効果を得ることができ、1 階の見えやすさをあまり落とすことなく階段を見えやすくすることができる。

4 実験結果

上記で述べたアルゴリズムを C++ と 3 次元グラフィックライブラリ Mesa 3D, 2 次元グラフィックライブラリ GD [8] を用いて実装し、実験を行った。

図 10 は本手法で生成した東京駅の八重洲地下中央口から 5, 6 番ホームまでの 3 次元案内図である。この図では、案内経路を遮蔽している領域を色付けして示している。この遮蔽領域を切り取った結果をを図 11 に示す。また、階層を並進した結果を図 12, 回転した結果を図 13 にそれぞれ示す。なお、本実験では階層の並進方向と移動量、および階層の回転軸と回転角度は手動で与えている。

5 まとめ

本報告では、建物内部の分かりやすい 3 次元案内図を生成する手法について述べた。最初に、目的地までの案内経路の見えやすさの評価モデルを提案し、このモデルに基づいて分かりやすい視点位置を決定する手法について述べた。次に、選ばれた視点位置に応じて建物の形状モデ

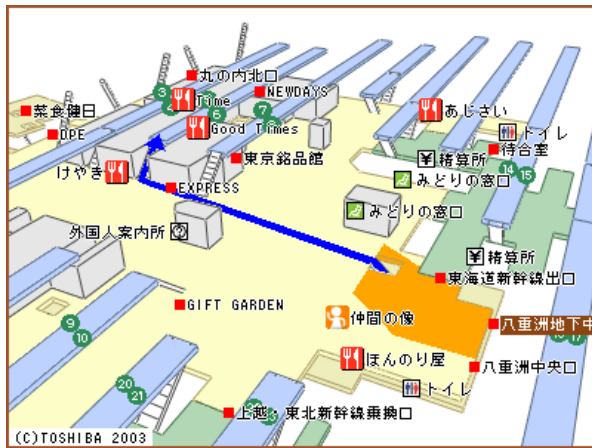


図 10: 東京駅構内の 3 次元案内図

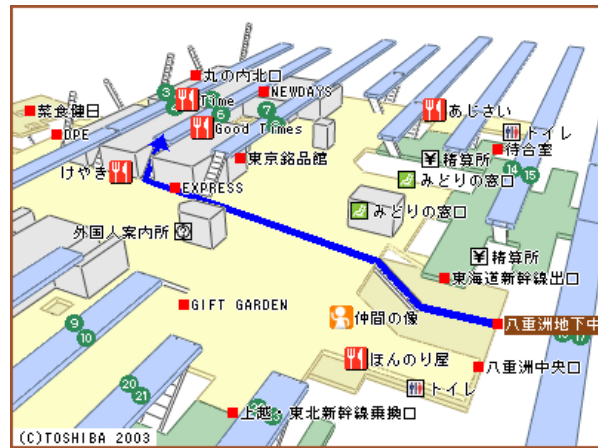


図 11: 遮蔽領域の切り取り

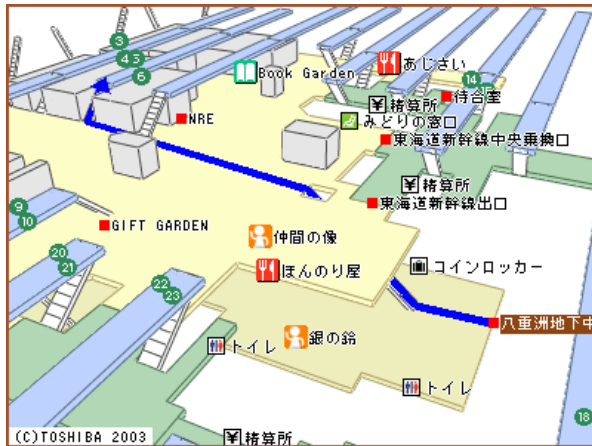


図 12: 階層の並進

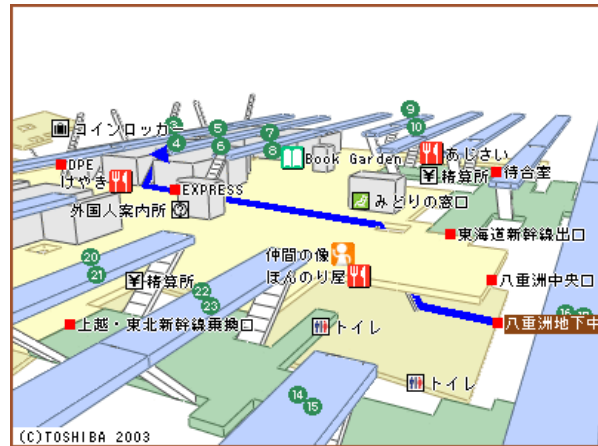


図 13: 階層の回転

ルに 3 次元的なデフォルメ処理を加えることにより、案内図をより分かりやすくできることを示した。

今後の課題には、階層の並進方向と移動量、および階層の回転軸と回転角度を自動的に計算する手法を検討することと、案内経路がより多階層にまたがる場合の実験を行うことがあげられる。

謝辞 本研究に関して貴重な御助言をいただいた東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻広域システム科学系の高橋成雄助教授に感謝する。

参考文献

- [1] 駅前探険倶楽部. <http://ekitan.com/>
- [2] PinPoint!で階段. <http://pinpoint.nu/pc/>
- [3] 田中浩也, 有川正俊, 柴崎亮介. 写真画像群の重なりを用いた広域的な疑似 3 次元空間.

暦本純一 編: インタラクティブシステムとソフトウェア IV, 近代科学社, 2001.

- [4] JR 東日本 E@Station.
<http://www2.jreast.co.jp/estation/>
- [5] P. Vazquez, M. Feixas, M. Sbert, and W. Heidrich. Viewpoint Selection using Viewpoint Entropy. VISION, MODELING, AND VISUALIZATION 2001, (2001).
- [6] M. Agrawala, D. Zorin, and T. Munzner. Artistic Multiprojection Rendering. Eurographics Rendering Workshop 2000, (2000).
- [7] S. Takahashi, N. Ohta, H. Nakamura, Yuriko Takeshima, and Issei Fujishiro. Computer Graphics Forum. Vol. 21, No. 3, pp. 259–268, (2002).
- [8] GD Graphics Library.
<http://www.boutell.com/gd/>