

ユーザの閲覧行動に基づきパノラマ画像データを選択する 適応型ストリートビューの開発

Development of an Adaptive Street View
that Selects Panoramic Images Based on User Browsing Behavior

里形 理興
Riki SATOGATA

滝口 啓介
Keisuke TAKIGUCHI

福地 庸介
Yosuke FUKUCHI

今井 倫太
Michita IMAI

慶應義塾大学大学院 理工学研究科
Keio University

By using Street View, it is possible to get landscape information that cannot be got from a planar map. However, it is problem that it is difficult for users to see where users want to see due to the coarse arrangement of the panoramic images of street. In this study, with the aim of developing an Adaptive Street View that displays panoramic image data in proportion to the degree of user's interest in the point, we propose ALPS, a method to select panoramic image data to be displayed using a spring model, based on the degree of interest estimated from the user's operation in the Street View. In the experiment, participants use the Adaptive Street View with ALPS under three tasks. As a result, it was confirmed that the panoramic image arrangement according to the user's interest was realized.

1. 序論

モバイル端末の普及に伴い地図アプリケーション [5, 3] が発展してきており、紙の地図と比較してより多様な情報をユーザに提供できる基盤が整ってきた。一方で、地図アプリケーションは地理情報の提示に主眼が置かれており、景観の情報が欠落している。ユーザが移動経路を地図アプリケーションによって確認したい場合、景観情報の欠落はデメリットになる場合がある。例えば、初めて訪れる場所での経路を地図アプリケーションで確認する場合、得られる情報が道路や建物の名称のみだと、実際に訪れた際に地図上の位置と実際の位置が同定できない可能性がある。

景観を写したパノラマ画像群を提供するサービス [6, 4] (以降、ストリートビューと呼称) を使うことで、地図に不足する景観情報を補うことができる。景観が見えるようになることで、ユーザは実際に地点を訪れているかのように経路を確認できる。またストリートビューでは、景観のパノラマ画像が連続的に提示される。結果、ユーザはどの地点をどう進んでいるのかという空間的なコンテキスト付きで地形を把握しやすくなる。しかし、パノラマ画像の配置間隔が適切でない場合、ユーザが見たい地点が見つからないことがある。

ユーザが見たい場所を見られない原因として、パノラマ画像の配置間隔が粗いことがある。Kolhatkar ら [7] や Zhao ら [9] は 2 枚のパノラマ画像から 2 枚の間の景観を補完するパノラマ画像を推定する手法を提案している。パノラマ画像の間を補完することで、パノラマ画像をより細かく提示できるようになり、ユーザが見たい場所を見やすくなることができる。また、車載カメラの撮影間隔の限界や通信データ量の問題を受けずに、ストリートビューで閲覧可能な景観データの量を増やすことができる。

ストリートビューからユーザが必要な情報を取り出せる可能性を上げるためには、ストリートビューに配置するパノラマ画像の枚数を増やせばよい。しかし、単にパノラマ画像の枚数を増やしてしまうと、ユーザが必要としていない位置周辺でも閲覧可能なパノラマ画像が多くなってしまい、ユーザがストリー

トビュー内を移動する際の操作量が増えてしまう。ユーザの操作量が増加することを抑えつつ各ユーザに必要な情報を提示するために、ユーザが必要としている情報を推定し、取捨選択した上で提供するユーザ適応 (パーソナライゼーション) を行う方法が考えられる。従来研究では、地図におけるパーソナライゼーションを行う手法は存在する [8, 1]。しかしながら、ストリートビューにおけるパーソナライゼーションを行う手法はまだ考えられていない。

本研究では、ストリートビュー閲覧時のユーザ操作からユーザがそれぞれの地点に抱く興味の度合 (興味度) を推定し、推定結果に基づいて選択されたパノラマ画像データを配置する手法 ALPS (Adaptive Location of Panoramic Street-images) を提案する。ALPS では、各パノラマ画像表示位置が、推定した興味度をもとに弾性力の変化するばねによって接続されるとみなす。ばねモデルで考えることにより、各パノラマ画像表示位置の疎密が連続的に容易に実現できる。ALPS によりユーザが興味のない地点ではパノラマ画像データの配置が疎になることでスムーズに進み、ユーザは操作を面倒に感じづらくなる。また、ユーザが興味のある地点の近くでパノラマ画像データの配置が密になることで、より様々な視点からの閲覧が可能になる。

2. 背景

本章では研究の背景として、ストリートビューや地図アプリケーションにおける関連研究を紹介し、ストリートビューの課題について説明する。

2.1 パノラマ画像間隔の粗さに対する提案

ストリートビューではパノラマ画像内で視点を移動しながら近隣のパノラマ画像間を遷移できるため、ユーザにとってどの場所をどのような順番で移動したのかの把握が容易であることは利点である。しかしながら、現在のストリートビューではパノラマ画像の間隔が大きく、ユーザが自分の位置を見失ってしまうこともある。Kolhatkar ら [7] や Zhao ら [9] はパノラマ画像間の実距離の大きさを撮影データ量を増やすことなく埋めるために、2 枚のパノラマ画像間を補完するパノラマ画像を生成する手法を提案した。

連絡先: 里形理興, 慶應義塾大学大学院 理工学研究科

〒 223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1

E-mail: satogata@ailab.ics.keio.ac.jp

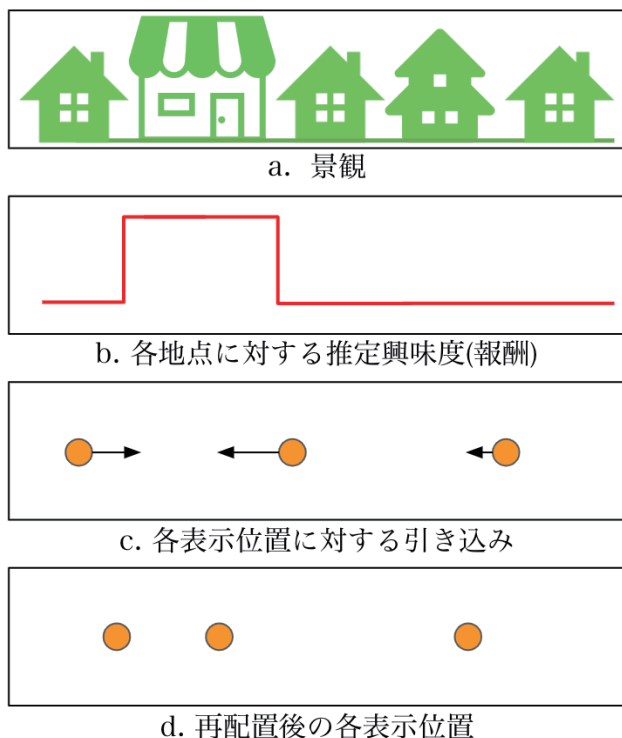


図 1: ALPS の概念図

2.2 地図パーソナライゼーション

地図上の情報過多により、ユーザが欲しい情報を得ることが困難になりうる問題を解決する方法として、地図のパーソナライゼーションが考案されている。Aoidh ら [2] は、地図アプリケーションを閲覧する際のユーザのマウスの動きやクリックに基づいて地図に対するユーザの興味が測れることを示し、ユーザに必要なと思われるアプリケーションの機能を推薦する CoMPASS を作成した [1, 8]。小林ら [10] は地図上およびストリートビュー上の操作からユーザの意図を推測し、推測結果からユーザに必要なストリートビューの景観画像を統合した地図を出力するシステムを提案した。

2.3 課題

ストリートビューにおいてユーザが見たい場所を見られないという課題は、パノラマ画像の枚数を増やすことによって解決できる。しかし、多すぎるパノラマ画像はユーザの操作量を増やすことにつながり、ユーザは快適に情報を取得することが困難になる。ユーザの操作量が増加することを抑えつつ各ユーザに必要な情報を提示するために、ユーザが必要としている情報を推定し、取捨選択した上で提供するパーソナライゼーションを行う方法が考えられる。従来研究では地図アプリケーションのパーソナライゼーションは多くなされているが、ストリートビューにおいてパーソナライゼーションを行なった例はない。

3. 提案

ALPS(Adaptive Location of Panoramic Street-images) は、ユーザが興味のある地点にストリートビューのパノラマ画像配置が集中するように、パノラマ画像を再配置する手法である。興味のある地点への集中を実現する仕組みとして、経路の各地点にユーザの興味の度合いが設定されると考え、各パノラ

マ画像表示場所には興味度の高い位置へと引き込まれていくよう、その前後から興味度のより大きいほうへと移動させる (図 1)。

以上のような仕組みは、各パノラマ画像表示位置が、興味度をもとにして弾性力の変わるばねで接続されているとみなすことができる。まず、自然長が 0 で k_A , k_B のばね定数を持つばねによって左右から接続された物体を考える。左端から右端までの長さを L とすると、物体は左端から $\frac{L \times k_B}{k_A + k_B}$ の位置でつりあう。すなわち、 k_A が大きくなるほど物体の位置は左端に寄っていく。以上の考え方を複数のばねで接続されたパノラマ画像表示位置として拡張する。更新は微小距離に区切って i 回行うものとする。はじめは各パノラマ画像表示位置の間隔が等しくなるように並んでいるとすると、 n 番目のパノラマ画像表示位置を x^n は以下の式で初期化、および更新される。

$$x_i^n = \begin{cases} I \times n & (i = 0) \\ x_i^{n-1} + \alpha(x_{i-1}^{n+1} - x_{i-1}^{n-1}) \frac{k_{i-1}^{n,n+1}}{k_{i-1}^{n-1,n} + k_{i-1}^{n,n+1}} & (i \neq 0) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 I は初期状態におけるパノラマ画像表示間隔を表す定数であり、 α は 1 より小さい定数である。 α をつりあいの位置を表現する項に乗することで微小距離を表現している。 $k^{n,n+1}$ は x^n と x^{n+1} の間にあるばねのばね定数を表している。本手法においては以下のように表現される。

$$k_i^{n,n+1} = \frac{\sum_{x \in [x_i^n, x_i^{n+1}]} r(x)}{N} \quad (2)$$

$r(x)$ は各パノラマ画像データの位置に存在する興味度を表す関数である。 N は x^n と x^{n+1} の間にあるデータ数を表す。すべてのばね定数は、ばねの両端間の興味度の平均として表現する。興味度が変化するたびにすべてのパノラマ画像表示が弾性力によるつりあいを保つように移動させる。計算を収束させるために、全てのパノラマ画像表示位置の移動量が一定の値より小さくなった時に更新を終了するものとする。

$$\forall n, |x_{i+1}^n - x_i^n| < \beta \quad (3)$$

ここで、 β は停止条件における移動量の閾値である。

ストリートビューにおいてユーザが後方に進む操作をする場合、ユーザは何か見たい対象を見落としたということが推測される。ALPS はユーザが後方に進んだ後再度前方に進む操作をもとに、操作の発生したパノラマ画像表示位置と次のパノラマ画像表示位置の区間における、ALPS の推測するユーザの興味度を増加させる。一般のストリートビューでは見落としがパノラマ画像間隔の広さに起因する時、後方に進んでもユーザは目的の対象をよく見ることができず、ユーザは再度前方へ進行することになる。ALPS によってパノラマ画像の再配置を行うことで、ユーザが再度前方へ進行した時にユーザの興味地点と推測された地点の新しいパノラマ画像が表示される。

4. 実験

実験では、ALPS を用いて実装したストリートビューを 3 つの異なるタスクのもとで実験参加者に使用させ、使用後に得られた推定興味度および配置の有効性を検証する。データの撮影場所は夢見ヶ崎動物公園 *1 (図 2) である。パノラマ画像デー

*1 〒 212-0055 神奈川県川崎市幸区南加瀬 1 丁目 2 - 1



図 2: 撮影した経路は A-B 間の約 120m(地図データ ©2019 Google, ZENRIN)

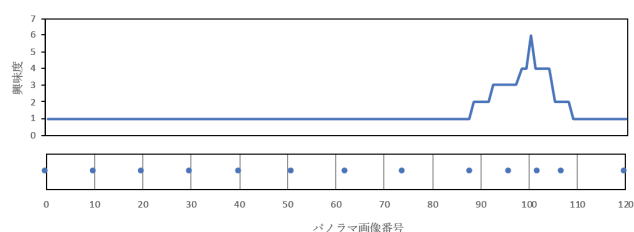
タは VIRB 360^{*2} を用いて天球動画を撮影した後, 121 枚の天球画像を切り出し, 画像 0 から画像 120 まで通し番号をつけたものを用いた。

3 つの異なるタスクの内容は以下になっている。検索タスクは, 経路の中に一つだけ存在する自動販売機を探すタスクである。自動販売機は初期配置の状態から見つけることができるが, そのままでは正面から観察することは難しい。検索タスクでは, 実験参加者に検索対象を指示することで, 検索対象付近で推定興味度が高くなるかどうか確認する。環境把握タスクは, 経路を閲覧した後, どのような経路であったかを答えるタスクである。ストリートビューを景観の全体的な印象を掴むために用いる際には, ユーザは特定の地点に注目しないため, 全体を通して興味度は上下しないことが予想できる。環境把握タスクでは, 実験参加者にストリートビュー内の大まかな印象を掴ませ, 興味度が全体を通して上下しないかどうか確認する。計数タスクは, 経路内に存在する動物を見て, 動物の種類と数を答えるタスクである。計数タスクでは, 実験参加者に地点に注目することが必要なタスクを課し, 地点付近で興味度が高くなるかどうか確認する。1 つのタスクにつき 5 名ずつ, 合計 15 名の参加者に ALPS によるストリートビューを用いたタスクを課した。

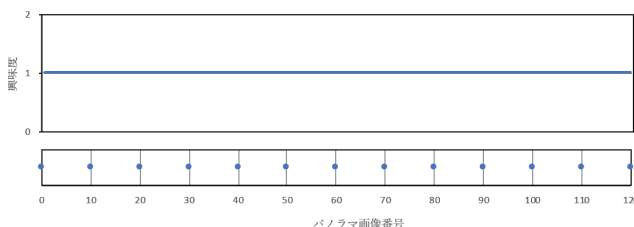
5. 結果

図 3 に各タスクにおいて記録された推定興味度および, 記録されたパノラマ画像配置を各タスクにつき一つずつ示した。

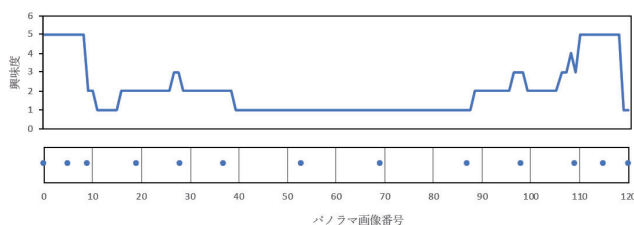
検索タスクにおいて, 自動販売機は画像 102 地点で正面から観察できる。5 名の参加者は全員が 90~110 付近で前後に移動し, その付近に興味があると推定された。全ての参加者がパノラマ画像配置が変化したことによって正面から自動販売機を捉えることができた。図 3a 上部の興味度のグラフでは, 検索対象であった自動販売機付近で興味度が高く推定されている。また, 下部のパノラマ画像データの表示位置を表すグラフから, 画像 100 付近にパノラマ画像表示位置が集中しているこ



a. 検索タスクにおける一例



b. 環境把握タスクにおける一例



c. 計数タスクにおける一例

図 3: 各タスクにおける全参加者の推定興味度と配置のうちの一例

とが観察できる。

環境把握タスクにおいては, 参加者に注目すべき地点を明示的に与えなかったため, 各参加者間で推定興味度や配置に共通する特徴はみられなかった。図 3b の一例では, 参加者は一度も後退操作をしなかったため, 配置は実験中常に初期配置のままであった。他の例では興味度が上昇する例もあったが, 全ての参加者で共通しておらず, 各々の興味にしたがって閲覧した結果だと考えられる。

計数タスクでは, 程度に多少はあったが, どの参加者もタスク達成のために複数回ストリートビュー内で引き返す操作を行なった。どの参加者の興味度でも, マーコール (パノラマ画像番号 30 前後) 付近の地点では興味度が高く推定されている。初期配置の角度からだと見えづらいためにユーザが再確認するべく引き返した結果だと考えられる。他に, ラマ (画像 70 前後) やホンシュウジカ (画像 100 前後) の存在する地点でも, 一部参加者の興味度が高くなっていることが確認できた。図 3c の一例では, マーコールとホンシュウジカの付近で興味度が高く推定されている。他の場所でも高く推定されているのは, 動物を確認することはできないが, 檻があったために実験参加者が注目したためだと思われる。計数タスクは検索タスク, 環境把握タスクと比較して多くの場所に注目する必要があるため, あまり注目しなくてもよい地点でパノラマ画像表示位置が疎らになる傾向も顕著に見られる例があった。例として, 図 3c の下部グラフでは, 番号 40~90 でパノラマ画像の配置が疎になっている。

*2 <https://www.garmin.co.jp/products/intosports/virb-360/>

総合して、各タスクにおいて実験参加者が注目すると予想された場所で興味度が高く推定され、ALPS における興味度推定手法は妥当であるといえる。また、探索タスクや計数タスクのように、ストリートビュー内である物体を探したり、特定の角度から見たりする目的において、ALPS の手法は特に有効だと考えられる。

6. 今後の課題

ALPS では、ストリートビュー閲覧時に前後する移動操作に対し、その付近の地点に興味があるとみなした。特に、前進時に後退し、再度前進を行なった地点の付近でのみ興味度を上昇させたが、前進時に後退した時点で興味度を上昇させることや、後退した地点と再度前進した地点の間のすべてで上昇させることが考えられる。また、興味度の上昇のさせ方に関して、ALPS では 1 ずつ増加させたが、緩やかな上昇や急な上昇をさせた場合のパノラマ画像表示位置の挙動およびユーザの感じ方について調査したい。

興味度推定の手法に関して、ストリートビュー内での移動に基づく興味推定を用いたが、興味推定の手法は他にも考えられる。例えば、地理的特徴やユーザの注視方向、注視時間からも興味度が推定できる可能性がある。興味推定の手法については、ユーザのシステムへの印象評価も踏まえつつ検討していく必要がある。

本論文では、適応型ストリートビューのパノラマ画像の初期配置を常に等間隔としており、ユーザごとにパノラマ画像配置を変えることを想定した。実験では、各タスクに対して特徴的な興味度やパノラマ画像配置が得られた。ここで、ユーザごとに興味度を推定するのではなく、推定された興味度を地点に記録しておくことで、ある地点である目的が多く発生するような場合に有用な可能性がある。この場合、「ユーザの各地点への興味の度合い」ではなく、「各地点の興味の向けられやすさ」を推定および記録することになる。各地点の興味の向けられやすさからパノラマ画像の初期配置を決定することで、ユーザ操作に対する短期的な適応のみでなく、地域特性に対する長期的な適応がなされ、よりユーザの操作負担を減らすことができる。各地点の興味の向けられやすさを推定する手法に、今回用いたユーザの興味度推定手法を用いられるかどうかや、どのような手法を用いることができるか検討したい。

7. 結論

本論文では、ユーザ操作によって推測されるユーザの地点への興味度によってストリートビューのパノラマ画像の表示位置を適応的に変更する手法 ALPS(Adaptive Location of Panoramic Street-images) を提案した。

ALPS では、ストリートビュー内でのユーザ操作からユーザの地点への興味度を推定し、推定された興味度に基づいてパノラマ画像表示位置を変更する。各パノラマ画像表示位置は、推定した興味度をもとに弾性力の変化するばねによって接続されているとみなす。結果、パノラマ画像表示位置はユーザの興味度が高い地点付近に集中し、ユーザの興味度が低い地点では疎らになる。

タスクによってユーザが興味を向ける地点を操作して行なった実験の結果、ALPS でユーザの見たい地点に集中するパノラマ画像配置を実現可能なことがわかった。

今後は ALPS のような適応的なインタフェースがユーザに与える影響も考慮しながらシステムを発展させていく予定である。

参考文献

- [1] E. Mac Aoidh and M. Bertolotto. Improving spatial data usability by capturing user interactions. In *The European Information Society: Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*, pp. 389–403, 2007.
- [2] E. Mac Aoidh, M. Bertolotto, and D. C. Wilson. Analysis of implicit interest indicators for spatial data. In *Proceedings of the 15th Annual ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems*, pp. 1–4, 2007.
- [3] Bing. Bing maps. <https://www.bing.com/maps>.
- [4] Bing. Streetside: Dynamic street-level imagery via bing maps. <https://www.microsoft.com/en-us/maps/streetside>.
- [5] Google. Google maps. <https://www.google.com/maps>.
- [6] Google. ストリートビュー - 絶景や世界の名所を見て回ろう. <https://www.google.co.jp/intl/ja/streetview/>.
- [7] S. Kolhatkar and R. Laganière. Real-time virtual viewpoint generation on the gpu for scene navigation. In *2010 Canadian Conference on Computer and Robot Vision*, pp. 55–62, May 2010.
- [8] J. Weakliam, M. Bertolotto, and D. C. Wilson. Implicit interaction profiling for recommending spatial content. In *Proceedings of the 13th annual ACM international workshop on Geographic information systems*, pp. 285–294, 2005.
- [9] Q. Zhao, L. Wan, W. Feng, J. Zhang, and T. Wong. Cube2video: Navigate between cubic panoramas in real-time. *IEEE Transactions on Multimedia*, Vol. 15, No. 8, pp. 1745–1754, Dec 2013.
- [10] 小林加織里, 北山大輔, 角谷和俊. オンライン地図におけるユーザ操作に基づくストリートビュー自動生成システム. In *DEIM Forum*, 2010.