

ウェブサイト最適化のためのバリエーション自動生成システム

Variation Generation System for Automated Website Optimization

飯塚 修平

Shuheii Iitsuka

松尾 豊

Yutaka Matsuo

東京大学工学系研究科技術経営戦略学専攻

Department of Technology Management for Innovation, The University of Tokyo

Website optimization is widely used to improve the performance of websites by comparison of user behavior related to different variation of the website in interest. Although a variety of studies have been conducted to make the process of website optimization efficient and effective, website variations to test have been manually generated by human creativity. An automated method to generate variations of the given website is needed to automate and scale out the process of website optimization. In this paper, we propose a method to generate website variations automatically when the control version is given by utilizing other websites' contents. We evaluate and discuss the possibility that we can automate the entire website optimization process in the future.

1. はじめに

近年、ウェブサイトのパフォーマンスを向上させる目的でウェブサイト最適化が広く用いられている。ウェブサイト最適化とは、ウェブサイト上でユーザをサンプルとする比較対象実験を行い、より望ましいユーザ行動を引き出すウェブサイトを構築する手法であり、A/B テストという名前でも親しまれている。最適化したいウェブサイトの一部を変更して複数のバリエーションを生成し、ウェブサイトを訪問したユーザを各バリエーションに振り分けたときの行動の違いを比較することで、最適なバリエーションを発見する。

ウェブサイト上の細かな違いがユーザの行動を大きく左右するため、ウェブサイト最適化がパフォーマンスに大きな影響を与えることが知られている。たとえば 2008 年のアメリカ合衆国大統領選挙では、バラック・オバマ氏が公式ウェブサイト支援者からの献金を募るためにウェブサイト最適化を活用した^{*1}。この実験では公式ウェブサイトのトップページで六種類の写真と四種類の Call-To-Action (CTA) ボタンからなる 24 種類のバリエーションをユーザにランダムに表示し、ユーザの登録率を最大化するバリエーションを探索した。CTA ボタンとは、ユーザにウェブサイトの目的となる行動を喚起するためのボタンである。この実験では、献金のためにメールアドレスを登録するボタンが CTA ボタンに相当し、“JOIN US NOW”、“LEARN MORE”、“SIGN UP NOW”、“SIGN UP”という異なるラベルがテストされた(図 1 参照)。ウェブサイトの写真と CTA ボタンに変更を加えただけだが、最も登録率が高いバリエーションをサイト全体に採用することで、約 6000 万ドルの献金を追加で獲得することに成功した。

ウェブサイト最適化に関する研究も盛んに行われているが、バリエーションの生成について研究したものは少なく、いまだ人間の創造によって行われている。バリエーションを自動で生成できるようになれば、人手では出せないような膨大なバリエーションの中から探索を行ったり、ウェブサイト内のひとつひとつのウェブページに対する最適解を発見したりできるよう

連絡先: 飯塚修平, 東京大学工学系研究科技術経営戦略学専攻, 東京都文京区本郷 7-3-1 工学部 2 号館 92C1 号室, 03-5841-7718, iitsuka@weblab.t.u-tokyo.ac.jp

*1 How Obama Raised \$60 Million by Running a Simple Experiment <http://blog.optimizely.com/2010/11/29/>



図 1: バラック・オバマ氏公式ウェブサイトとで実験に用いられた CTA ボタン

になる可能性がある。

そこで本研究では、ウェブサイトに記載されたテキスト情報に基づき、対象のウェブサイトのバリエーションを自動で生成する手法を提案する。ウェブサイトは画像やテキストなど様々な要素によって構成されているが、ここでは特にウェブサイトの目的となる行動をユーザから引き出す上で大きな影響を与えると考えられる CTA ボタンの生成に着目する。提案手法では、まずコーパスとなるウェブサイトから各ウェブページに含まれる単語と、CTA ボタンを抽出する。その後、各ウェブサイトを単語の集合として表現して特徴ベクトルを生成する。特徴ベクトル空間において、与えられたウェブサイトと近いウェブサイトに紐付けられた CTA ボタンを候補として出力する。

アンケート調査による評価実験の結果、無作為に CTA ボタンの候補を出力する比較手法に比べて、提案手法は有意に対象ウェブサイトに適した CTA ボタンの候補を出力することができることがわかった。今後この手法を発展させることで、CTA ボタン以外の要素の候補も生成できるようになる可能性がある。

2. 関連研究

ウェブサイト最適化は Amazon^{*2} や Bing^{*3} をはじめとする様々なウェブサイトでも成果を取っており、効率的な実験を行うための研究が盛んに行われている [Kohavi 14]。特にウェブサイト最適化を探索問題として定式することで、様々な探索手法を導入することが可能になる。ウェブサイトを要素の組み合わせ

*2 Amazon <http://www.amazon.com/>

*3 Bing <https://www.bing.com/>

せとして表現することで組合せ最適化問題として定式化した例 [Iitsuka 15] や、ウェブサイトをエージェント、バリエーションの表示を行動として捉えることで、強化学習問題として定式化した例 [飯塚 15] がある。強化学習問題の中でも特に多腕バンディット問題としての定式化は一般的であり、解法としてバンディットアルゴリズムが導入されることが多い [White 12]。ウェブサイトのバリエーションを評価する評価関数についても研究が進められており、より少ないサンプル数で統計的検定を行うための手法が提案されている [Deng 13]。このようにウェブサイト最適化は様々なウェブサイトで活用されており、最適なバリエーションの探索方法と評価関数の設計については研究が進められているものの、探索空間の生成、すなわちバリエーションの生成について研究したものは少ない。

CTA ボタンに用いる文言の生成は、自然言語生成に関する研究と関係が深い。自然言語生成技術は、人間との対話を行う対話システムや、画像から説明文を生成するキャプション問題に活用されている技術である。自然言語生成には、主に構造化された情報をテンプレートに流し込んで文章化するアプローチと、候補文から適したものを採り出すアプローチがある。たとえば、Farhadi らはキャプション問題を解く際に、 $(object, action, scene)$ の三項を満たすオブジェクトを抜き出し、テンプレートに流しこむことによって文章生成を行なっている [Farhadi 10]。Kulkarni らも、オブジェクトの関係をネットワーク構造で表した後にテンプレートに流しこむことで文章生成を行うアプローチを採用している [Kulkarni 13]。このように、構造化されたデータを表層文に変換することを Surface Realization と呼ぶ [Krishnamoorthy 13]。

一方で対話システムの研究では、候補文を用いることで文章生成を行うアプローチも用いられている。柴田らは、ウェブ上の文章を候補文コーパスの生成に用いることで、対話システムの返答に意味のある情報を含ませることに成功している [柴田 09]。候補文を用いた文章生成は、情報検索技術と密接な関係にある [清田 03]。レイアウトの都合上、CTA ボタンは一般に数文字程度の短いフレーズであることが多い。したがって、テンプレートを用いた Surface Realization によるアプローチよりも、候補文を検索して出力するアプローチの方が相性が良いと考えられる。そこで本提案手法ではテンプレートによる生成ではなく、ウェブ上から収集した候補文コーパスに基づく文章生成を行うことにする。

3. 提案手法

図 2 に提案手法の概要を示す。提案手法では、まずコーパスとなる n 個のウェブサイトの集合 W を用意し、そこから CTA ボタンのフレーズとその周辺にあるテキスト（コンテキストと呼ぶ）を抽出する。その後、コンテキストに形態素解析を適用して分かち書きを行うことで、各ウェブサイト $w \in W$ をコンテキストから抽出された単語（コンテキスト単語と呼ぶ）の集合 T_w と CTA ボタンのフレーズ y_w として表現する。ただし、単語集合には自立語のみを含むものとする。コーパスとなるウェブサイトすべてに同様の処理を施し、各単語の出現の有無を 0, 1 の二値で表して各ウェブサイトのコンテキストを m 次元のベクトル \mathbf{x}_w （コンテキストベクトルと呼ぶ）で表現する。ただし、 m はコーパスウェブサイトに含まれる全単語の数 $|\bigcup_{w \in W} T_w|$ を表すものとする。そして、コンテキストベクトルをすべてのウェブサイトについて合わせた n 行 m 列のウェブサイト-コンテキスト単語行列 X を生成する。

ウェブサイト-コンテキスト単語行列 X は各単語を次元とし

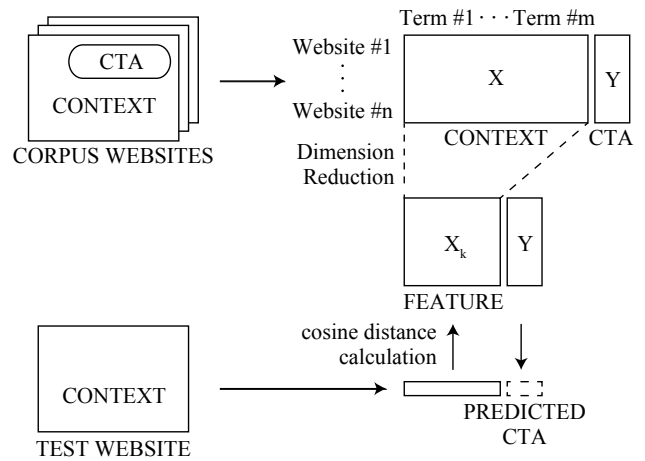


図 2: 提案手法の概観

たスパースな行列になるため、この後に続く類似度計算が困難になる。また、意味は近いが表層が異なる単語は出来る限り同一に扱うことが望ましい。そこで、ここではウェブサイト-コンテキスト単語行列 X に次元削減を施す。次元削減の手法にはニューラルネットワークを用いたものや行列分解を用いたものがあるが、ここでは行列分解手法のなかでも一般的な特異値分解を用いることにする。

特異値分解では、与えられた n 行 m 列の行列 M を $M = U\Sigma V^T$ なる三つの行列の積に変換する。ただし、行列 Σ の対角成分は行列 M の特異値を大きいものから並べたものになっているものとする。ウェブサイト-コンテキスト単語行列 X に特異値分解を施して得られる各行列 U, Σ, V の $k+1$ 列以降を削除して得られる行列 $U_{(k)}, \Sigma_{(k)}, V_{(k)}$ のうち、 n 行 k 列の行列 $X_{(k)} = U_{(k)}\Sigma_{(k)}$ が k 次元に次元削減後のウェブサイト-特徴行列となる。

最後に、CTA ボタンの候補を生成したいウェブサイト w_{test} から上記と同様の手法でコンテキストベクトル $\mathbf{x}_{w_{test}}$ を抽出する。特異値分解によって得られた行列を用いることで $\mathbf{x}_{(k)w_{test}} = V_{(k)}^T \mathbf{x}_{w_{test}}$ として次元削減を行い、ウェブサイト-特徴行列 $X_{(k)}$ の各行とのコサイン距離を計算する。そしてコサイン距離下位のウェブサイトに対応する CTA ボタンを候補として出力する。

4. 分析結果

ここでは、複数の異なるウェブサイトに対して提案手法を用いた分析を行い、ウェブサイトの種類に応じた CTA ボタン候補を出力できることを確かめる。今回は、株式会社 WACUL*4 が取り扱うウェブサイトのうち十分なデータが得られた数百サイトをコーパスとして利用した。株式会社 WACUL では人工知能技術を活用したウェブサイトのアクセス解析ツール「AI アナリスト*5」を提供しており、国内の多岐にわたるウェブサイトが本ツールを導入している。本ツールでは各ウェブサイトの運営者が、ウェブサイトの目的に相当するウェブページを登録しており、ユーザがそのウェブページを訪問すると成果として計測される仕組みになっている。たとえば、会員制のサービスを展開しているウェブサイトならば、会員登録が完了した際に表示されるウェブページが目的のウェブページであり、

*4 株式会社 WACUL <https://wacul.co.jp/>

*5 AI アナリスト <https://wacul-ai.com/>

ユーザが会員登録完了のウェブページを訪れた時点で成果として計測される。

本ツールを用いることで、ユーザが対象のウェブサイト内で訪問したウェブページの履歴を参照することもできる。したがって、目的となるウェブページの前にユーザが滞在していたウェブページをたどることによって、ユーザがクリックしたCTA ボタンを特定することができる。一般的にウェブページには複数のリンクが含まれており、その中からCTA ボタンに相当するリンクを特定することは簡単なタスクではないが、本ツールでは上記の方法によって可能になる。以上の理由から、今回の分析では本ツールを利用しているウェブサイトをコーパスとして利用した。

ウェブサイト-コンテキスト単語行列の生成にあたっては、対象のコーパスサイトに含まれるテキストを収集し、形態素解析器 Mecab^{*6}を用いた形態素解析を行った。自立語以外はストップワードとして除外した。また、ウェブサイトによってはCTA ボタンがナビゲーションバーやフッターに配置されており、同一のCTA ボタンを複数のウェブページが共有していることもある。ひとつのCTA ボタンに複数のウェブページが紐付いている場合には、それらのウェブページに含まれるテキストを繋げてひとつにしたものをコンテキストとして取り扱う。また、ひとつのウェブサイトが異なる複数の目的を持っている場合には、ウェブサイト-コンテキスト単語行列では異なる行として扱うことにする。以下では特徴数 $k = 30$ として分析を行う。

今回の分析では、ウェブ広告を出稿するツールの申し込みサイト (ウェブサイト A)、家事代行サービスの申し込みサイト (ウェブサイト B)、ペット用品に特化した E コマースサイト (ウェブサイト C) を分析対象のウェブサイトとした。出来る限り幅広い種類のウェブサイトを押さえるために、ウェブサービス、非ウェブサービス、形のある商品を扱ったサービスというように、お互いの性質の異なるウェブサイトを選択した。各ウェブサイト提案手法を適用して出力されたCTA ボタン候補上位五個を表1に示す。

ウェブサイト A で取り扱われているソフトウェアはウェブブラウザ上で無料で利用することができるウェブサービスであり、サービスを利用するためのアカウントの登録が主な目的である。「サインアップ」や「無料会員登録はこちら」、「無料登録はこちら」など、目的との親和性が高いCTA ボタンが候補として生成されている。

ウェブサイト B は家事代行サービスは家事代行サービスであり、お問い合わせや資料請求が主な目的となっている。「会員登録」や「ログイン」など、サービスの申し込みとは関係のないCTA 候補も生成されてしまっているが、それに続く候補として、「お問い合わせ」「資料請求」といった、ウェブサイトの目的に適ったCTA 候補を生成することができている。また「無料お試し体験」といった、訴求力が高いと考えられるCTA 候補の生成にも成功している。なお、ここでは特定のサービス名が特定できるCTA 候補は省略している。

ウェブサイト C はペットにまつわる商品に特化した E コマースサイトであり、ログインやアカウントの作成、さらにカートの閲覧が主な目的として設定されている。これまでのウェブサイトとは異なり「カート」や「オーダーフォーム」といった、購買行動に関する候補が並んでいる。このことから、提案手法が E コマースサイトという特性を捉えてCTA ボタンを出し分けることができていることが伺える。

5. 評価実験

提案手法によって生成されたCTA ボタン候補が、対象ウェブサイトに適していることをアンケート調査によって評価する。対象のウェブサイトに対応するCTA ボタン候補を出力し、そのCTA ボタンを埋め込んだスクリーンショットを作成する。その後、比較手法および提案手法によって生成されたスクリーンショットをアンケート被験者に見せ、抱いた印象を回答してもらう。本実験では、コーパスとなるウェブサイトからCTA ボタン候補を無作為に抽出する手法を比較手法とする。

今回の実験では、東京大学グローバル消費インテリジェンス寄附講座^{*7}のウェブサイトを対象としてCTA ボタン候補を生成した。講座に申し込むという目的が明確であり、構造がシンプルであるため、本ウェブサイトを採用した。提案手法および比較手法によって上位三つのCTA ボタン候補を生成し、合計六つのバリエーションを用意した。

アンケート調査では、クラウドソーシングを用いて300人の被験者を集め、三つの二択問題を各バリエーションに対して答えてもらった。被験者に尋ねた質問は「ボタンに書かれていることは、このウェブサイトに対して自然だと思いますか? (回答: 自然である/不自然である)」、「ボタンをクリックした後に、どのような情報が表示されるか予想できますか? (回答: 予想できる/予想できない)」、「もしあなたがこのウェブサイトの利用者だとしたら、ボタンをクリックしてみたいと思いますか? (回答: クリックしてみたいと思う/クリックしてみたいと思わない)」の三つである。

アンケート調査の結果を表2に示す。各手法によって生成された上位三つのCTA ボタン候補の合計値に着目すると、いずれの質問においても提案手法が比較手法に対して有意に多い肯定意見を獲得しており、対象のウェブサイトに適したCTA ボタン候補を生成することができることがわかった。

6. 考察

本提案手法はコーパスとなるウェブサイトからCTA ボタンによるラベル付けが行われたコンテキスト単語の集合として表現し、特徴空間におけるコサイン距離によって候補生成をするシンプルな手法である。分析の結果、ウェブサイトに含まれる単語に着目することで、ウェブサイトの種類に応じたCTA ボタン候補生成ができる可能性が示唆された。また、評価実験の結果、今回対象としたウェブサイトに対して適したCTA ボタン候補を出力できることがわかった。

本研究では株式会社 WACUL が提供するデータを用いることでCTA ボタンの特定を行った。しかし、ウェブサイト運営者が目的のウェブページを指定していない場合はCTA ボタンを特定できないため、今後コーパスとなるウェブサイトを増やしていくことが難しい。ウェブサイト運営者の明示的な情報提示に頼らず、ウェブサイトそのものからCTA ボタンを特定する手段として、ウェブブラウザによってレンダリングされたウェブページの視覚情報に対して画像認識を行う方法が考えられる。HTML コードに含まれる多数のリンクの中からCTA ボタンに相当するリンクを発見することは容易ではないが、CTA ボタンは視覚的には目立つように作られていることが多いため、画像のコントラストやサイズに着目することで認識精度が向上する可能性がある。

候補として出力されたCTA ボタンのラベル候補の中には、対象のウェブサイトとの関係は自然だが元来のCTA ボタンと

^{*7} 東京大学グローバル消費インテリジェンス寄附講座 <http://gci.t.u-tokyo.ac.jp/>

^{*6} Mecab <http://mecab.sourceforge.net/>

| ウェブサイト A | ウェブサイト B | ウェブサイト C |
|------------------------|-------------------|-------------------|
| お問い合わせ (0.083) | 会員登録 (無料) (0.103) | カート (0.092) |
| サインアップ (0.090) | ログイン (0.110) | お問い合わせ (0.118) |
| サービスに関するお問い合わせ (0.096) | お問い合わせ (0.114) | 新規登録・ログイン (0.118) |
| 無料会員登録はこちら (0.099) | 無料おためし体験 (0.116) | ログイン (0.126) |
| 無料登録はこちら (0.100) | 資料請求 (0.125) | オーダーフォーム (0.127) |

表 1: 提案手法によって生成されたウェブサイト A,B,C の CTA ボタン候補 (括弧内はコサイン距離)

| 手法 | CTA ボタン | 質問 1 | 質問 2 | 質問 3 |
|----------|------------|-------|-------|-------|
| 比較 手法 | オーダーフォーム | 38.7% | 34.7% | 17.7% |
| | お見送り | 21.0% | 46.7% | 15.0% |
| | お問い合わせ | 86.3% | 89.0% | 62.3% |
| | 平均 | 48.7% | 56.8% | 31.7% |
| 提案 手法 | 入学説明会の受付 | 85.0% | 89.3% | 67.0% |
| | お問合せはこちらから | 85.0% | 90.3% | 64.3% |
| | 購読お申込み | 63.7% | 70.0% | 36.0% |
| | 平均 | 77.9% | 83.2% | 55.8% |

表 2: 評価実験において生成された CTA ボタン候補と、獲得した肯定意見の割合 ($n = 300$)

意味するところが変わってしまっているものも見られた。たとえば、「レジに進む」も「会員登録」も E コマースサイトに設置される CTA ボタンとしては自然ではあるが、CTA ボタンのラベルが意味するところは異なる。提案手法の実用化に向けては、リンク元とリンク先のウェブページの内容を把握して CTA ボタンの意味を確認する機構が必要になると考えられる。

提案手法ではウェブページから抽出されるテキスト情報に着目したが、ウェブページは他にも CSS^{*8} で記述されたスタイル情報を持っている。スタイル情報に着目することで、レイアウトやフォントといったウェブサイトの見た目に関わる要素についても今後提案が可能になると考えられる。

7. まとめ

本研究では、ウェブサイト最適化におけるバリエーションの自動生成を取り上げ、特に CTA ボタンに着目して自動生成手法を提案した。提案手法は、ウェブページを CTA ボタンによってラベル付けされた単語の集合として表し、特徴空間におけるコサイン距離が小さいものを CTA ボタンの候補として生成するものである。いくつかのウェブサイトに対して提案手法を適用した結果、サイトの種類に応じた CTA ボタン候補を出力できる可能性が示唆された。また、アンケート調査を用いた評価実験の結果、提案手法によってウェブサイトに適した CTA ボタン候補を出力できることが示された。今後、ウェブページのテキスト情報のみならずスタイル情報にも着目することで、CTA ボタン以外の要素の候補出力も可能になると考えられる。

謝辞

本研究にあたり、大津裕史氏をはじめとする株式会社 WACUL の皆様から多大なるアドバイスをいただきました。また、実験を行うにあたり同社からデータを提供いただきました。深く感謝致します。

*8 CSS (Cascading Style Sheet) は HTML 要素の修飾を指定するための言語である。

参考文献

- [Deng 13] Deng, A., Xu, Y., Kohavi, R., and Walker, T.: Improving the sensitivity of online controlled experiments by utilizing pre-experiment data, in *Proceedings of the sixth ACM International Conference on Web Search and Data Mining*, pp. 123–132 (2013)
- [Farhadi 10] Farhadi, A., Hejrati, M., Sadeghi, M. A., Young, P., Rashtchian, C., Hockenmaier, J., and Forsyth, D.: Every picture tells a story: Generating sentences from images, in *Computer Vision–ECCV 2010*, pp. 15–29, Springer (2010)
- [Iitsuka 15] Iitsuka, S. and Matsuo, Y.: Website Optimization Problem and Its Solutions, in *Proceedings of the 21th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pp. 447–456 (2015)
- [Kohavi 14] Kohavi, R., Deng, A., Longbotham, R., and Xu, Y.: Seven rules of thumb for web site experimenters, in *Proceedings of the 20th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, pp. 1857–1866 (2014)
- [Krishnamoorthy 13] Krishnamoorthy, N., Malkar-nenkar, G., Mooney, R. J., Saenko, K., and Guadarrama, S.: Generating Natural-Language Video Descriptions Using Text-Mined Knowledge., in *AAAI*, Vol. 1, p. 2 (2013)
- [Kulkarni 13] Kulkarni, G., Premraj, V., Ordonez, V., Dhar, S., Li, S., Choi, Y., Berg, A. C., and Berg, T.: Babytalk: Understanding and generating simple image descriptions, *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, Vol. 35, No. 12, pp. 2891–2903 (2013)
- [White 12] White, J.: *Bandit Algorithms for Website Optimization*, O’Reilly (2012)
- [柴田 09] 柴田 雅博, 富浦 洋一, 西口 友美: 雑談自由対話を実現するための WWW 上の文書からの妥当な候補文選択手法, *人工知能学会論文誌*, Vol. 24, No. 6, pp. 507–519 (2009)
- [清田 03] 清田 陽司, 黒橋 禎夫, 木戸 冬子: 大規模テキスト知識ベースに基づく自動質問応答–ダイアログナビ–, *自然言語処理*, Vol. 10, No. 4, pp. 145–175 (2003)
- [飯塚 15] 飯塚 修平, 松尾 豊: 高速なウェブサイト最適化のための KPI 設計手法の提案, *人工知能学会全国大会論文集*, Vol. 29, pp. 1–4 (2015)