

氏 名 松井 正一

学位（専攻分野） 博士（情報学）

学位記番号 総研大甲第 1244 号

学位授与の日付 平成 21 年 3 月 24 日

学位授与の要件 複合科学研究科 情報学専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 遺伝的アルゴリズムを用いた階層メニューの最適化

論文審査委員	主 査 教授	山田 誠二
	教授	佐藤 健
	准教授	古山 宣洋
	准教授	相原 健郎
	客員教授	相澤 彰子

階層メニューは、GUI でコマンドを指定する目的でオフィスアプリケーション、携帯電話、Web アプリケーションなどの様々な分野で広く用いられている。階層メニューは機能が配置されたメニュー項目と下位のメニューを持つメニュー項目が複数配置された構造を持つ。階層メニューの性能としては様々なものが考えられるが、記憶のしやすさなどの使い勝手を考慮しつつ、目的とする機能にできるだけ早く到達できることが最も基本とされており、メニューの性能評価で一般的に用いられている。本論文も、この目的とするメニュー項目に辿り着くまでの平均時間を「平均到達時間」と呼び、それを階層メニューの性能とする。この性能は、メニューの構造、レイアウト、色などの多くの要因によって決まる。現在までに、ユーザインタフェース分野で多くの研究が行われ、様々なメニュー方式が提案されている。また、単一階層のメニューの最適化についてはいくつかの研究が行われてきたが、階層メニューの構造を変更することで、性能を向上する最適化問題としてとらえた研究はほとんどない。

単一階層のメニューの最適化に関しては、Liu らは視覚探索のモデルをメニュー設計に適用し、平均到達時間を最小化する設計を試みている。階層メニューに関しては、Amant らは利用頻度の高い項目を、メニュー階層の浅い位置に上げていくという単純な手法でも、30%程度の時間削減が可能であることを示している。これらの研究において最適化問題として扱われている設計問題は、単一階層のメニューのみであり、また階層メニューの設計問題では使い勝手を明示的に考慮していない。これに対して、本論文では、探索・意思決定時間とポインティング時間の双方を考慮し、かつ使い勝手を表す指標も目的関数に採り入れて、平均到達時間と使い勝手を表す指標の加重和を最小化する問題として定式化する。定式化では、ユーザが理想的な行動をした場合の平均到達時間を考える。すなわち、ユーザは目的の項目のあるサブメニューまで誤りなく辿り着くものとし、サブメニュー内の項目を誤りなく選択するものと仮定する。この仮定の下で、ユーザの利用頻度に従って、平均到達時間を最小化するメニューを設計する問題として定式化する。

メニュー項目への平均到達時間を最小化する階層メニューの最適化は、木構造のノードにメニュー項目を適切に配置する問題として定式化できる。メニューの設計問題は、機能に対応したノード毎に与えられる利用頻度分布の下で、平均到達時間を最小化する問題となる。ただし、使いやすさの観点からは、効率だけを考えた項目の配置は望ましくなく、項目の意味を考慮する必要がある。また、サブメニュー毎の項目数が大きく異なるメニューでは、メニューの粒度が異なるため、使い勝手を損ねると考えられる。この問題に対応するために、「機能の類似度」と「メニューの粒度」という二つの尺度を導入する。機能の類似度はメニュー項目間の機能の類似性を表現するものであり、二つのメニュー項目に対して類似度が最大の場合に 1、最小の場合に 0 をとる関数として定義する。この尺度を用いて、類似度の低い項目が同一ノードの子ノードとして配置されないようにする。メニューの粒度は、子ノードの持つサブメニューの数から決まる関数として定義する。これは、前述のようにサブメニューの数ができるだけ均一になるように配置するためのものである。

また、ポインティング時間は Fitts の法則に従うものとする。探索・意思決定時間は探索時間と意思決定時間からなり、(1)熟練者は項目の配置を記憶しており探索時間を 0 と仮定できることから、Hick-Hyman の法則によって意思決定時間をモデル化する。(2)初心者では、探索時間を無視できないことから、項目数に比例する時間がかかるモデルを採用する。

先行研究によれば、階層メニューでは 1 ノードあたりの項目数が少なく、最大レベルが大きなメニュー（深いメニュー）よりも、1 ノードあたりの項目数が多く、最大レベルが小さなメニュー（浅いメニュー）の方が、平均到達時間が短いと報告されている。そこで、提案方式では浅いメニューが生成されるような解法を用いる。

対象とする問題は、非常に複雑な組み合わせ最適化問題であり、整数計画法などの厳密解法では、解を求めるために項目数の階乗に比例する時間が必要であり、現実的な時間では解を求めることができない。そこで、良い近似解が短時間で求まる解法を検討した。提案する解法は、遺伝的アルゴリズムに基づくものである。提案方式では浅いメニューが生成されるように、ノードに項目を割り当てていく割り当て順序を求める方式を採用した。提案手法の探索性能を向上させるために、局所探索も組み入れた方式を提案した。

単一階層のメニューに対しては既存研究でその妥当性、近似精度が検証されているが、複数階層での検証は行われていないことから、モデル化の妥当性、近似精度を検証するために、PDA を用いた被験者実験を行った。19 個のメニュー項目からなる小規模なポップアップ型のメニューを PDA 上に表示し、10 名の被験者により平均到達時間を測定した。この結果、モデルによる平均到達時間の予測値 47% に対して、10 名の平均は 43% となり、提案するモデル化が十分な精度を持つことが確認できた。

本論文では、ユーザが理想的な行動をした場合を前提とすることから、被験者実験ではなく、コンピュータシミュレーションにより、提案手法の有効性を確認した。携帯電話のメニューを対象として、利用パターン、モデルで用いるパラメータを様々な値に設定した実験を行い、提案手法により時間を 40% 以上短縮できるメニュー構造を生成できることを確認した。また、Zipf 分布を用いて多様な利用パターンを生成し、多様な利用パターンに対しても、提案手法は平均探索時間を 40% から 60% 程度短縮できることを示し、利用パターンに対する頑強性を確認した。

以上により、本論文では、従来最適化問題として扱われてこなかった階層メニューの設計問題を、平均到達時間と使い勝手を表す指標の加重和を最小化する問題として新たに定式化し、遺伝的アルゴリズムを用いた新しい解法を提案し、モデルの精度を被験者実験で確認し、さらに多様な利用パターンに対して提案手法が有効であることを示した。

以上

階層メニューは GUI でコマンドを指定する目的で様々な分野で広く用いられており、将来的にも使われ続けるものである。この性能指標としては、目的とするメニュー項目に辿り着くまでの平均時間を用いることが一般的である。性能向上のために様々なメニュー方式が提案されている。本論文では、メニューの構造を変更することで性能を向上する最適設計問題としてとらえるアプローチをとる。

本論文では、従来最適化問題として扱われてこなかった階層メニューの設計問題を、探索・意思決定時間とポインティング時間の双方を考慮し、かつ使い勝手を表す指標も目的関数に採り入れて、平均到達時間と使い勝手を表す指標の加重和を最小化する問題として定式化する。さらに、この問題の解法を提案し、表示画面と入力方式が限定された携帯電話と PDA を対象に提案手法の有効性を示す。

本論文は、階層メニューの最適化問題の定式化と遺伝的アルゴリズムを用いた解法の提案、提案する定式化の近似精度の被験者による確認実験と提案手法の有効性の計算機シミュレーションによる検証を中心に 8 章から構成される。

第 1 章では、本論文が対象とする問題の背景とアプローチ、構成を示す。

第 2 章では、階層メニューの最適化に関する関連研究と本研究の位置付けを述べる。

第 3 章では、従来最適化問題として扱われてこなかった階層メニューの設計問題を、平均到達時間を最小化する最適化問題として定式化する。探索・意思決定時間とポインティング時間の双方に加え、使い勝手の制約を考慮して、平均到達時間を最小化する問題としてメニューの設計問題を定式化している。

第 4 章では、階層メニューの最適化手法を示す。対象とする最適化問題は、非常に複雑な組み合わせ最適化問題となることから、近似解を効率的に求めるための、遺伝的アルゴリズムを用いた解法を示す。

第 5 章では、定式化で採用したモデル化の妥当性、モデルの近似精度の検証結果を示す。単一階層のメニューに対しては既存研究でその妥当性、近似精度が検証されているが、複数階層での検証は行われていないことから、小規模なメニューを PDA に表示させて、平均到達時間を計測した、被験者実験により、妥当性、近似精度を検証した結果を示す。

第 6 章では、提案手法による平均到達時間の短縮効果の確認、すなわち提案手法の有効性の検証結果について述べる。本論文では、ユーザは目的とする項目を誤りなく選択することを前提とすることから、被験者実験ではなく、コンピュータシミュレーションにより、提案手法の有効性を確認した結果を示す。携帯電話端末を対象に、様々な利用パターンを想定したシミュレーション実験により、提案手法の有効性を検証した結果、多様な利用パターンで提案手法により平均到達時間を 40%~60%短縮可能であった。

第 7 章では、提案手法の有効性と適用可能領域について、適応干渉との関係、提案手法では明示的に考慮していないユーザのエラーモデルについて議論する。また、浅いメニューと深いメニューの関連について述べる。さらに、GA に基づく提案手法の性能を確認するためにシミュレーテッドアニーリングに基づく解法、交叉方式を変えた

GA に基づく解法と比較した。

第 8 章では、本論文の結論と展望を述べている。

本論文は、ユーザインタフェースの設計問題を最適化問題としてとらえる新しい枠組みを提案するものであり、その有効性も明確に示されている。また、提案手法は将来的にも実用性の高い手法だといえる。よって、本論文の提案手法は、現状において、あるいは、将来的にも実用性の高い優れた方法だといえる。また、本研究の成果は、学術論文 1 篇、査読付き国際会議での発表 3 件により公表されている。

以上の点をもって、本論文は、博士（情報学）の学位論文として十分な価値があるものと認められる。