

学位論文題名

User Interface Architecture with Abstract Interaction Description

(抽象インタラクション記述を用いた
ユーザ・インタフェース・アーキテクチャ)

学位論文内容の要旨

本論文では、ヒューマン・コンピュータ・インタラクション及びユーザ・インタフェース (UI) に関する課題を取り扱う。その内容は UI アーキテクチャに関するものと、自動 GUI 生成に関するものの二つで前半と後半とに分かれる。

前半の内容として、UI アーキテクチャ、インタフェース・クライアント/ロジック・サーバ (interface client/logic server: ICLS) を提案する。これは、後述する UI マイグレーションと適応 UI を実現するものである。ICLS の対象は、ウェブ・アプリケーションのようないくつかのウェブ・ページやダイアログ・ボックスをベースとしたインタラクティブ・サービスである。

テクノロジーの絶え間ない発展によって、多くの種類のプラットフォーム (デバイス) が生み出されてきており、それによって、ユーザの UI に対する新しい要求が生まれてきた。本論文では次の2点に着目する。1 点目は、状況に応じて、異なるデバイスやモダリティを用いてサービスを使いたいというものである。申請者は、デバイスによって提供される UI はユーザビリティの観点から、そのデバイスや、利用するサービスに特有なものであるべきであると考えており、それを適応 UI と呼んでいる。2 点目は、サービスの利用中にそのタスクを異なるデバイス (UI) に移動させたいというものである。一方の UI 上で行われた作業を再び繰り返すことなく、もう一方の UI に移動できなくてはならない。これは、UI マイグレーションと呼ばれている。

提案手法 ICLS はモデル・ベース UI アーキテクチャ (タスクやユーザなどのモデルに基づいて UI を生成する手法) の一つであり、UI の論理仕様記述が用いられる。ICLS では、ユーザが保持するインタフェース・クライアントをロジック・サーバへ接続することによって、クライアント側で動的にデバイス (クライアント) 特有の UI が論理仕様記述より生成される。ICLS が提供する UI マイグレーションはクライアント間において行われる。加えて、UI マイグレーションの拡張として、複数のデバイスを同時に使うことを可能とする同時利用 UI も提供される。

提案アーキテクチャでは、申請者が UI マイグレーションと適応 UI のために設計した XML 言語、抽象インタラクション記述言語 (abstract interaction description language: AIDL) が用いられる。AIDL によって書かれた論理仕様記述 (AIDL 文書) は特定のデバイスやモダリティから高度に抽象化されている。そのため、デバイス (インタフェース・クライアント) とサービス (ロジック・サーバ) を個別に独立して開発することが可能となる。UI マイグレーションを実装するために、AIDL は、UI の構造と合わせてその現在の状況も AIDL 文書として記述できるように設計されている。また、適

応 UI, 特にサービスに特有な UI を実装するために, AIDL は開発者に UI の意味 (役割) を機械可読な形式で定義できるように設計されている. この UI の意味は UI 要素のサービスにおける役割をサービス開発者からクライアントへ伝達する手段である. UI が動的にクライアント・サイドにおいてこの意味に基づいて生成されることによって, デバイスやサービスに特有の UI が提供され得る.

二つ目の内容として, ウィジェット (ボタンやチェック・ボックス, リスト・ボックスなど) の適応レイアウト (flexible widget layout: FWL) 問題に対する新しいアプローチを提案する. これは, FWL をファジィ制約充足問題 (FCSP) として定式化し, それに対する解法を提供するものである.

グラフィカル・ユーザ・インタフェース (GUI) の自動生成において, ウィジェットのレイアウトの最適化は最も重要な課題の一つである. 本論文では, ウィジェット・レイアウトという用語を, ウィジェットの位置とサイズをダイアログ・ボックス上で決定するプロセス, ならびにその結果に対して用いる. モデルに基づいた UI 設計の分野では, 論理仕様記述の要求を満たす UI 要素の中から最適なものを選択することも必要である. 関連研究において提案されている多くのシステムは, 論理仕様記述からレイアウト・プロセスを経て GUI を生成する. 論理仕様記述では, ウィジェットが指定される代わりに, 特定のデバイスやプラットフォームに依存しない, それらに共通の UI 機能が指定されている. これは UI の多様性を実現する上では有益だが, システムはレイアウトの前に, 指定された UI 機能に対応するウィジェットを選択する必要がある. このときウィジェットは一意に定まるものではなく, 多くの場合, いくつかの候補から最適なものを決定する必要がある.

本論文では, 与えられた論理仕様記述に基づいてどのようにウィジェットを決定するのか, そしてどのように特定の時間内にレイアウトを完了するのかを考慮した GUI の自動生成という課題を扱う. このウィジェット選択を伴うレイアウトを FWL と呼んでいる. また, 条件を満たすウィジェットを決定する問題を, FWL 問題と呼んでいる. FWL 問題は組合せ最適化であり, 解の探索は, ウィジェットをその候補から選び出す組合せの探索となる. 解を求める際に, システムは小さな画面向けにユーザビリティに劣りサイズの小さいウィジェットを選択することも, 大きな画面向けにユーザビリティに優れサイズの大きいウィジェットを選択することも出来る. この特徴はレイアウトの可能性を広げるが, ICLS のようにサービスを利用する時点で動的に GUI を生成しなくてはならない場合, 一定の (ユーザを待たせない) 時間内で終わらせなくてはならないという制約がある.

本研究では FWL をファジィ制約充足問題 (FCSP) として定式化する. FWL 問題の制約条件には物理的なもの以外にも, 望ましさや見やすさといったユーザビリティや感性など主観的な要素も含まれる. そのため, 全ての制約を満たす厳密解を求めることは困難である. そこで, そのような制約条件にファジィ性を導入することによって, 実用的な近似解の導出を目的とする. FCSP は現実世界における制約のあいまいさを扱うために従来の制約充足問題を拡張したものである. FCSP を用いることによって, ウィジェット選択の望ましさはファジィ制約として表現される. これによって, FCSP に対する既存の汎用的な手法を FWL に適用することを可能とした.

定式化に加え, 申請者はウィジェットの選択とダイアログ・ボックス内への配置を自動化する手法を提案している. 特に, レイアウトの過程を三つのフェーズに分け, FCSP の解を求めるアルゴリズムを適用することにより, 実用的な処理速度を実現した. 提案手法は AIDL 文書を入力として受け取り, それに対応した GUI ダイアログ・ボックスを生成するシステムとして実装される. 本手法は, 特定のドメインに依存することなく, 実際のアプリケーションにおいても応用可能である.

学位論文審査の要旨

| | | |
|----|-----|------|
| 主査 | 准教授 | 野中秀俊 |
| 副査 | 教授 | 宮腰政明 |
| 副査 | 教授 | 工藤峰一 |
| 副査 | 教授 | 栗原正仁 |

学位論文題名

User Interface Architecture with Abstract Interaction Description

(抽象インタラクション記述を用いた
ユーザ・インタフェース・アーキテクチャ)

本論文では、ヒューマン・コンピュータ・インタラクション及びユーザ・インタフェース (UI) に関する課題を取り扱っている。その内容は、UI アーキテクチャに関するものと、自動 GUI 生成に関するものである。

前半、特に第 2 章では、UI アーキテクチャ、インタフェース・クライアント/ロジック・サーバ (interface client/logic server: ICLS) を提案している。これは、UI マイグレーションと適応 UI を実現するものであり、その対象は、ウェブ・アプリケーションのようないくつかのウェブ・ページやダイアログ・ボックスをベースとしたインタラクティブ・サービスである。

近年の技術の発展に伴い、多様なプラットフォーム (デバイス) が開発されるようになり、ユーザの UI に対する新しい要求が生まれてきている。本論文では、以下の 2 点に着目している。1 点目は、状況に応じて、異なるデバイスやモダリティを用いてサービスを利用したいという要求である。論文中で著者は、デバイスによって提供される UI はユーザビリティの観点から、そのデバイスや、利用するサービスに特有なものであるべきであるという主張をしており、それを適応 UI と呼んでいる。2 点目は、サービスの利用中にそのタスクを異なるデバイス (UI) に移動させたいという要求である。一方の UI 上で行われた作業を再び繰り返すことなく、もう一方の UI に移動できる仕組みに対応し、一般に UI マイグレーションと呼ばれるものである。

提案手法である ICLS は、モデル・ベース UI アーキテクチャの一つであり、UI の論理仕様記述を用いている。ICLS では、ユーザが保持するインタフェース・クライアントをロジック・サーバへ接続することによって、クライアント側で動的にデバイス (クライアント) 特有の UI が論理仕様記述により生成される。ICLS が提供する UI マイグレーションはクライアント間において行われる。加えて、UI マイグレーションの拡張として、複数のデバイスを同時に使うことも可能となっている。提案アーキテクチャでは、著者自身が UI マイグレーションと適応 UI のために設計した XML 言語、抽象インタラクション記述言語 (abstract interaction description language: AIDL) が用いられている。AIDL によって記述された論理仕様記述 (AIDL 文書) は特定のデバイスやモダリティから高

度に抽象化されている。そのため、デバイス (インタフェース・クライアント) とサービス (ロジック・サーバ) を個別に独立して開発することが可能となる。UI マイグレーションを実装するために、AIDL は、UI の構造とあわせてその現在の状況も AIDL 文書として記述できるように設計されている。また、適応 UI、特にサービスに特有な UI を実装するために、AIDL は開発者に UI の意味を機械可読な形式で定義できるように設計されている。この UI の意味は UI 要素のサービスにおける役割をサービス開発者からクライアントへ伝達する手段である。UI が動的にクライアント・サイドにおいてこの意味に基づいて生成されることによって、デバイスやサービスに特有の UI が提供され得る。

後半、特に第 3 章では、ウィジェット (ボタンやチェック・ボックス、リスト・ボックスなど) の適応レイアウト (flexible widget layout: FWL) 問題に対する新しいアプローチを提案している。論理仕様記述では、ウィジェットそのものは指定せず、特定のデバイスやプラットフォームに依存しない共通の UI 機能が指定されている。これは UI の多様性を実現する上で有益だが、指定された UI 機能に対応するウィジェットは一意に定まらず、多くの場合いくつかの候補から最適なものを決定する必要がある。これに対し、本論文では FWL 問題をファジィ制約充足問題として定式化し、ウィジェットの選択とダイアログ・ボックス内への配置を自動化を実現している。特に、レイアウトの過程を三つのフェーズに分け、FCSP の解を求めるアルゴリズムを適用することにより、実用的な処理速度を実現している。提案手法は AIDL 文書を入力とし、それに対応した GUI ダイアログ・ボックスを生成するシステムとして実装されているが、特定のドメインに依存しないので、多様なアプリケーションに応用可能である。

以上の研究成果の評価すべき点は次のようにまとめられる。

1. ICLS という UI アーキテクチャを提案し、UI マイグレーションと適応 UI を実現している点に新規性が認められる。
2. 従来の GUI における適応レイアウトの手法では、ウィジェットの選択は設計者によって行われていたのに対し、本研究はその自動化を実現させたことに新規性が認められる。そのことによって組合せ最適化問題としての複雑さが増加しているが、これに対し、ユーザの主観という要素も考慮しながら、ファジィ制約充足問題として定式化し、実用的な処理速度を得ていることに有用性が認められる。

これを要するに、著者は UI アーキテクチャと自動 GUI 生成について新知見を得たものであり、コンピュータサイエンスに対して貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (情報科学) の学位を授与される資格あるものと認める。