

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 4 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560550

研究課題名(和文)多機能携帯情報端末に対応した制御系CADシステムの開発

研究課題名(英文)Development of CAD for Control Systems Supporting Smart Devices

研究代表者

古賀 雅伸(KOGA, MASANOBU)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授

研究者番号：90251644

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、多機能携帯情報端末であるAndroid端末で利用可能な数値計算ライブラリと数値計算エンジンを開発し、それらを基に制御系のモデリング・シミュレーションツールを開発した。また、マルチタッチ操作やジェスチャー等を活用した直感的な入力を可能とすることでツールの操作性を向上させる方法を提案した。さらに、端末に標準で搭載されている加速度センサーやジャイロスコープ等のセンサーを活用することで、ツールの利用満足度を向上させた。

研究成果の概要(英文)：This research developed a cad for control systems, which is available in android terminals, as well as a library for numerical computing and a numerical computing engine. We proposed a method to improve the usability of the tools on android terminals by using multi-touch operation and gesture operation. We improved the user experience of the tools by utilizing the sensors, such as acceleration sensor and gyroscope with which the standard android terminals are equipped.

研究分野：制御工学

キーワード：制御工学 制御系CAD 数値計算 携帯情報端末

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 申請者は、制御系の解析、設計、シミュレーション、およびリアルタイム制御を効率的に行なえる科学技術計算ソフトウェア(MaTX)を開発し、6軸ロボットアームや非ホロノミック拘束を受ける複雑なシステムの制御に適用し、その有効性を実証してきた。本ソフトウェアはフリーソフトウェアであり、国内外の多くの教育機関、公的機関、企業で教育・研究に利用されている。実用的な規模の制御システムを計算機上で扱うには、使いやすいユーザインターフェースを備えたSimulinkのようなツールが必須である。しかしながら、商用製品は高額であり、ツールを必要とする全ての教育機関が導入できるわけではない。申請者は、ブロック線図に基づく制御系モデリング・シミュレーションツール(Jamox)を開発し、フリーソフトウェアとして配布しており、本ツールを講義や演習で利用する大学等が増加しつつある。

(2) 近年、スマートフォン端末やタブレット端末等の多機能携帯情報端末が登場し、小型軽量でタッチによる直感的な操作が可能であるため、急速に普及しつつある。多機能携帯情報端末の性能は劇的に向上しつつあり、PC端末の置き換えとして使用され始めている。すでに、多くのソフトウェアが利用可能であるが、端末の処理性能の制約により、数値計算を目的とするものとしては、簡単な電卓程度のものしかない。今後、端末の性能が向上し、複雑な数値計算が実用的な時間で処理可能となると予想される。しかし、既存の数値計算ライブラリの多くはFortran言語やC言語で作成されており、多機能携帯情報端末で使用することはできない。申請者のグループが開発した基盤数値計算ライブラリ(NFC)はJava言語で作成されているため、多機能携帯情報端末(Android端末)へ移植可能である。

(3) 制御系開発に計算機を利用するには、制御対象のモデルを計算機上に作成する必要があり、システムが複雑な場合は、ブロック線図を用いる方法が一般的である。申請者のグループが開発した制御系モデリング・シミュレーションツール(Jamox)は、Java言語で作成されているので、ソフトウェアの大部分はAndroid端末へ移植可能である。そして、マルチタッチ操作や端末に搭載されているセンサーを活用することで、操作性や利用満足度を向上させた制御系CADシステムを構築することができる。

## 2. 研究の目的

(1) 携帯情報端末で利用可能な数値計算ライブラリと数値計算エンジンを開発し、それを基に制御系のモデリング・シミュレーションツールを開発する。

(2) ユーザエクスペリエンス(利用満足度)の高い携帯情報端末で利用可能な制御系のモデリング・シミュレーションツールを開発する。

## 3. 研究の方法

(1) 携帯情報端末で利用可能な数値計算ライブラリと数値計算エンジン、それを基に制御系のモデリング・シミュレーションツールを以下のように開発する。

申請者のグループが開発したPC端末で動作するJavaによる基盤数値計算ライブラリ(NFC)を多機能携帯情報端末(Android端末)へ移植する。端末のメモリサイズが不足する場合、ライブラリを分割し、必要最小限のクラスを携帯情報端末へ移植する。NFCには汎用的な数値を表すNumericalScalarクラスや汎用的な数値行列を表すNumericalMatrixクラス等が定義されており、これらのクラスを用いて制御系開発における数値計算で必要となる複素数や行列等のクラスを定義することができる。

基盤数値計算ライブラリ(NFC)に含まれる常微分方程式や代数方程式を解くためのソルバーを多機能携帯情報端末(Android端末)へ移植し、シミュレーション計算を実行するためのソルバーを開発する。また、システムの分類に対応するJavaインターフェースを定義し、それらを組み合わせることで、複数の性質を持つシステムを定義する。そして、具体的で基本的なシステムを表すクラスやユーザが独自システムを定義するための雛形を抽象クラスとして定義する。

申請者のグループが開発したPC端末で動作するJavaによる数値計算エンジン(matj)を多機能携帯情報端末(Android端末)へ移植する。この数値計算エンジンを用いることで、MaTX言語で記述された制御系の解析や設計のための多くの関数資産を携帯情報端末で利用することが可能となる。

Android OSのGUI作成機能を用いてモデリング・シミュレーションツールのGUIを開発する。このとき、申請者のグループが開発したPC端末で動作するJavaによるモデリング・シミュレーションツールのGUIとの共通化を検討する。

開発したツールのプロトタイプを公開・配布し、得られる評価や提案等のフィードバックに基づいてツールの問題解決や機能拡張等の改善を行う。

(2) ユーザエクスペリエンス(利用満足度)の高い携帯情報端末で利用可能な制御系のモデリング・シミュレーションツールを以下のように開発する。

多機能携帯情報端末のユーザインターフェースの特徴であるマルチタッチ操作(複数のポイントに同時に触れての操作)とジェスチャーを活用し、対象の移動、回転、ズームなどの動きを直感的に入力することができるようにし、操作性を向上させる。

加速度センサーやジャイロ스코ープ等の多機能携帯情報端末に搭載されたセンサーを活用することで、制御系CADシステムを楽しく、面白く、心地よく使用できるようにし、ユーザエクスペリエンス(利用満足度)を向上させる。

携帯情報端末のディスプレイの面積は狭いため、標準で提供されるソフトウェアキーボードでは限定されたキーしか利用できず、キーボードを切り替えながら数式等を入力することになる。数値計算に特化したオリジナルのソフトウェアキーボードを開発する。

携帯情報端末では、マウスやカーソルキーが利用できないため、数値の入力や変更に時間を要することが多い。数値を効率的に入力変更できる数値入力専用のユーザインターフェースを開発する。

開発したツールのプロトタイプを公開・配布し、得られる評価や提案等のフィードバックに基づいてツールの問題解決や機能拡張等の改善を行う。

#### 4. 研究成果

(1) 携帯情報端末で利用可能な数値計算ライブラリと数値計算エンジン、それを基にした制御系のモデリング・シミュレーションツールを開発した。

申請者のグループが開発したPC端末で動作するJavaによる基盤数値計算ライブラリ(NFC)を多機能携帯情報端末(Android端末)へ移植した。NFCには汎用的な数値を表すNumericalScalarクラスや汎用的な数値行列を表すNumericalMatrixクラス等が定義されており、これらのクラスを用いて制御系開発における数値計算で必要となる複素数や行列等のクラスを定義できるようになった。

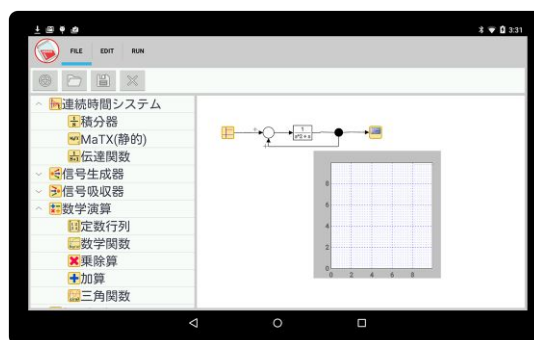
基盤数値計算ライブラリ(NFC)に含まれる常微分方程式や代数方程式を解くためのソルバーを多機能携帯情報端末(Android端末)へ移植し、シミュレーション計算を実行するためのソルバーを開発した。また、システムの種類に対応するJavaイン

ターフェースを定義し、それらを組み合わせることで、複数の性質を持つシステムを定義した。そして、具体的で基本的なシステムを表すクラスやユーザが独自システムを定義するための雛形を抽象クラスとして定義した。

申請者のグループが開発したPC端末で動作するJavaによる数値計算エンジン(matj)を多機能携帯情報端末(Android端末)へ移植した。この数値計算エンジンを用いることで、MATX言語で記述された制御系の解析や設計のための多くの関数資産を携帯情報端末で利用することが可能となった。数値計算エンジンを利用するためのインタープリタMaTX Mobileを実行している様子を以下の図に示す。



Android OSのGUI作成機能を用いてモデリング・シミュレーションツールのGUIを開発した。このとき、申請者のグループが開発したPC端末で動作するJavaによるモデリング・シミュレーションツールのGUIとの共通化を実施した。開発したツールを実行している様子を以下の図に示す。



MatlabやScilabのようにPC端末で利用できる制御系開発を支援するソフトウェアは多くあるが、多機能携帯情報端末で利用できるブロック線図を扱える制御系のモデリング・シミュレーションツールは、初めて開発されたことになる。

倒立振り子やロボットアーム等のメカニカルシステムのシミュレーション結果を可視化する携帯情報端末で利用可能な3Dアニメ

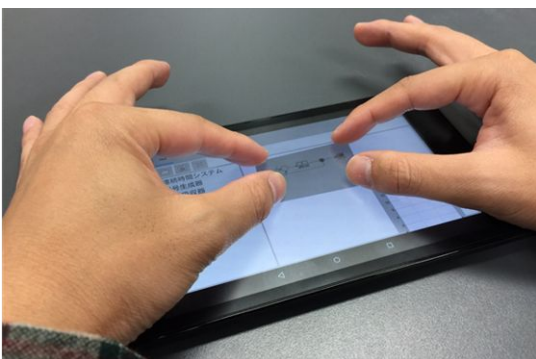
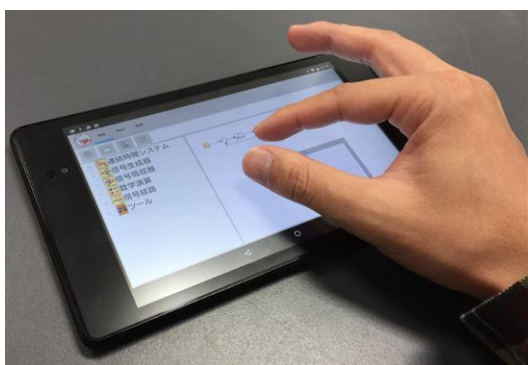
ーションツールを開発した。開発したツールを使用している様子を以下の図に示す。



本研究で開発したツールについては、既にインターネットを介して公開・配布されているが、ドキュメントを整備し、ホームページ等で情報提供を進めていく。今後、モデリング・シミュレーションツールで扱えるシステムの種類や関数を増やし、機能を強化していく予定である。

(2) ユーザエクスペリエンス (利用満足度) の高い携帯情報端末で利用可能な制御系のモデリング・シミュレーションツールを開発した。

多機能携帯情報端末のユーザインターフェースの特徴であるマルチタッチ操作 (複数のポイントに同時に触れての操作) とジェスチャーを活用し、対象の移動、回転、ズームなどの動きを直感的に入力することができるようにし、操作性を向上させた。マルチタッチ操作によりブロック線図を操作している様子を以下の図に示す。



数値計算エンジンを使用するインタプリタについては、専用パッド上で (上下になぞる、左右になぞる) ジェスチャーを行うことで、コマンド履歴を閲覧したり文字サイズを拡大縮小したりできるようにした。また、モデリング・シミュレーションツールについては、ブロック線図の編集キャンバス上で複数のブロックをなぞることで、それらのブロックを接続できる。

加速度センサーやジャイロ스코ープ等の多機能携帯情報端末に搭載されたセンサーを活用することで、制御系 CAD システムを楽しく、面白く、心地よく使用できるようにし、ユーザエクスペリエンス (利用満足度) を向上させた。

モデリング・シミュレーションツールについては、複数のブロックが選択された状態で、加速度センサーでシェイク操作が認識されると、選択されたブロックを水平整列できるようにした。

シミュレーション結果の 3D アニメーションによる可視化ツールについては、ジャイロスコープで端末の傾きが検出されると、傾きの角度に応じて対象物を回転して表示できるようにした。これにより、端末を傾げるだけで、対象物の裏側等の見えない部分を見ることができる。

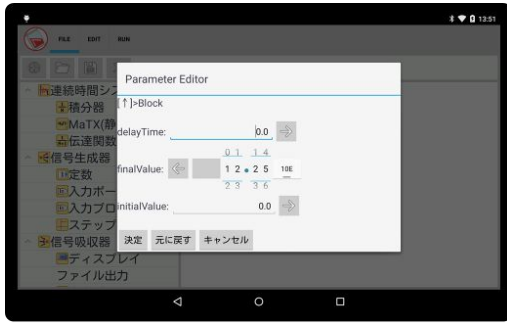
なお、加速度センサーにより端末の方向 (縦横) が検出され、端末の向きに応じて自動的に利用しやすいレイアウトで表示される。

数値計算に特化したオリジナルのソフトウェアキーボードを開発した。汎用レイアウトに加え、記号入力用レイアウト、テンキー用レイアウトがある。汎用レイアウトのソフトウェアキーボードを以下の図に示す。



汎用レイアウトを利用することで、キーボードを切り替える異なる効率的に数式等を入力できる。また、特殊な記号を入力したり、数値を連続して入力したりする際は、専用のレイアウトを利用することでより効率的に入力できる。

数値を効率的に入力変更できる数値入力専用のユーザインターフェースを開発した。開発したインターフェースを使用している様子を以下の図に示す。



変更したい数値の桁を上下になぞることで数値を変更することができ、左右になぞることで表示桁数を変更することができる。

オープンな技術を用いてシステムを開発したので、非常に多くの多機能携帯情報端末で使用可能である。また、開発されたシステムはフリーソフトウェアとして配布され、誰でも自由に利用できるため、専門教育の底上げを図ることができる。また、研究者間での情報の共有が促進されると期待される。

本研究で開発したツールについては、既にインターネットを介して公開・配布されているが、できるだけ多くの人にユーザエクスペリエンスの測定に協力していただき、得られる評価に基づいて改善を行う予定である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

##### [雑誌論文](計2件)

古賀雅伸、江角貴宏、矢野健太郎、結合線形システムのディスクリプタ表現および状態空間表現による数式モデルの導出、計測自動制御学会論文集、査読有、49巻、2013、1147 - 1153

DOI: 10.9746/sicetr.49.1147

水岡研二、古賀雅伸、UMLと補足ドキュメントによる生産実行システムにおけるMDA開発、日本機械学会論文集(C編)、79巻、2013、2174 - 2189

DOI: 10.1299/kikaic.79.2174

##### [学会発表](計38件)

津村祐司、古賀雅伸、川端悠一郎、矢野健太郎、タブレット端末に対応した制御系モデリング・シミュレーションツール、第2回制御部門マルチシンポジウム、2015年3月6日、東京電機大学(東京)川端悠一郎、古賀雅伸、津村祐司、矢野健太郎、タブレットとスマートウォッチに対応した数値計算ツールを用いた制御工学教育支援、情報処理学会コンピュータと教育研究会第128回研究発表会、2015年2月14日、大阪学院大学(大阪)井手敬也、古賀雅伸、矢野健太郎、Jamoxを用いたBall&Beamによる制御系のモ

デルベース開発手法の教育、第32回SICE九州支部学術講演会、2013年11月30日、長崎大学(長崎)

長郷俊輔、古賀雅伸、クラウドによる制御系のモデリング・シミュレーションツールのためのデータサーバ、第55回自動制御連合講演会、2012年11月18日、京都大学(京都)

Kentaro Yano、Masanobu Koga、Validated Region Pole Assignment Method Based on Verified Numerical Computation、SICE 2012 Annual Conference、2012年8月22日、秋田大学(秋田)

[図書](計0件)

[産業財産権]  
出願状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]  
ホームページ等  
<http://jamox.mklab.org/>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

古賀 雅伸 (KOGA MASANOBU)  
九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授

研究者番号：90251644