

平成29年度 共同利用研究報告書

平成30年1月31日

九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所長 殿

所属・職名 (株)エス・イー・エー創研 船舶設計システム開発チーム・主任

提案者 (ふりがな) 氏名 やまぐち 山口 だいすけ 大介

下記の通り共同研究の報告をいたします。 記

		※整理番号	20170011	
1.研究計画題目	三次元幾何モデリング評価手法の提案とソフトウェア開発			
2.種別 (○で囲む)	a. 研究集会 I	b. 研究集会 II	c.短期共同研究	d.短期研究員
3.研究代表者	<small>(ふりがな)</small> 氏名	<small>やまぐち</small> 山口 <small>だいすけ</small> 大介		
	所 属	株式会社エス・イー・エー創研		職 名
	部局名	船舶設計システム開発チーム		主任
	連絡先			
	e-mail		TEL	
4.研究実施期間	平成29年9月4日(月曜日)～平成29年9月8日(金曜日)			

5.参加者数・参加者リスト (*別紙「共同利用研究報告書作成上の注意」参照)

(a,b は参加者数のみ記入し, 集会参加者リストを添付. c.の非公開プログラム参加者と d.は参加者リストに記入. c.は公開プログラムを含めた全参加者数を記入し, 公開プログラム参加者リストを添付.)

参加者数: 17 人

参加者リスト (a,b は記入不要, c.は非公開プログラム参加者, d.は共同研究参加者を記入)

<small>(ふりがな)</small> 氏名	所属	職名	<small>(ふりがな)</small> 氏名	所属	職名
<small>やまぐちだいすけ</small> 山口 大介	(株) エス・イー・エー創研	主任	<small>ひらかわあきら</small> 平河 堯	九州大学	学生
<small>みぞぐちよしひろ</small> 溝口 佳寛	九州大学	教授	<small>まつふじ</small> 松藤 ちひろ	九州大学	学生
<small>はまたひろやす</small> 濱田 裕康	佐世保工業高等専門学校	講師	Sahan Bandara	九州大学	学生
<small>たなかかずあき</small> 田中 和明	九州工業大学	准教授	Miyaki Nozomu	九州大学	学生
<small>まつたにしげき</small> 松谷 茂樹	佐世保工業高等専門学校	教授	<small>いまむらしやうた</small> 今村 彰太	九州工業大学	学生
<small>まつだあきひで</small> 松田 明秀	(株) アメリオ	専任研究員	<small>おにつかようすけ</small> 鬼塚 洋輔	佐世保工業高等専門学校	学生
<small>かじしずお</small> 鍛冶 静雄	山口大学	准教授			

6.本研究で得られた成果の概要

本研究期間中に PolyArc Fitter と呼ばれる最小二乗法を活用した剛板の円弧と直線による高効率の切断方法を提案し, ソフトウェアとしての実装と評価を行った. 開発されたソフトウェアは, 本研究期間終了後に実際の造船所で鋼板を切断するためにすでに活用されている. 本研究を行うことにより, 産業ソフトウェアの開発の一端を担うことができたと考えている. 今後, 周辺研究を進めるとともに, 総括的な幾何処理について研究を行い, 三次元幾何演算を中心とする Open CASCADE Technology だけに留まらず, 画像認識・機械学習ライブラリである Open CV, スマートフォンやタブレット PC などにも広く普及した WWW ブラウザ上で高度な三次元表現が可能な WebGL を活用し, より産業分野でソフトウェアを利用するユーザに近い成果物を構築していきたいと考えている.

九州大学 IMI 短期共同研究報告

「三次元幾何モデリング評価手法の提案とソフトウェア開発」

山口 大介^{*1}, 濱田 裕康², 田中 和明³, 松谷 茂樹², 松岡 和彦⁴, and 溝口 佳寛⁵

¹(株) エス・イー・エー創研・船舶設計システム開発チーム

² 佐世保工業高等専門学校

³ 九州工業大学・大学院情報工学研究院

⁴ 長崎総合科学大学・大学院工学研究科

⁵ 九州大学・マス・フォア・インダストリ研究所

2018年1月31日

概要

本短期共同研究は、前年度短期共同研究「三次元幾何モデリング評価手法の提案とソフトウェア開発」に引き続き、二次元・三次元の幾何形状を含む CAD 図面および三次元モデルのモデリング手法に対する数学的な評価手法を提案するとともに、画像認識、機械学習、インターネットを用いた表現技術といった二次元・三次元分野での技術に枠を広げ、産業界における三次元情報による設計・計測・データ処理・クラウドコンピューティングといった分野で総合的な技術活用に結びつけることができる基本数学ソフトウェアライブラリの構築を目的とする。また、前年度に始まった計算機資源の共有、学術研究交流機会などの拠点形成については 3D CAD ユーザフォーラム参加の国内・海外開発者、および、幾何理論・幾何計算に関わる研究者等を広げて行くことを本年度の目的とする。

キーワード: 三次元幾何計算, 三次元計測, 機械学習, クラウドコンピューティング

1 はじめに

本研究によって開発を行うソフトウェアは、前年度短期共同研究に引き続き、オープンソースソフトウェアの三次元幾何演算ライブラリ Open CASCADE Technology を使用する。申請者および申請者が所属する株式会社エス・イー・エー創研では、世界中で多岐の分野に渡って利用されている本ライブラリを用い、産業ソフトウェアの開発を行い、重工業、特に造船分野における活用を進めている。前年度研究に加え、平成 28 年度短期共同研究「複数画像間のパターンマッチによる土木測量技術の開発」の代表者である九州工業大学田中和明准教授とともに、総括的な幾何処理について研究を行い、三次元幾何演算を中心とする Open CASCADE Technology だけに留まらず、画像認識・機械学習ライブラリである Open CV、スマートフォンやタブレット PC などにも広く普及した WWW ブラウザ上で高度な三次元表現が可能な WebGL を活用し、より産業分野でソフトウェアを利用するユーザに近い成果物を構築していく。

* dyamaguchi@sea-soken.co.jp

2 詳細スケジュール

日時: 2017年9月4日(月)～8日(金)

場所: 九州大学 産学官連携イノベーションプラザ 3F 研究室2

2017年9月4日(月) [公開プログラム]

- 15:00 ～ 15:05 溝口 佳寛 (九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所)
開会挨拶
- 15:05 ～ 15:35 松田 明秀 (株式会社アメリオ)
熟練工やスーパードクターの不足を補うコンピュータシステムの事例紹介
- 15:35 ～ 16:05 松岡 和彦 (長崎総合科学大学 大学院工学研究科)
船舶のぎょう鉄作業 (外板曲面形状の作製) の IT 化
- 16:05 ～ 16:35 田中 和明 (九州工業大学 大学院情報工学研究院)
組込みスクリプト言語 mruby
- 16:35 ～ 17:05 山口 大介 (株式会社 エス・イー・エー創研 船舶設計システム開発チーム)
mruby を用いた造船向け自動作画支援システムの開発
- 17:10 解散

2017年9月5日(火) [非公開プログラム]

[Part 1] 座長 濱田 裕康 (佐世保工業高等専門学校)

- 10:00 ～ 10:15 鬼塚 洋輔 (佐世保工業高等専門学校 専攻科2年)
移動最小二乗法の初等的考察
- 10:20 ～ 10:35 松藤 ちひろ (九州大学 大学院数理学府修士1年)
Mathematica によるスキニングの実装
- 10:40 ～ 10:55 今村 彰太 (九州工業大学 大学院情報工学府修士2年)
三角形マーカーによるカメラキャリブレーションの簡易化
- 11:00 ～ 12:00 鍛冶 静雄 (山口大学 大学院創成科学研究科)
画像関係の機械学習 Hands-on
- 12:00 ～ 13:00 昼食

[Part 2] 座長 山口 大介 (株式会社 エス・イー・エー創研 船舶設計システム開発チーム)

- 13:00 ～ 14:00 課題1 「3角形メッシュ化されたモデルからのプリミティブ生成」
- 14:00 ～ 15:00 課題2 「Trieste の具体的な動作, ボトルネックとなる部分の評価」
- 15:00 ～ 17:00 Hands-on (Open CASCADE / C++)
- 17:00 解散

2017年9月6日(水) [非公開プログラム]

[Part 1] 座長 山口 大介 (株式会社 エス・イー・エー創研 船舶設計システム開発チーム)

10:00 ~ 12:00 課題 1-1 データ操作関数の理解

12:00 ~ 13:00 昼食

13:00 ~ 15:00 課題 1-2 サンプルデータ処理

[Part 2] 座長 溝口 佳寛 (九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所)

15:00 ~ 16:00 九州大学 IMI における iPhone アプリ開発環境開発

16:00 ~ 17:00 Hands-on iPhone アプリ開発環境構築

17:00 解散

2017年9月7日(木) [非公開プログラム]

[Part 1] 座長 山口 大介 (株式会社 エス・イー・エー創研 船舶設計システム開発チーム)

10:00 ~ 12:00 課題 1-3 ビッグデータ処理

12:00 ~ 13:00 昼食

13:00 ~ 15:00 課題 1-4 深層学習による最適化

[Part 2] 座長 鍛冶 静雄 (山口大学 大学院創成科学研究科)

15:00 ~ 17:00 Hands-on iPhone アプリ開発

17:00 解散

2017年9月8日(金) [非公開プログラム]

10:00 ~ 12:00 総合報告会

(山口 大介, 溝口 佳寛, 松谷 茂樹, 濱田 裕康, 鍛冶 静雄, 山口 和明)

12:00 解散

3 熟練工やスーパードクターの不足を補うコンピュータシステムの事例紹介

これまで関わって来た製造業関係, ロボット関係, 医療関係の三種類の事例を紹介する.

まず製造業関係について述べる. 既存の CAD では困難な機能の実現の実装に力を入れて来た. 形状作成や編集において, 意図した結果をもたらす形状を導くことや形状から意図した結果がもたらされるかを調べる

など、各社の要望に応じて多数実現してきた。CAD システムでは、自動車メーカなどの三次元自由曲面曲線 CAD システムの開発、履歴型パラメトリックシステムに強化、Parasolid を用いてフルトポロジーシステムに強化などが挙げられる。ワイヤーハーネスでは、重力によるたわみを考慮し、リアルタイムに形状変形するシステムの構築を行った。

次にロボット関係についてである。三次元スキャナーでワーク形状を演算装置に取り込み、パソコン上で簡単にロボットのティーチングデータを作成できるといった産業用ロボットに「目と頭脳」というものである。スキャナーで形状を読み取り、溶接する場所を見つける溶接場所の検地、ファクトリーオートメーション向けの三次元形状ロボット運行制御などを行った。

最後に医療関係について述べる。MRI で得られた脳画像の STL 血管群の中心線を自動検出する、検出された血管に沿って球を転がして血管癌の位置を把握する脳動脈瘤自動検出や、リアルタイムに器具の先端が患者の脳内のどの位置にあるかが三次元的にリアルタイムに分かる医療用ナビゲーションシステムの構築を行った。

4 船舶のぎょう鉄作業 (外板曲面形状の作製) の IT 化

船舶の外板は、抵抗を減少させ、速力や燃費等の諸性能を向上させる目的で、複雑な曲面形状となっている。そのため正確に鋼板を曲げ加工する技術 (ぎょう鉄) は造船業にとって必要不可欠な技術といえる。

この曲げ加工の法には、ガスバーナで鋼板を線状に加熱する線状加熱と呼ばれる加工法がある。ガスバーナと水ホースのみで手軽に作業ができ、しかも船舶のあらゆる曲面を加工可能な方法で広く利用されている。しかし、熟練工が減少するなか、作業には「経験と勘」が必要といわれ、その技能の伝承が大きな問題となっている。

H25～27 年度の「ながさき海洋・環境産業雇用創造プロジェクト」にて、長崎県と共同でシステム開発を実施した。船舶建造現場のぎょう鉄作業において、加工精度の計測と管理に使用されている木型に代えてレーザープロジェクターとデジタルカメラを用いた計測システム (電子曲げ方) を開発した。このシステムは、曲げの加工精度を計測するだけでなく、レーザープロジェクターを用いることで、鋼板上に計測結果を直接に表示することも可能である。

これまで造船業等では、熟練技術者が若手技術者を直接指導する方法で、建造にかかわる様々な建造実技の技能動作を繰り返し教わることで習熟を図っている。基盤技術 (溶接、塗装、ぎょう鉄) に関して、技能伝承が円滑に進むよう ICT を活用した教育シミュレーターを開発し、これにより長崎県のものづくり基盤を強化していきたい。

5 組込みスクリプト言語 mruby

Ruby 言語は松本行弘氏により開発された 1993 年生まれのオブジェクト指向型スクリプト言語である。可読性が高く、Web アプリケーション開発等に広く利用されている。言語仕様が明文化されたのは、2011 年に JIS 規格 (JIS X 3017) が制定され、さらに、2012 年には日本発のプログラム言語で初めての ISO/IEC 規格 (ISO/IEC 30170) として承認された。そして、現在では、図 reffig:ruby にあるような様々なシステムで利用されている。組込システム向けに軽量化した Ruby の実装が mruby であり、家電製品の他、スマートフォンやゲームなどで使用されている (cf. 図 2)。文法は Ruby と同じであり、ほぼ全てのクラスをサポートしており、軽量化のため使用するライブラリを選択するようになっている。九州工業大学田中研究室において、mruby を



図1 Rubyが使われている場所



図2 mrubyが使われている場所



図3 小中学生向ものづくり合宿

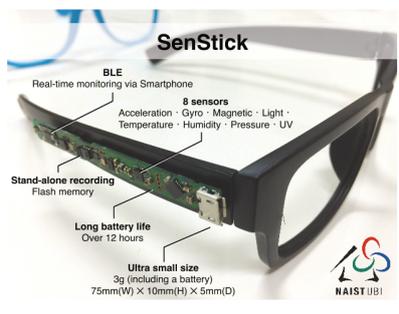


図4 ウェアラブルデバイス SenStick への mruby の実装

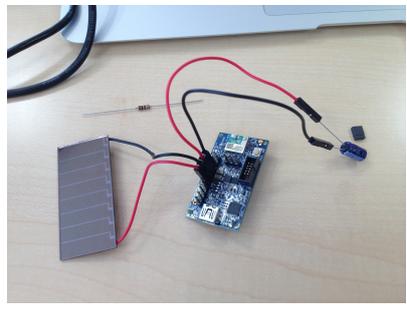


図5 省電力デバイス向けの mrubyVM の実装

用いた研究, および, 活動事例として図3, 図4, 図5などがある.

6 mruby を用いた造船向け自動作画支援システムの開発

3次元CADを導入するメリットとしては, 表現時の視認性の高さにより, 構造をチェックする作業の正確性や効率性の向上が挙げられる. またデータの再利用性が高く, 強度計算, 干渉チェック, 通行性のシミュレーションや, 重量, 溶接長, 塗装面積などの集計も容易に行える. 生産向けデータへの加工出力や設計ノウハウのデータベース化も2次元ベースと比べ効率的に実現が出来る.

しかし, 長い歴史を持つ造船産業では造船所や国単位で, 独自に発展してきた2次元ベースの手法や技術が多い. 重工業分野において自動車・航空機産業に代表されるような, ‘同一図面で同一形状の製品を量産する生産スタイル’は少ない. また, 船の種類やサイズ, 造船所の規模など, 一口に造船といっても対応すべきレンジが広く細分化しており, 自動車・航空機産業に比べると, 3次元ベースの適用範囲が限られる. 3次元データ化の活用は自動車・航空機産業と同様に古くから試みられているが, 図面を運用する最終的な生産現場まで完全に3次元化するには長い時間とコストがかかる. 加えて, 平坦な板を数値制御切断機 (NC) で切り出して立体的に加工する生産フェイズがあるため, 3次元データを必要に応じて2次元データに出力し, 用いることが必要になる. この2次元化されたデータではもちろん, 3次元CAD特有の利点を適用することができず, 設計者の手作業による作業も増大するケースも多い.

以上の理由により、造船向け自動作画支援システム Trieste の開発を行った。造船 3D CAD システムが出力した 2 次元図面ファイルを各造船所ごとの生産作業仕様にとったフォーマットに変換する。2 次元図面ファイルの形式は、造船産業に限らず図面形式のデファクトスタンダードとなっている AutoCAD DXF フォーマットをサポートする。既存の CAD システムのプラグイン・スクリプトではなく、単体で動作可能な独立したシステムのため、一般に広く流通している汎用 2D CAD のみならず、独自の CAD システムを利用している場合でも利用が可能である。



図 6 Trieste

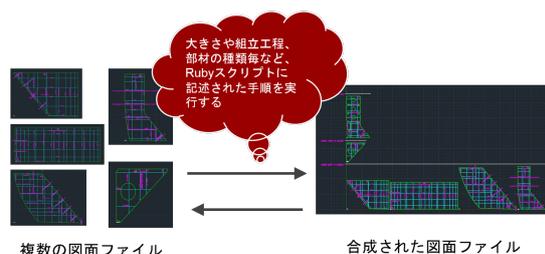


図 7 Trieste を用いた複数図面の合成

Trieste を使用した効果としては、2 次元図面処理工程を 3 分の 1 に短縮できた。例えば、Trieste の開発段階に評価試験を行なった設計会社のケースでは、船殻設計部門全体として年間 3,750 時間の削減となり、設計者一人あたりでは年間 750 時間の削減となった。現在の Trieste ユーザーは、国内造船所・設計事務所が 7 社である。



図 8 Trieste のシステム構成

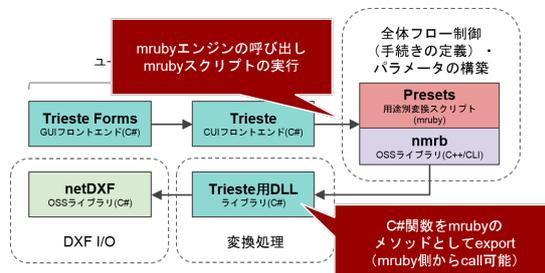


図 9 Trieste のフロー

Trieste の仕組みについて説明する。図 8 はアプリ構成、図 9 はフローである。Microsoft .NET Framework を使用している理由としては、産業分野で利用されている OS においてネットワーク環境が制限された Microsoft Windows が多い点が挙げられる。フロントエンドやライブラリ、変換手順などの構成を可能な限り切り離し、ネットワーク上で利用するクラウドシステム化する際の移植コストを下げる工夫を行っている。mruby, MRI には AutoCAD DXF フォーマットを読み書きする標準的なライブラリがないため、.NET Framework 用に開発されたオープンソースソフトウェア netDxf*1 を採用している。採用理由は、Ruby だけではなく Python や他の実装系のライブラリを含めて考えた場合、最も多機能で継続的にメンテナンスされている点である。簡易的な行列演算などに、大規模なライブラリを採用すると開発面・運用面ともに取り回し性能を低下させるため、幾何処理は独自エンジンを採用している。Trieste では、Microsoft .NET Framework

*1 netDxf 2.0.3 Copyright(C) 2009-2017 Daniel Carvajal, Licensed under LGPL <https://netdxf.codeplex.com/>

から呼び出せ、開発コストを書けず利用できる mruby エンジンとして、オープンソースソフトウェアである nmr^b*² を採用している。mruby を採用している利点は、容量が小さいこと、依存関係が少ないこと、活発なコミュニティがあることが挙げられる。これら利点は、CAD 分野で台頭しつつある Python の実装よりも開発面・運用面ともに優位性がある。

Trieste の課題としては、部材上の情報を外周線内に収めるよう移動、回転、拡大縮小を行う。マーキング線同士が干渉しないような最適な配置を行う。必要に応じて、他のマーキング文字を移動、回転、拡大縮小を行う。追加の作図を行う。などのレイアウトの自動化についてが挙げられる。

7 移動最小二乗法の初等的考察

画像変形手法の一つに Scott Schaefer らによる移動最小二乗法がある。この方法は、画像上で、移動前の点と移動後の点が指定されているとき、移動前の点を移動後の点に移したように見えるように、各格子点を移動させることで画像を変形させるものである。OpenGL の、4 点を指定して、それに合わせてテキストを張り付ける機能を用いる。二次形式で表されるあるエネルギー関数を定義して、そのエネルギー関数が最小となるような変形を行う。つまり最小化問題を解くことになる。移動最小二乗法では、最小化問題の探索を行う領域として、アフィン変形、類似性変形、リジット変形の三種類の方法について考察している。研究の目標としては、アフィン変形と類似性変形の場合について数学的に定式化する。リジット変形の場合について、不自然な方法で最小化問題を解いているため、自然な求め方を行った場合についても考察し、実際に実装する。アフィン変形と類似性変形の場合について、数学的に定式化を行い、Scott Schaefer らと同じ結果を得ることができた。リジット変形の場合については、自然な求め方をした場合に、Scott Schaefer らとは異なる結果が得られ、かつ実際に実装しても異なる方法であることが確認できた。Scott Schaefer らの結果に比べ局所的な変形であることがわかった。

講演後に議論が行われ、本短期共同研究期間内に新たに提案した方法と Scott Schaefer らの結果は同じ結果であることがわかった。実際に実装して異なる方法であることが確認されていたが、新たに提案した方法の実装に誤りがあることが判明した。

8 Mathematica によるスキニングの実装

スキニングとは、変形可能オブジェクトをスケルトンにバインドするプロセスを指す (Autodesk Knowledge Network より)。最も一般的なスキニングとして、Linear Blend Skinning (LBS) が知られている。このスキニングは実装が簡単で、高速に動くが、Candy Wrapper effect と呼ばれる現象が起こることが知られている。この欠点を回避する方法として、Dual Quaternion Skinning (DQS) がある。DQS には、Bulging effect と呼ばれる欠点があることが知られている。この欠点を補う方法として Real-time Skeletal Skinning with Optimized Centers (OCR) と呼ばれる方法がある。この方法は、LBS と DQS を足して 2 で割ったようなスキニング手法であり、 σ の値を変えることにより調節可能となっている。LBS, DQS, OCR の三つの手法について、実際に Mathematica を用いて実装し、利点や欠点を確認した。今後の課題としては、アーマチュアとしての実装、ウェイトの自動化、その他のスキニングの実装といったものが挙げられる。

*² nmr^b - mruby binding for .NET <https://netdxf.codeplex.com/>

9 三角形マーカによるカメラキャリブレーションの簡易化

構造物の三次元計測は、建設、土木、不動産、内装業などの多くの分野で立体的なものを計測し、デジタルデータにするなどで用いられている。まず最初に見積もりが行われ、その後、受注するかが決まる。受注につながるものは 50% 以下であり、見積もりは重要なプロセスである。見積もりにはコストの削減と高い精度が求められている。見積もりを効率良く行うため、デジカメ画像による建築工事の見積もり業務などを簡易化するシステムが考案された。デジカメ計速という商品名で販売されているもので、デジカメで撮影した画像を利用し計測を行うものである。

計測時にはカメラの性質を示すパラメータを利用する必要がある。このパラメータを求めるためにキャリブレーションと呼ばれる操作を行う。チェスボードを複数視点から撮影し、そこからパラメータを求めたいものである。精度の高い値を得るためにはおよそ 10~15 枚の画像が必要である。このように従来のキャリブレーションでは、チェスボードの撮影に手間がかかることや、チェスボードを印刷自体にも手間がかかるといった問題点がある。

そこで、本研究ではキャリブレーションの簡易化によるコストの削減を行う。計測用の画像から画像中のマーカを利用してキャリブレーションを行いたい。今回の場合に合わせたキャリブレーションの式の立式、プログラムの作成、精度確認、精度の向上が目標になる。現状ではキャリブレーションの式の立式までが完成している。

10 画像関係の機械学習 Hands-on

未知関数 $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$ でその変数は分かっていると仮定する。トレーニングデータとして、 $y = f(x)$ を満たす組 (x, y) がたくさんある。このとき、新しい x に対して、 $f(x)$ を求めたい。これが機械学習で行っていることである。ニューラルネットワークの環境構築として、今回は Python ライブラリとして使える Chainer を扱う。Chainer のインストール方法の説明を行った後、古典的な multi-layer perceptron (MLP) である三層全結合のネットワークで風速などの説明変数から最高気温を推定してみる演習を行った。次に視覚を模したニューラルネットワークである畳み込みニューラルネットワークを用いて画像認識の演習を実施した。さらに、いちごっこによる自己切磋琢磨で学習を行う Generative Adversarial Network (GAN) というものが考案されている。画像変換で用いられることが多いが、それ以外にも暗号方式の自動生成にも用いられる。GAN の一種である pix2pix に関して演習を行った。

ディープラーニング試す際に、簡単なものから難しいものに順番に列挙すると次のようになる。すでに学習されたモデルをそのまま使う。既製品のネットワーク構造を自分のタスクに合わせて学習をする。ネットワーク構造にも少しだけ手を入れる。ネットワーク構造をスクラッチから自分で設計する。

ディープニューラルネットワークの注意として次が挙げられる。ディープニューラルネットワークは万能ではない。サポートベクターマシンやランダムフォレストの方が良い結果を出す場合も多い。チューニングパラメーターが多い。特徴選択や結果の解釈が難しい。初期値依存性 (運要素) が強い。

11 PolyArc Fitter

11.1 概要

本研究期間の非公開プログラムでは、主に PolyArc Fitter についての研究を行った。PolyArc Fitter とは、平面上に点列が与えられたとき、この点列を通る曲線を線分と円弧で近似するアルゴリズムを提案するものである。このようなアルゴリズムは、CAM (コンピュータ支援製造) の分野で用いられるなど研究が行われている [2, 3, 4, 5, 6, 7]。我々が提案したアルゴリズムは、すでに現在造船において使用されている。典型的なパイプラインにおいては、船の部品は CAD ソフトウェアによって設計され、数値制御機械 (NCM) を用いて、実際に鋼板が切断されている。多くの数値制御機械は線分と円弧しか切断するすることができず、設計された曲線を線分や円弧に変換する必要がある。さらに、効率性や機械の物理的な制限からできる限り少ない線分や円弧を用いることが望まれる。我々のアルゴリズムは、平面上の点列に対して、すべての点からユーザが指定した近傍内を通るように、少ない数の線分と円弧から成る曲線を生成している。

また、本研究は鍛冶静夫 (山口大学) が中心となり、平河堯 (九州大学)、鬼東洋輔 (佐世保高専)、松藤ちひろ (九州大学) らとともに、山口大介 (SEA 創研) が期間終了後も研究、および、ソフトウェア開発を継続し、CG と数学に関わる国際会議 MEIS2017 においてもポスター発表を行った [1]。また、本アルゴリズムを実機にも実装し、既に現場で利用している。

11.2 アルゴリズム

本手法のアルゴリズムについて説明する。本アルゴリズムの入力と出力は以下のようになっている。

- 入力
 - 点列 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$
 - 距離許容誤差
 - 角度許容誤差
- 出力
 - 与えられた点列の部分列 $(x_{i_1}, y_{i_1}), (x_{i_2}, y_{i_2}), \dots, (x_{i_k}, y_{i_k})$
 - 点 (x_{i_j}, y_{i_j}) と点 $(x_{i_{j+1}}, y_{i_{j+1}})$ を結ぶ円弧または線分 ($j = 0, \dots, k-1$)
 - 円弧の場合は中心 $\mathbf{c}_{i_j} \in \mathbb{R}^2$, 半径 $r_{i_j} \in \mathbb{R}$, 開始角 $\theta_{i_j} \in [0, 2\pi)$, 終了角 $\phi_{i_j} \in [0, 2\pi)$ ($j = 0, \dots, k-1$)

最初に、与えられた点列を $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ とし、この点列をおおよそ通る円弧を求める方法について説明する。 a, b, c を変数として、以下の最小化問題を考える。

$$\begin{aligned} & \text{minimize} && \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i + c)^2 \\ & \text{subject to} && x_1^2 + y_1^2 + ax_1 + by_1 + c = 0, \\ & && x_n^2 + y_n^2 + ax_n + by_n + c = 0. \end{aligned}$$

等式制約は端点 (x_1, y_1) と (x_n, y_n) を必ず通るようにするためのものである。この問題の解は、ラグランジュの

未定乗数法により, 次のようになる.

$$\begin{pmatrix} \mathbf{a} \\ \boldsymbol{\lambda} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X^T X & Y^T \\ Y & O \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} -X^T \mathbf{p} \\ -\mathbf{q} \end{pmatrix},$$

ここで

$$\mathbf{a} = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix}, \boldsymbol{\lambda} = \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{pmatrix}, \mathbf{p} = \begin{pmatrix} x_1^2 + y_1^2 \\ x_2^2 + y_2^2 \\ \vdots \\ x_n^2 + y_n^2 \end{pmatrix}, \mathbf{q} = \begin{pmatrix} x_1^2 + y_1^2 \\ x_n^2 + y_n^2 \end{pmatrix}, X = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & y_n & 1 \end{pmatrix}, Y = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_n & y_n & 1 \end{pmatrix}.$$

次に, 与えられた点列 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ を複数の円弧でおおよそ通るようにする方法について述べる.

$j = 1$ とおく.

ステップ 1

端点が点 (x_j, y_j) と点 (x_n, y_n) である点列 $(x_j, y_j), (x_{j+1}, y_{j+1}), \dots, (x_n, y_n)$ をおおよそ通る円弧を求める. これは, 上記で述べた問題を最小二乗法を解くことによって得られる.

ステップ 2

ステップ 1 で得られた円弧が与えられた許容誤差を満たすかどうかチェックする. もし満たさなければ, 二分探索によって, 許容誤差を満たす最大の k を求め, $(x_j, y_j), (x_{j+1}, y_{j+1}), \dots, (x_k, y_k)$ の円弧を作る.

ステップ 3

この続きの部分を求めるために, $j = k$ として上記のプロセスをステップ 1 から繰り返す.

11.3 結果

得られた結果を図 10 と図 11 に示す.

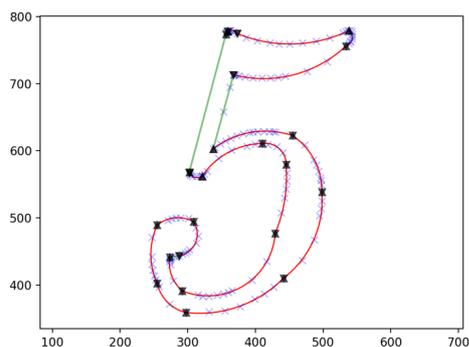


図 10 最大誤差が 2.0 で, 18 個の円弧と 6 個の線分から成る

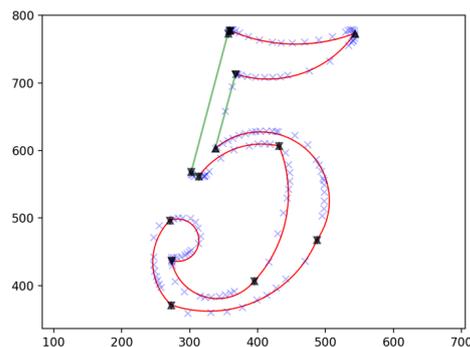


図 11 最大誤差が 8.0 で, 9 個の円弧と 5 個の線分から成る

11.4 造船所での利用

以下の写真は数値制御機械によって、ある造船所において、従来手法と提案手法によって実際に鋼板を切断したものを示している。図 12 と図 13 は従来手法による切断であり、図 14 と図 15 が我々のアルゴリズムを用いた提案手法による曲線に基づいた切断である。



図 12 従来手法による切断 1



図 13 従来手法による切断 2



図 14 提案手法による切断 1

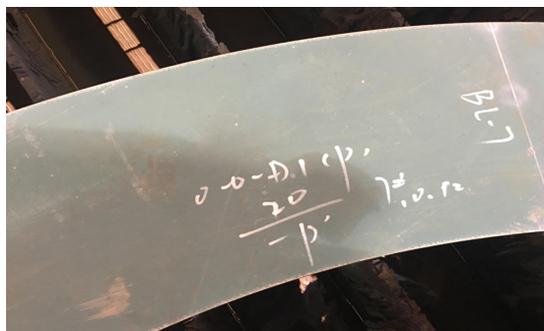


図 15 提案手法による切断 2

12 まとめ

本研究期間中に PolyArc Fitter と呼ばれる最小二乗法を活用した剛板の円弧と直線による高効率の切断方法を提案し、ソフトウェアとしての実装と評価を行った。開発されたソフトウェアは、本研究期間終了後に実際の造船所で鋼板を切断するためにすでに活用されている。本研究を行うことにより、産業ソフトウェアの開発の一端を担うことができたと考えている。今後、周辺研究を進めるとともに、総括的な幾何処理について研究を行い、三次元幾何演算を中心とする Open CASCADE Technology だけに留まらず、画像認識・機械学習ライブラリである Open CV、スマートフォンやタブレット PC などにも広く普及した WWW ブラウザ上で高度

な三次元表現が可能な WebGL を活用し、より産業分野でソフトウェアを利用するユーザに近い成果物を構築していきたいと考えている。

謝辞

本短期共同利用研究では、株式会社アメリオの松田明秀様、山口大学の鍛冶静雄先生には、ご講演だけでなく、期間中の討論、期間後の研究継続、プログラム開発など、多大なご指導とご助言を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] A. Hirakawa, Y. Onitsuka, C. Matsufuji, D. Yamaguchi and S. Kaji, PolyArc Fitter — An approximation of a curve using line segments and arcs —, Symposium MEIS2017: Mathematical Progress in Expressive Image Synthesis, 2017.
- [2] T. Kamae and M. Kosugi, An approximation of a curve with circular arcs, Information Processing Society of Japan, Vol. 12, No. 12, pp. 754–760, 1971.
- [3] T. Kurokawa, H. Enoki and N. Ito, Parabolic splines for interpolating feature point sequences, Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers, Vol. 19, No. 9, pp. 713–717, 1983.
- [4] Y. Kurozumi, Approximation of straight segments and circular arcs by the minimax method, Information Processing Society of Japan journal, Vol. 30, No. 11, pp. 1434–1440, 1989.
- [5] H. Makino, Clothoidal interpolation of freely given point series using tangent method, Journal of the Japan Society for Precision Engineering journal, Vol. 60, No. 1, pp. 80–85, 1994.
- [6] M. Nagura, Approximation of line drawings by straight lines and circular arcs, Transactions of the Institute of Electronics and Communication Engineers of Japan, Vol. 64, No. 9, pp. 839–845, 1981.
- [7] Y. Sato, Optimal piecewise linear approximation of plane curves, Transactions of the Institute of Electronics and Communication Engineers of Japan, Vol. 65, No. 9, pp. 1145–1150, 1982.