

第52回 東海フアジィ研究会 (蒲研2022) 予稿集



主催：日本知能情報フアジィ学会 東海支部
共催：日本経営システム学会 中部支部
日時：2022年8月18日（木）～ 8月19日（金）
会場：蒲郡商工会議所

第52回東海ファジィ研究会（2022年8月18日～19日）プログラム（案）

8月18日（木）

13:50-13:55 【開会挨拶】研究会幹事 野崎佑典（名城大学）

13:55-15:15 セッション1 座長 加納政芳（中京大学）

- S1-01** ジョジョの奇妙なオノマトペの特徴分析
吉兼利浩 中村剛士
- S1-02** 上場企業HPのファーストメッセージの計量分析
金久保正明
- S1-03** Midori128の差分電力解析に対する耐タンパ性評価
野崎佑典 吉川雅弥
- S1-04** R-含意に基づくファジィ・モダス・トーレンス
塚本弥八郎

15:15-15:30 休憩

15:30-16:30 招待講演 座長: 吉川大弘（鈴鹿医療科学大学）

オンデマンド講義用ビデオ作成のためのノート読み上げソフト（英語用 & 日本語用）との格闘（仮）
古橋 武（名古屋大学）

8月19日（金）

9:20-10:40 セッション2 座長 森田賢太（鈴鹿医療科学大学）

- S2-01** アスリートの体調を管理支援するアプリケーションAthlete Data Loggerの開発
加納政芳 佐藤陽菜 足木菜友紀 二瓶雄樹 三宅恵介 種田行男
- S2-02** スパイキングニューラルネットワークの応答関数近似による高速化 -複数スパイク出力時の検証-
尾崎舜 高瀬治彦 北英彦
- S2-03** AIによる外観検査
大西勇多 水野昌次郎
- S2-04** 高度なAIは人と同程度の楽しさを提供できるか
杉山天志 高橋諒 加納政芳

10:45-10:50 【閉会挨拶】東海ファジィ研究会・副支部長 中村剛士（中部大学）

ジョジョの奇妙なオノマトペの特徴分析

Feature analysis of Jojo's bizarre onomatopoeia

吉兼 利浩

中村 剛士

Toshihiro YOSHIKANE, Tsuyoshi NAKAMURA

中部大学

Chubu University

Abstract: Sound symbolism is known as a phenomenon in which specific sounds evoke specific images. However, not all of the sound symbolism has been clarified. As an example of sound symbolism, this study investigated onomatopoeia appearing as sound effects in comic books. The investigation can lead that we propose a sound symbolism hypothesis about the onomatopoeia in comic books. In this paper, we adopt “JoJo's Bizarre Adventure (JoJo),” which uses unique onomatopoeia different from others. We attempted to discover acoustic characteristics of “JoJo-ness” and formulate the sound symbolism hypothesis of JoJo-ness. In the experiment, CNN classified the onomatopoeia in JoJo and GinTama into two classes. We employed Grad-CAM saliency maps and investigated the acoustic characteristics that contributed to the classification. As a result, we found the acoustic characteristics that discriminate onomatopoeia in JoJo and GinTama. We set the characteristics as the sound symbolism hypothesis about JoJo-ness.

1 はじめに

オノマトペは、動作や心情などを表す語として日常的に活用される。オノマトペについては音象徴を調査した多くの報告がある [1]。音象徴とは、特定の音が特定のイメージを喚起する事象として知られる。しかしながら、音象徴の全容は未だ明らかになっていない。本研究では、“ジョジョの奇妙な冒険 [3]” (以降, JoJo) に登場するオノマトペを事例として調査し, JoJo に登場する特異なオノマトペについて音象徴仮説を設定することを目的とする。我々の研究の最終目的は、音象徴の解明であり、多種多様な事例からこれらを明らかにしたいと考えている。

本稿では、他とは異なる特異なオノマトペを使用する JoJo を事例として採用し、“JoJo らしさの音響的特徴”の発見と“JoJo らしさの音象徴仮説”を立てるものとする。ここでは、JoJo と銀魂 [4] に登場するオノマトペを分類器によってクラス分類する。銀魂は、JoJo の対比として、一般的なオノマトペが登場する一事例として採用した。分類の結果に基づき、両者を識別する音響的な特徴を調査・分析して、音象徴仮説を立てるものとした。

2 オノマトペの分類実験

クラス分類には図 1 に示すように、オノマトペを音響特徴量 MFCC に変換後、CNN に入力する。CNN よって、入力したオノマトペが JoJo か銀魂のいずれのクラスかを判別する。

データセットは、各コミックの戦闘シーンから抽出しており、JoJo のオノマトペ 247 個、銀魂のオノマトペ 187 個から構成される。今回の実験では、このデータセットを用いて Leave-one-out 法によって CNN を構成し分類クラスの予測実験を行った。実験結果から、正答オノマトペの持つ音響的な特徴について調査・分析した。

表 1: 分類結果の混合行列

予測 \ 真値	JoJo	銀魂
JoJo	179	79
銀魂	68	108

3 実験結果と考察

実験結果として、混合行列を表 1 に示す。正解率は.661, F 値は.708 であり、オノマトペの持つ音響的な特徴から JoJo と銀魂のオノマトペをある程度判別できていることが分かる。

次に、Grad-CAM[2] を使用し、分類根拠となる音響的な特徴を分析する。ここでは、正答オノマトペがもつ音響的な特徴について勾配の大きな箇所注目し、勾配の大きな箇所がどのモーラに該当するのか調査した。一例として、JoJo のオノマトペである“ウウン (/uuN/)”についての Grad-CAM 顕著性マップを図 2 に示す。勾配が大きいほど濃い赤色を示す。ここでは、第 1 モーラの‘ウ’付近の勾配が大きいことが確認できる。

勾配が大きかったモーラを調べ、各モーラが出現するオノマトペを数え上げた。一部ではあるが、表 2 に、JoJo クラスの正答オノマトペを対象に勾配の大きかったモーラとそれを含むオノマトペの数を示す。表 2 に示すように、JoJo と銀魂を比較すると、“/gu/ (グ)”、“/ba/ (バ)”の

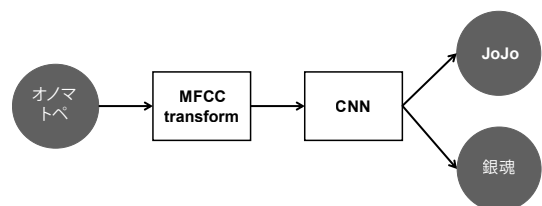
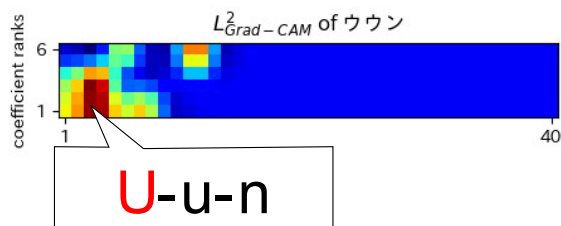


図 1: JoJo と銀魂のオノマトペの分類



連絡先

中村剛士

E-mail: tnaka@isc.chubu.ac.jp

図 2: Grad-CAM の顕著性マップ

表 2: JoJo クラスの正答オノマトペを対象にした勾配の大きかったモーラとそのモーラを含むオノマトペ数

モーラ	JoJo	銀魂
/gu/ (グ)	16	0
/ba/ (バ)	14	0
/o/ (オ)	13	2
/sju/ (シュ)	10	0

ような有声阻害音や “/sju/ (シュ)” のような拗音が JoJo では多く使用される傾向がある。この傾向から、有声阻害音・拗音が JoJo らしさに寄与しているのではないかという仮説を設定する。

4 まとめ

今回の実験では、JoJo、銀魂の戦闘シーンに限定し、オノマトペの分類・調査・分析を行った。分類結果から、JoJo では有声阻害音や拗音といったモーラが使用される傾向があり、これが JoJo らしさに寄与している可能性があると考えられる。今後は、今回得られた仮説について、被験者実験を行い、仮説の検証をしていきたいと考えている。なお、本研究は科研費 (22K12232) の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Ohala, John J., “The frequency code underlies the sound symbolic use of voice pitch,” Sound symbolism, pp.325–347, 1994.
- [2] Selvaraju, R. R. et al., “Grad-cam: Visual explanations from deep networks via Gradient-based localization,” ICCV, pp.618–626, 2017.
- [3] 荒木飛呂彦:ジョジョの奇妙な冒険, Vol.1-5, 集英社, 1987-1988.
- [4] 空知英秋: 銀魂, Vol.62-66, 集英社, 2016.

上場企業HPのファーストメッセージの計量分析

愛知産業大学経営学部 金久保正明

研究の背景

- 近年、テキストマイニングとして、大量文章データの特性を計量的・客観的に分析する技術が普及してきた
- 企業の社是・社訓、投資家向け情報、有価証券報告書、トップメッセージ（社長などの発言）を分析した事例はある
- 一方、特に上場企業は、立派なHPを作り、様々な情報発信をしている。トップページにアクセスして、最初に目に付く文言は特に重要であるが、これをテキストマイニングした事例はない
- そこで、企業HPの最初に目に付く文言（以下、ファーストメッセージと呼ぶ）を定義して、それをテキストマイニングの手法で分析する事とした

1

2

研究の目的

- ① 企業HPのファーストメッセージは、どのような単語を多く含み、世間一般に何を訴えようとしているのか。また、業種ごとに傾向の違いはあるか
- ② 企業HPのファーストメッセージに、先行研究にあるような戦略ワードや未来志向文、或いはSDGsへの取り組みなど、CSR（企業の社会的責任）に関わる語がどれだけみられるか
- 分析には、立命館大学で開発された無料のテキストマイニングツール、KH Coderを用いた
- 対象は東証1部上場企業約2500社

3

4

ファーストメッセージ収集の基準

- 最初に出てくるページで最も大きな字で書かれているメッセージを集める。その横に補足的に小さな文字で書かれているものは含めない
- 最初に出てくるページで最も大きな字で書かれているメッセージが複数在っても、それらは全て含める
- 最初に出てくるページが動画やスライドの一部で次々と切り替わる場合に、一つのセンテンスがまたがって出てくる場合は、そのセンテンスが終わるまで見て、収集する

ファーストメッセージとはしないもの

- 最初に出てくるページが画像のみで、しばらく経ってから文言が出てくる場合は「無し」とする
- 一押しの商品や新製品の紹介、イベントの紹介、創立何周年とか、コロナ対応の指針などが最初に出てくる場合は「お知らせ」として、ファーストメッセージとは考えない
- 最初の文言として社名を出すケースもあるが、これも「社名」として含めない

5

業種別の企業数と「お知らせ」等の比率

- 特に「金融・商業」分野が「お知らせ」「無し」の割合が高い
- イメージより、実務的な堅実さを強調する効果を感じられる

業種	企業数	無し	比率(%)	お知らせ	比率(%)	社名	比率(%)
水産・農産	9	1	11.1111	1	11.1111	0	0
鉱業	3	0	0	0	0	0	0
石油・ガス開発	3	0	0	1	33.3333	0	0
建設	90	10	11.1111	2	2.22222	1	1.11111
食品	197	23	11.6751	22	11.1675	3	1.52284
繊維・紙	293	22	7.50853	32	10.9215	7	2.38908
化学・薬品	279	15	5.37634	30	10.7527	1	0.35842
資源・素材	142	6	4.22535	5	3.52113	3	2.11268
機械・電機	361	19	5.26316	49	13.5734	4	1.10803
自動車・輸送機	280	11	3.92857	52	18.5714	6	2.14286
金融・商業	276	31	11.2319	67	24.2754	5	1.81159
運輸・通信・ソフトウェア	251	18	7.17131	47	18.7251	1	0.39841
合計	2184	156	7.14286	308	14.1026	31	1.41941

6

企業全体の頻出語上位30語

- 社会への貢献を示す語群として「社会」「世界」「貢献」「お客様」「支える」「提供」「サービス」など計751語
- 新たなモノやサービスを作る創造性を示す語群として「創造」「目指す」「実現」「新しい」「創る」「挑戦」「新た」など計478語
- 他にCSRに係る「環境」「安心」「安全」や、「暮らし」「生活」などの語も上位に来ていた

抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
未来	287	お客様	87
技術	197	支える	77
社会	183	目指す	76
人	169	実現	70
世界	165	提供	69
貢献	115	新しい	68
商品	110	暮らし	66
環境	102	環境	64
企業	96	グループ	62
豊か	90	安心	59
		安全	59
		生活	57
		人々	56
		創る	56
		サービス	55
		すべて	53
		挑戦	50
		年	50
		時代	48
		新た	48

7

一般テキストとの出現頻度の比較

- 国立国語研究所の『現代日本語書き言葉均衡コーパス』(BCCWJ)は、現代日本語の書き言葉の全体像を把握するために構築したコーパス。書籍、雑誌、新聞、白書、ブログ、ネット掲示板、教科書、法律などのジャンルにまたがって1億430万語のデータを格納、100万語あたりの単語登場数が分かる
- そこで、上位20語に対し、HP出現数/HP総抽出語数でHPの出現頻度を調べ、一般テキスト登場数/1000000で、一般テキストの出現頻度を調べて比較した
- 未来が218倍で突出して多かった他、貢献(107倍)、創造(102倍)が一般テキストよりも百倍以上の高頻度であり、企業のファーストメッセージに特に固有な言葉である事が分かった

8

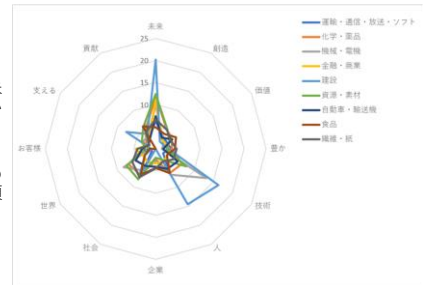
業種別の頻出語上位10語の比較

- 全体で多かった「未来」「社会」がトップに来る場合が多いが、機械・電機分野では「技術」がトップで、技術力をアピールする企業が多い
- 建設分野では「街」「道」など、その業種特有の単語が上位に入る特徴もあるが、特に金融・商業分野は、「お客様」「お客」「地域」「社会」「サービス」など、地方銀行の特徴として、地域の顧客への貢献を前面に打ち出している
- 建設分野では「安心」「安全」「守る」「信頼」なども強調されていた

9

全体の上位12語の業界別出現率

- 運輸・通信・放送・ソフトウェア」の分野で「未来」の比率が高い
- 「建設」分野で「技術」「人」の比率が高い(信頼感を重視?)



10

まとめ

- 上場企業HPのファーストメッセージ(最初に目に付く文章)のテキストマイニング分析を行った
- 全体的には、社会への貢献を示す語群、創造性を示す語群、CSRに関連する語群等が目立った(一般的テキストとの出現頻度比較でも裏付けられた)
- 「金融・商業」分野では、ファーストメッセージが無く「お知らせ」を掲載する比率が高かった(実務を強調?)
- その業界に関連する語の出現が多いのは当然だが、建設分野では「技術」の他、「人」の比率が高かった(住む人を安心させるような信頼性を強調か?)

11

御清聴、ありがとうございました。

12

Midori128 の差分電力解析に対する耐タンパ性評価

○野崎 佑典¹, 吉川 雅弥²

○Yusuke Nozaki¹, Masaya Yoshikawa²

^{1,2}名城大学

^{1,2}Meijo University

Abstract: 近年, IoT セキュリティを高めるための暗号技術として軽量暗号が注目されている. 一方で, ハードウェア実装した暗号を対象としたサイドチャネル解析の脅威が報告されており, その安全性評価が重要である. 本研究で対象とする軽量暗号 Midori128 に対してもいくつかの解析手法が報告されているが, 差分電力解析による評価は行われていない. 耐タンパ性評価では, 様々な解析手法に対する安全性を定量的に評価することが重要である. そこで本研究では, Midori128 に対する差分電力解析における安全性を定量的に評価する.

1. はじめに

Internet of Things (IoT) 機器でのセキュリティを確保する技術として軽量暗号が注目されている [1]. 軽量暗号は, IoT のように実装制約の厳しい機器でも利用可能な暗号技術であり, 低消費電力, 小回路規模, 低レイテンシーでの動作が可能などの特色を持っている. 本研究で対象とする Midori は代表的な軽量暗号の一つであり, 低消費電力での動作が可能な暗号アルゴリズムである [1].

一方で, 通常暗号は計算量的に安全性が確保されているが, ハードウェア動作時の消費電力や電磁波などの物理情報を利用して, 秘密鍵を窃取するサイドチャネル解析の脅威が報告されている [2]–[8]. 本研究で対象とする電力解析は, 消費電力を利用したサイドチャネル解析の一種である. これまでに Midori128 に対してもいくつかの電力解析手法が提案されており, Midori128 の耐タンパ性評価 [6]–[8] や対策手法 [7] の検討なども進められている. ここで, 耐タンパ性評価では, 様々な電力解析手法による評価が重要である. Midori128 に対しては, 相關電力解析 [6][7] や深層学習電力解析 [8] による評価が行われているが, 代表的な解析手法の一つである差分電力解析に対する評価は行われていない.

そこで本研究では, Midori128 に対する差分電力解析を提案する. そして, Field Programmable Gate Array (FPGA) を用いた実験を行い, 差分電力解析に対する Midori128 の耐タンパ性を定量的に評価する.

2. 準備

2.1 Midori128 [1]

Midori は低消費電力での動作を指向した軽量暗号である. 鍵長は 128bit であり, ブロック長は 64bit と 128bit から選択が可能で, 128bit のものを Midori128 と呼ぶ. これまでに Midori64 については脆弱性が指摘されていることから, Midori128 の利用が推奨されている [9]. Midori128 のアルゴリズムの概要を図 1 に示す. ラウンド関数は, SubCell, ShuffleCell, MixColumn, AddKey で構成し, 合計で 20 ラウンドの処理を行う. SubCell では S-BOX に基づく非線形置換処理を, ShuffleCell と MixColumn では線形処理

を行う. また各ラウンドでは鍵 WK や RK との XOR 演算を行う. ここで, $WK = K$ (K は 128bit の秘密鍵) であり, RK は K とラウンド定数との XOR 演算で計算できる.

2.2 電力解析の概要

電力解析は, ハードウェア動作時の消費電力を使用したサイドチャネル解析である [2][3]. 電力解析では, データレジスタ間での暗号中間値の遷移であるハミング距離 (Hamming Distance: HD)などを解析に利用する [2]. HD の計算では, 既知の平文や暗号文と鍵候補 (推定鍵) を使用する. 差分電力解析では, HD に基づき消費電力波形を 2 つのグループに分類する. そして, 各グループの平均値の差分を計算し, これを差分電力値とする. 差分電力解析では, この差分電力値が最大となる鍵候補を正解として推定する.

2.3 関連する研究

Midori に対する電力解析に関する研究がいくつか報告されている [4]–[8]. 関連研究を表 1 にまとめる. 本研究で対象とする Midori128 に対しては, 相關電力解析と深層学習電力解析が報告されている. これらの研究では, Midori128 の最終ラウンドである 20R

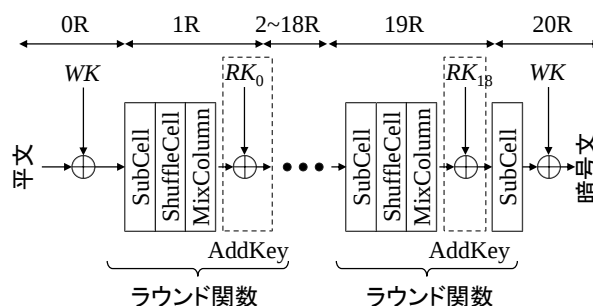


図1 Midori128

表1 Midori64/128 に対する電力解析

	Midori128	Midori64
差分電力解析	本研究	—
相關電力解析	[6][7]	[4]
深層学習電力解析	[8]	[5]

を対象にレジスタ間 HD を計算し、解析に利用している。

一方で、差分電力解析に関する研究は報告されていない。耐タンパ性の評価において、様々な解析手法に対する安全性を定量的に評価することは非常に重要である。

3. 提案手法

本研究では、Midori128 に対する差分電力解析を提案する。提案手法では、先行研究と同様にデータレジスタ間の HD の計算を行う。具体的には、Midori128 の 20R における SubCell の処理前後の HD を計算する。この計算では、既知の暗号文と 4bit の鍵候補を利用した計算を行う。提案手法の概要を図 2 に示す。そして、計算した HD に基づき消費電力波形を 2 つのグループ（グループ 0 とグループ 1）に振り分ける。そして、各グループでの平均値を算出し、2 つのグループの平均波形の差分を計算し、これを差分電力波形とする。最後に、この差分電力値を最大とする鍵候補を正解鍵として推定する。

4. 評価実験

実験では、FPGA ボードとして SASEBO-GII を使用し、Xilinx Virtex-5 XC5VLX30 に Midori128 を実装した。消費電力の測定に使用したオシロスコープは Keysight DSOX1024G であり、サンプリングレートは 2GSa/sec、周波数帯域は 200MHz である。

消費電力波形は 20,000 個取得し、解析を行った。また、差分電力解析では利用する選択関数によって耐タンパ性が異なることが知られている。本研究では、表 2 に示す選択関数を利用した。

実験結果を図 3 に示す。図 3 の横軸は解析に使用した消費電力波形の数を、縦軸は解析に成功した秘

密鍵の bit 数を示している。実験結果より選択関数②を使用したときは 5,000 波形で 120bit の秘密鍵の解析に成功しており、最も解析精度が高いことが確認できる。

また、全体の傾向として選択関数②③④を使用した場合は、選択関数①⑤⑥と比較して解析に成功している鍵数が多いことが分かる。このことから、4bit の暗号中間値においては HD が 2 を中心に、グループ分けすると正解鍵における差分電力値が大きくなり正解鍵数が増加すると考えられる。

最後に、最も解析精度の良い選択関数②（グループ 0：HD が 0,1、グループ 1：HD が 2,3,4）の結果と先行研究 [7]での相関電力解析の結果で比較した。比較結果を図 4 に示す。実験結果から相関電力解析では、8,000 波形で全ての秘密鍵の推定に成功していることが分かる。したがって、Midori128 における耐タンパ性評価では、差分電力解析よりも相関電力解析の方がより効率的な安全性評価が可能だと考えられる。

表 2 使用した選択関数

	グループ 0	グループ 1
①	HD: 0	HD: 1, 2, 3, 4
②	HD: 0, 1	HD: 2, 3, 4
③	HD: 0, 1	HD: 3, 4
④	HD: 0, 1, 2	HD: 3, 4
⑤	HD: 0, 1, 2, 3	HD: 4
⑥	HD: 0	HD: 4

SubCellの中身

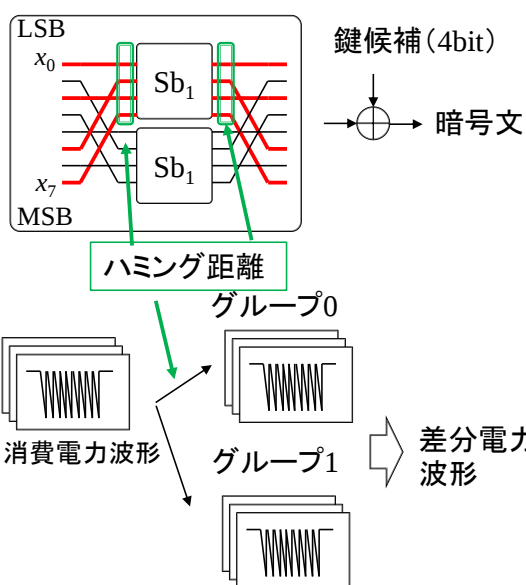


図 2 提案手法の概要

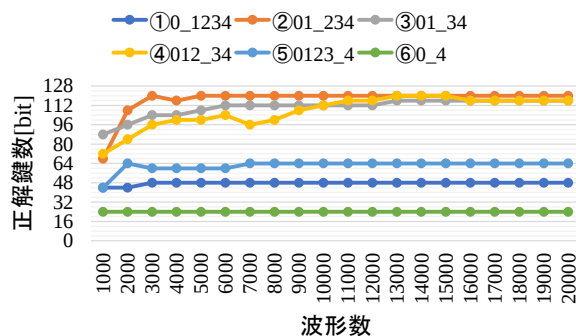


図 3 各選択関数における差分電力解析の結果

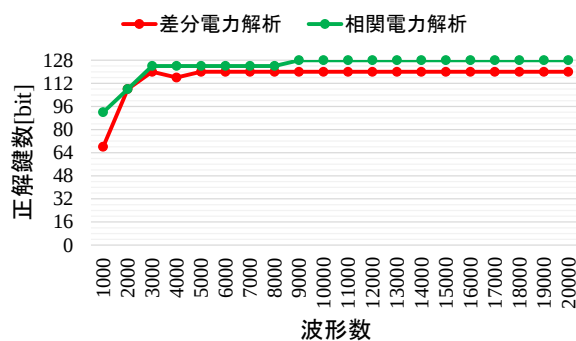


図 4 差分電力解析と相関電力解析の比較結果

5. まとめ

本研究では、Midori128 に対する差分電力解析を提案し、その耐タンパ性について定量的に評価した。実験では FPGA 実装した Midori128 に対して、差分電力解析を行った。その結果、選択関数②を用いた解析では、5,000 波形で 120bit の秘密鍵の推定に成功しており、最も解析精度が高くなることが分かった。また、相関電力解析との比較では、8,000 波形で全ての秘密鍵の推定に成功していることから、相関電力解析の方がより効率的に Midori128 の耐タンパ性評価が可能であることを明らかにした。

今後は、HD だけでなくハミング重みに着目した電力解析による評価や、耐タンパ実装した Midori128 に対して様々なサイドチャネル解析手法による安全性評価を行う予定である。

連絡先

野崎佑典

E-mail: 143430019@ccalumni.meijo-u.ac.jp

参考文献

- [1] S. Banik, A. Bogdanov, T. Isobe, K. Shibutani, H. Hiwatari, T. Akishita, and F. Regazzoni, “Midori: A Block Cipher for Low Energy,” Proc. of ASIACRYPT 2015, LNCS. 9453, pp. 411–436, Springer, Dec. 2015.
- [2] P. Kocher, J. Jaffe, and B. Jun, “Differential Power Analysis,” Proc. CRYPTO’99, LNCS 1666, pp. 388–397, Springer-Verlag, Dec. 1999.
- [3] E. Brier, C. Clavier, and F. Olivier, “Correlation Power Analysis with a Leakage Model,” Proc. 6th Int. Workshop Cryptographic Hardware and Embedded Systems (CHES 2004), LNCS 3156, pp. 16–29, Springer-Verlag, Aug. 2004.
- [4] 野崎佑典, 吉川雅弥, “低消費電力軽量暗号 Midori に対する階層的電力解析とその評価,” 電気学会論文誌 C, vol. 138, no. 12, pp. 1455–1463, Dec. 2018.
- [5] 佐孝心, 黒田訓宏, 福田悠太, 吉田康太, 藤野毅, “ハードウェア実装された軽量暗号 Midori64 に対する深層学習技術を用いたプロファイリング攻撃,” 電子情報通信学会技術研究報告, IEICE-HWS, vol. 122, no. 11, pp. 7–12, Apr. 2022.
- [6] 竹本修, 池崎良哉, 野崎佑典, 吉川雅弥, “Midori128 に対する電力解析攻撃手法と低エネルギーなセキュア実装,” 情報処理学会論文誌, vol. 63, no. 3, pp. 831–839, Mar. 2022.
- [7] 野崎佑典, 竹本修, 池崎良哉, 吉川雅弥, “Midori128 に対する RSM を利用したサイドチャネル対策,” 情報処理学会研究報告, IPSJ-CDS, vol. 34, no. 3, pp. 1–6, Jun. 2022.
- [8] 竹本修, 池崎良哉, 野崎佑典, 吉川雅弥, “ループ実装した PRINCE と Midori128 に対する DL-SCA,” 電子情報通信学会技術研究報告, IEICE-AI, vol. 122, no. 94, pp. 13–18, Jul. 2022.
- [9] CRYPTREC 暗号技術ガイドライン (軽量暗号), <https://www.cryptrec.go.jp/report/cryptrec-gl-2003-2016jp.pdf>

R-含意に基づくファジィ・モダス・トーレンス

Fuzzy Modus Tollens using Residual Implication

名城大学名誉教授 塚本弥八郎

Emeritus Professor, Meijo Univ. Yahachiro Tsukamoto

Abstract : Since Lotfi A. Zadeh formulated the compositional rule of inference so called “extension and projection”, various kinds of fuzzy reasoning methods have been studied with their mathematical properties. Mizumoto studied about many cases based on Max- $\otimes$ composition. The cases lead to t-norm ($\otimes$) family of fuzzy reasoning methods. In the process of *fuzzy modus ponens*, $\otimes$ is used twice, when defining fuzzy implication and in the process of composition. The use of two t-norms is the same when dealing with *fuzzy modus tollens*. In this paper first we formulate a simple method of *fuzzy modus tollens* and carry out the calculations about the nine combinations of such two norms, finally we will try to find which combinations have good properties from a normative point of view.

キーワード: R-含意: residual implication, ファジィ・モダス・トーレンス: fuzzy modus tollens,
規範的接近: normative approach

1. はじめに

本稿は学会誌「知能と情報」2020年10月号「東海支部特集号」に掲載されたショートペーパー「ファジィ・モダス・ポーネンスについての一考察」に続いて「ファジィ・モダス・トーレンス」(以下 f.m.t.) について考察する.

本稿では, たとえば, “*tall implies heavy*” に比してその逆 “*heavy implies tall*” は言い難いようなファジィ含意に基づいて構築されるファジィ関係を前提にして対偶 (contraposition) に当たるファジィ・モダス・トーレンスについて考察する.

“*tall implies heavy*” は “if tall then heavy” または “ $tall \rightarrow heavy$ ” で表され, tall を前件部, heavy を後件部と呼ぶ.

「ワクチン接種のグループ」と「偽薬のグループ」についてデータを収集しその有効性を検討する方法としてカイ自乗検定がある. その主要な処理過程は「2つのグループに差がない」(前件部)と仮定すれ

ば「カイ自乗値は一定の値未満になる」(後件部)という含意関係と実際のデータとから対偶を使って,

「2つのグループに差がある」ことをある信頼度で推理する. ところが「差がある」を前件部におくと, 「2つのグループに差がない」を前件部とした場合と違って合理的に計算をすすめることができない.

他に, 相関係数の有意性検定においても「無相関」を前件部に置くことから始まる.

大方の Significance Tests が底流の論理として対偶を背景にしている. 身近な事でも, たとえば「刑事ドラマ」では不確実または確実な対偶による推論が頻繁に見られる.

“*A implies B*” というファジィ含意の知識の下で, 後件部についての Incoming fact が B' のとき, A' を推理するのが f.m.t. (*Fuzzy Modus Tollens*)である.

f.m.p. の処理過程では含意の定義と合成則の 2 箇所
所で **t-norm** が使われた. 同様に f.m.t. においても,
R—含意を誘導する **t-norm** および合成則で用いる
t-norm を使って $A' = A'(\otimes_1, \otimes_2, B')$ と表現される.

本研究では上の $(\otimes_1, \otimes_2)$ について 9 通りの組, B'
については 2 通りの計 18 通りについての計算結果
を示す. さらに, f.m.t. が持つべき **general rules** に基
づいて, 上記の 2 つの **t-norm** のどの組み合わせが良
い性質を持つかについて調べる.

2. 記号と定義

A, A' で X 上の, B, B' で Y 上の正規ファジィ集合
とする. メンバシップ値を $A(x)$ のように記述し, A
の次元拡張を単に $A(x, y)$ のように記す.

直積空間 $X \times Y$ 上のファジィ関係 $D(x, y)$ の Y 上
のへの射影は

$$\text{Proj}_Y D(x, y) := \text{Max}_x D(x, y), \quad \forall y \in Y. \quad (1)$$

$D(x, y)$ の X 上のへの射影は

$$\text{Proj}_x D(x, y)(x) := \text{Max}_y D(x, y), \quad \forall x \in X. \quad (2)$$

f.m.t. ではこの (2)式を使う.

このファジィ推論のアルゴリズムを簡潔に言葉で
述べると,

「ファジィ含意を表すファジィ関係と,
f.m.p.(resp. f.m.t.) では X (resp. Y) 上のファジィ
入力 (Incoming fact) の次元拡張 (Cylindrical
Extension) との *and* 演算の結果を Y (resp. X) 上
に射影する」
となる.

定義 1. t-norm

2 項演算 $\otimes : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ が次の 4 条件
を満たすとき $\otimes$ を **t-norm** と呼ぶ,

1. $0 \otimes x = 0, x \otimes 1 = x,$
2. $x \leq y \rightarrow x \otimes z \leq y \otimes z,$
3. $x \otimes y = y \otimes x,$
4. $x \otimes (y \otimes z) = (x \otimes y) \otimes z.$

本稿で扱う **t-norm** は以下の 3 通り,

$\wedge$: 論理積, $\odot$: 限界積, 激烈積: ∇ .

定義 2 R—含意

$$I_r := \text{Sup} \{ r \mid a \otimes r \leq b \} \quad (3)$$

から誘導される含意を指す. 本稿では論理積, 限
界積および激烈積から誘導される 3 つの R—含
意について調べる. 具体的には次の 3 通りのも
のを使う.

論理積: $\min(x, y),$

限界積: $\max(x + y - 1, 0),$

激烈積: if $x \vee y = 1$ then $x \wedge y$, else 0.

上述の 3 つの **t-norm** から順に, Gödel,
Lukasiewicz および Weber の含意が誘導さ
れる. 以上のことを表 1 にまとめて示す.

表 1. 3 通りの R-含意

	t-norm leading to Residual Implication	R-Implication	name(year)
論理積	$a \wedge b$	$a > b, b, 1$	Gödel(1932)
限界積	$(a + b - 1) \vee 0$	$a > b, 1 - a + b, 1$	Lukasiewicz(1923)
激烈積	$a \vee b = 1, a \wedge b, 0$	$a = 1, b, 1$	Weber(1983)

3. Fuzzy Modus Tollens の基本式

合成則で使う一般化 *and* 演算の **t-norm** を $\otimes_2$
で表す. f.m.t は $A' = A'(\otimes_1, \otimes_2, B')$, すなわち,
2 つの **t-norm** と Incoming Fact としての B' から推
論結果 A' は決まる. 具体的には次式による.

$$A'(x) = \text{Proj}_x (B'(x, y) \otimes_2 R(x, y)), \quad \forall x \in X \quad (4)$$

$B'(x, y)$ は $B'(y)$ の次元拡張で x に依存しない.

$R(x, y)$ は $a(x) \rightarrow b(y)$ の真理値である.

計算例：f.m.t.

R-含意は限界積より構築, すなわち,
 $(1-a+b) \wedge 1$ とし, $\otimes_2$ に論理積を用いたとき

$$a' = \vee (b' \wedge ((1-a+b) \wedge 1)) \quad (5)$$

$$= \text{Max}_{a \leq b} \{b'\} \vee \text{Max}_{a > b} \{b' \wedge (1-a+b)\}. \quad (6)$$

例 1) $b' = 1-b$ のとき,
 $a' = 1-a$ を得る.

例 2) $b' = b$ のとき,
 $a' = 1$ (*unknown*) を得る.

以下, R-含意を誘導する $\otimes_1$ および合成過程での
 $\otimes_2$ としてそれぞれ 3 通り, および B' の 2 種類, 合計
 18 通りの組合せについての計算結果を表 2 に示す.
 計算の仕方は上記例題と同じである.

表 2. f.m.t. による a' の推論結果

	$\wedge$	$\odot$	∇
$\wedge$	$\alpha < 0.5, 1-\alpha, 0.5$	$1-a$	$1-a$
	$1-0.4a$	$\sqrt{1-a}$	$a=0,1,0$
$\odot$	$(2-a)/2$	$1-a$	$1-a$
	$(5-2a)/5$	$(4-3a)/4$	$a=1,1,0$
∇	$a=1, 0.5, 1$	$a=1,0,1$	$a=1,0,1$
	$a=1,0.6,1$	$a=1,0.25,1$	$a=1,0,1$

表 2 で, 第 1 列は (3) 式の t-norm, $\otimes_1$,
 第 1 行は合成則で使う t-norm, $\otimes_2$ を表す.
 3 x 3 の各セルの上段は $b' = 1-b$,
 下段は $b' = \sqrt{1-b}$ のときの a' の値である.

“ $a=1, 0, 1$ ” のような形は
 “if $a=1$ then $a'=0$ else $a'=1$ ”
 を意味する.

4. Normative Rules

R-含意を使っているので, ポーラーケースで通常の
 対偶となる.

本稿では次の 2 通りの評価方法で検証している.

A, A', A'' は X 上の正規ファジィ集合,
 B, B', B'' は Y 上の正規ファジィ集合とする,

評価法 1 (E1) :

$$B' = \neg B \Rightarrow A' = \neg A.$$

入力側で否定が来ると出力側も素直に否定されると
 というルールである.

表 2 に示した計算結果から (E1) を満たすのは,
 9 通りの組合せのうち,

G—限界積, G—激烈積,
 L—限界積, L—激烈積.

の 4 通りだけである.

合成則として論理積の使用は不成立となる.

評価法 2 (E2) :

$$B' \subseteq B'' \Rightarrow A' \subseteq A''$$

入力側にあいまいさが増えると出力側でも何程かあ
 いまいさが増える形で伝搬するという規則である.
 E1 をパスした 4 つの組合せの中, G—激烈積 と L—
 激烈積のペアが残る.

結論として, 2 つの t-norm ($\otimes_1, \otimes_2$) の表現で,
 (論理積, 限界積) および (限界積, 激烈積) の組
 合せの使用が安全と言える.

5. 考察と結び

本稿では, ポーラーケースではつねに 2 値論理に
 おける通常の推論結果に帰還する, という前提か
 ら始めているので 9 通りの計算結果を検討した.

これに対して Mizumoto[5] は Zadeh[2] による
 C.R.I. (Compositional Rule of Inference) におい
 て, 84 通りの計算結果を与えている. 即ち, 合成則
 では本稿の同じ形の 3 通, 含意のついては 7 通り,
 入力については 4 通りの組合せを用いた. ただし,
 対偶については論じていない.

塚本ら[7]は C.R.I. の逆問題を解くことで対偶を

考えた.

クリスプな場合にはいつでも 2 値論理の推論に還元されるという前提でのファジィ・モダス・ポーネンスに関する 4 個の General Rules の一つとして M. Baczynski ら [3] は次の項目を挙げている.

$$\text{GMP1: } B \subseteq B', \quad \forall A'.$$

これはどんな Incoming Fact に対しても, 推論結果は予め定めた含意の後件部より特定性が強くあつてはならないという規範である.

f.m.t. においても上記のような規則を定めたいのだが, そう容易ではない. 特に自然言語との対応がかなり困難である. この点については今後の課題である.

さらに, ファジィ集合論での否定(negation)の定め方はいろいろあり, 本稿では,

$$\neg B(y) := 1 - B'(y) \quad \forall y \in Y,$$

(one minus) のみを採用している. 他の否定形, たとえば, λ -否定などについて確認することは次の課題としてある.

文 献

[1] 塚本弥八郎: ファジィ・モダス・ポーネンスについての一考察, 知能と情報, 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.32, No.5, pp.866-868, 2020

[2] L.A. Zadeh: The concept of linguistic variable and its application to approximate reasoning – I, Information Science, Vol.8, No.4, pp.199-249, 1975

[3] M. Baczynski and B. Jayaram: Fuzzy Implications, Springer-Ferag, 2008

[4] 田中英夫, ファジィモデリングとその応用, ステム制御情報学会編, 朝倉書店, 1990

[5] M. Mizumoto: Fuzzy conditional inference under max- $\circ$ composition, Information Sciences, 27, 183-209, 1982

[6] C.P. Pappis and M. Sugeno: Fuzzy relational equations and the inverse problem, Fuzzy Sets and Systems, 15, 79–90, 1985

[7] Y. Tsukamoto: A normative approach to fuzzy logic reasoning using residual implication, J. of Advanced Computational and Intelligent Informatics, Vol.13, 3, pp.262--267 2009

[8] 塚本 弥八郎, 田代 勤: Fuzzy 逆問題の解法, 計測自動制御学会論文集, 15, 21-25, 1979

付録. 含意の例

$\{0, 1\}$ での含意の例では,

$$P := "x=1", \quad Q := "x^2=1".$$

$$P := "x \in A", \quad Q := "x \in A \cup B".$$

P は十分条件, Q は必要条件と普通と呼ばれているものである.

$[0, 1]$ では, χ 二乗検定など大方の

Significant test in statistics.

Conditional probability.

$$P := " \text{火のない所} ", \quad Q := " \text{煙は立たず} ".$$

$$P := " \text{couldn't} ", \quad Q := " \text{didn't} ".$$

$[0, 1]^*$ ファジィ含意関係では,

$$A := " \text{very tall} ", \quad B := " \text{heavy} "$$

$$LP := \text{Warning}, \quad LQ := \text{Advice}$$

連絡先: yytsukamoto@ac.auone-net.jp

令和4年8月18日
第52回東海フアジィ研究会招待講演資料

オンデマンド講義用ビデオ作成のための 自作ノート読み上げマクロの紹介

講演内容

1. 作成した講義資料の紹介
2. 自作ノート読み上げマクロの実演
3. スライド原稿作成の基本方針
4. ノート読み上げマクロ作成の基本方針
5. マクロ作成に至るまでの経緯

講義資料

1. タシケント工科大学（ウズベキスタン）支援事業 by 名古屋大学

目的：学部講義の刷新

古橋の担当科目：Electromagnetics
Electric Circuits
Electronic Circuits

オンデマンド用講義資料の作成

2. 社団法人GaNコンソーシアム パワーエレクトロニクス講習会

◆講義期間 2021年11月29日～5月15日（全12回）

◆開催形式 動画配信（講義） ➡ オンデマンド用講義資料の作成
毎回製作課題付き
Zoomミーティング（質疑応答時）

講演内容

1. 作成した講義資料の紹介
2. 自作ノート読み上げマクロの実演
3. スライド原稿作成の基本方針
4. ノート読み上げマクロ作成の基本方針
5. マクロ作成に至るまでの経緯

講演内容

1. 作成した講義資料の紹介
2. 自作ノート読み上げマクロの実演
3. スライド原稿作成の基本方針
4. ノート読み上げマクロ作成の基本方針
5. マクロ作成に至るまでの経緯

3. スライド原稿作成の方針

どこの説明をしているのかを判りやすく

- ・スライド内の図・式等を細分化する.
- ・アニメーションにより図・式を順次追加して、学習者の注意を引く.
- ・図・式の追加には少し時間をかける.

講演内容

1. 作成した講義資料の紹介
2. 自作ノート読み上げマクロの実演
3. スライド原稿作成の基本方針
4. ノート読み上げマクロ作成の基本方針
5. マクロ作成に至るまでの経緯

4. テキスト読み上げマクロ作成の方針

ワンクリックで全てを処理

図・式などのアニメーション設定
 ノートからの音声ファイル作成
 音声ファイルのスライドへの埋め込み
 音声ファイルのアニメーション設定
 スライドショーの実行

ワンクリックでビデオ化

講演内容

1. 作成した講義資料の紹介
2. 自作ノート読み上げマクロの実演
3. スライド原稿作成の基本方針
4. ノート読み上げマクロ作成の基本方針
5. マクロ作成に至るまでの経緯

5. マクロ作成に至るまでの経緯

パワーポイントでノートの読み上げを行う ← 不採用
 方法を徹底解説

<https://powerpoint-univ.com/narration/>

しゃべるパワポの作り方

← 採用（2020年4月）

https://recruit-lattice.jp/ppt_tts_1/

5. マクロ作成に至るまでの経緯

2020年5月7日投稿

PowerPoint のノートを音声読み上げて
 スライドに埋め込む ← 気づかなか
 った

<https://qiita.com/aadiimmz/items/3d58e8a6514de82de4ec>

2022年3月11日

VOICEPEAK発売 初回限定優待版 15,800円 ← 購入
 （現在23,800円）



クリック数が多い！

薫染庵途上日誌

ノート読み上げを含むPowerPoint

← 2022年4月時点で
 これを採用

<https://kunsen.net/2020/09/13/post-3293/>

講演内容

1. 作成した講義資料の紹介
2. 自作ノート読み上げマクロの実演
3. スライド原稿作成の基本方針
4. ノート読み上げマクロ作成の基本方針
5. マクロ作成に至るまでの経緯

6. 付録

6. 付録

大きな問題

音声ファイルのアニメーション設定が図形などのアニメーション設定を破壊！！

破壊されない設定

表示、スライドイン、スプリット、ワイプ、ホイール、ランダムストライプ

破壊される設定

フェード、フロートイン、図形、グローとターン、ズーム、ターン、バウンド

強調、終了 ← 削除

6. 付録

Office VBAのサポートおよびフィードバック欄

同じ問題で困っているユーザからの質問

投稿日 Dec 3, 2020

How to Adjust Audio shape properties in animation timeline without messing with other animations?

0 answers!!

6. 付録

大きな問題

音声ファイルのアニメーション設定が図形などのアニメーション設定を破壊！！

破壊されない設定

表示、スライドイン、スプリット、ワイプ、ホイール、ランダムストライプ

破壊される設定

フェード、フロートイン、図形、グローとターン、ズーム、ターン、バウンド

強調、終了

デフォルト
アニメーション

特殊効果
スライド

音声ファイルのアニメーション設定をしない。

6. 付録

小さな問題

スライドがマクロ中毒！

禁断症状

リボンのスライド複製

最終スライドがスライドショーで開けない！

中毒症状

アニメーション設定が能率化され、ユーザがコンテンツ作りに専念できる！

マクロを使っている限り、最終スライドは開ける。

アスリートの体調を管理支援するアプリケーション Athlete Data Loggerの開発

Developing An Application to Support Managing Physical Condition of Athletes

加納 政芳¹ 佐藤 陽菜¹ 足木 菜友紀¹ 二瓶 雄樹²
Masayoshi Kanoh¹ Haruna Sato¹ Nayuki Ashiki¹ Yuki Nihei²
三宅 恵介² 種田 行男²
Keisuke Miyake² Yukio Oida²

¹ 中京大学 工学部

¹School of Engineering, Chukyo University

² 中京大学 スポーツ科学部

²School of Health and Sport Sciences, Chukyo University

Abstract:

1 はじめに

アスリートの競技パフォーマンスを試合日に合わせてピークに導くためには、日頃の体調管理（コンディショニング）と体力・技術レベル向上のためのトレーニングが重要である [1]。2010 年に策定された「スポーツ立国戦略」などの国家的取り組みにより、我が国のスポーツに対する国際的な競技力は向上し、東京オリンピック 2020 において史上最多のメダルを獲得するに至っている。今後も高い競技力を維持するためには、トップアスリートを養成するスポーツ団体やスポーツ系大学において、科学的根拠に基づいたコンディショニングならびにトレーニングの管理・実施をすることがあげられる。言い換えるならば、現場で得られたデータをアスリートの競技力向上に活用するためには、アスリート自身による正確な記録とそれに基づく指導者やトレーナーなどのスタッフによる適切な対応が不可欠である。しかしながら、すべてのスポーツ実践現場においてエビデンススペースの指導がなされているわけではなく、アスリート自身の主観的判断によるコンディショニング管理およびトレーニング実施もしばしば見受けられる。このような現状を踏まえ、本研究では、コンディショニングならびにトレーニングを管理・実施するための携帯電話アプリケーション Athlete Data Logger (ADL) を開発し [2]、アスリートのパフォーマンス向上をサポートすることを考える。本稿では、アプリの機能について概説する。

2 Athlete Data Logger

Athlete Data Logger (ADL) は 2 種類ある。一つはアスリート用、もう一つはコーチ用である。それぞれのアプリは同一のデータベースに接続し、アスリート用 ADL では自身のデータ登録および閲覧を、コーチ用 ADL ではアスリートのデータ閲覧を行う（図 1）。本

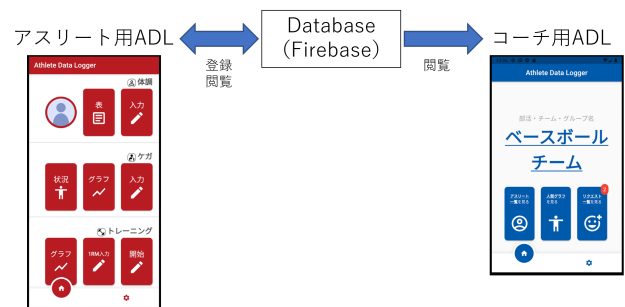


図 1: ADL 全体図

節では、まず ADL の開発環境について述べた後、アスリート用 ADL、コーチ用 ADL について順に説明する。

2.1 開発環境

開発環境には、マルチプラットフォーム開発フレームワークの一つである Flutter¹を採用した。Flutter を用いることで、Android OS, iOS などの OS を問わずにアプリケーションのインストールが可能であり、アスリートが所有するほぼすべてのスマートフォンで利用できる。また、データベースにはモバイル・Web アプリケーション開発プラットフォームの一つである Firebase²を採用した。Firebase によってアカウント管理をすることで、個人情報の保護や、端末の変更ができる。

2.2 アスリート用 ADL

アスリート用 ADL には、体調管理機能およびトレーニング管理機能がある。

2.2.1 体調管理機能

自己管理を実施する場合、自身のコンディションの各要素をチェックし、そのデータを記録していくことが重要である [3]。体調入力では、「体重、体温、健康状態（頭痛、咳、鼻水など）、睡眠、食欲、便通、朝食の摂取状

¹version 2.5.3, <https://flutter.dev/>

²version 9.0.2, <https://firebase.google.com/>

況」などを記録する。また、ケガの状況の入力では、国際オリンピック委員会による部位分類（24 部位）[4] を更に 91 項目に細分化し、ケガをした部位に対して、その日付、詳細、原因、痛みの度合い、回復行動を記録する。スポーツ活動において、過去に受傷したことがあるというのが、将来の受傷における最も大きなリスク要因の 1 つであり [5], 「日付」で結びつけられた過去のケガ情報を確認できることによって、受傷および再受傷リスクの低減が期待できる。なお、痛みの度合いの入力値には、日本語版 Talag Scale[6] を使用した。

2.2.2 トレーニング管理機能

本アプリケーションでは、いわゆるビッグ 3（ベンチプレス、スクワット、デッドリフト）をトレーニング対象とする。ビッグ 3 は、全身の大きな筋肉を効率よく鍛えることができること、またそれにより身体基礎ができ、人が本来持っている能力の引き出し方を体得できることから、本アプリケーションの第 1 段階のトレーニング内容として採用した。

トレーニングの流れは次のとおりである。まず、アスリート自身の 1RM を入力する。ここで、1RM とは 1 度だけ持ち上げることができる最大の負荷値を指す [5]。次に、目的に応じてトレーニングを行う。目的には筋肥大と筋力アップの 2 種類がある。トレーニング方法は RM 法 [7] に基づいた負荷自動設定アルゴリズムで行う。同アルゴリズムの詳細については文献 [2] を参照されたい。

2.3 コーチ用 ADL

コーチ用 ADL には、ログイン認証とコーチがアスリートのデータを閲覧するための 3 つの機能：(1) コーチとアスリートを紐づけるアスリート登録認証機能、(2) アスリート一人一人の情報を確認するアスリートデータ閲覧機能、(3) アスリート全員のケガの状態を概観できるケガ情報一覧機能を実装した。

2.3.1 ログイン認証

ADL では、Google アカウントを使用したログイン認証を採用しており、高いセキュリティとログインの手軽さを実現している。アプリケーションを開くと初めにログイン画面からログインまたは新規登録する。その際に Google アカウントを選ぶまたは追加してログインする。なお、ログイン状態であればこの画面は表示されない仕様になっている。

2.3.2 アスリート登録認証機能

アスリート登録認証機能では、コーチと選手をスムーズに紐づけする。まず、コーチが自分自身のアカウント

をコーチ用 ADL に新規登録する際に「競技 ID」を設定する。次に、アスリートは、自分が所属する団体の競技 ID をアスリート用 ADL から入力する。すると、コーチの ADL がアスリート登録認証画面には「競技 ID」を設定したアスリートが一覧で表示される。コーチはそれらのうち、適当なアスリートのみを承認することによって、コーチはアスリートのデータを閲覧することができるようになる。

2.3.3 アスリートデータ閲覧機能

アスリートデータ閲覧機能では、アスリート個々の細かな状況を確認することができる。各アスリートのケガの部位に 0 を含めた 6 段階の痛みの度合いが表示される人型グラフ、および最近 1 週間の体調一覧、最近 1 カ月間のトレーニング実施日状況が表示される。

2.3.4 ケガ情報一覧機能

ケガ情報一覧機能では、選手全員のケガの状態を見比べることができる。アスリートデータ閲覧機能でも同様の人型グラフによってアスリートの状態を確認できるが、ここでは選手全員分の人型グラフを一覧で表示することでケガの状態を一度に確認することができる。

3 おわりに

本稿ではスマートフォンで選手の管理ができるアプリケーションについて概説した。現在、中京大学ソフトボール部ならびに柔道部の協力の下でアプリケーションの有効性について検討中である。

参考文献

- [1] B. Foran eds. “High-Performance Sports Conditioning,” Human Kinetics, 2001.
- [2] M. Kanoh et al. “Athlete Data Logger: A Smartphone Application for the Management of Strength Training and Conditioning of Athletes,” International Conference on Human-Computer Interaction, 2022.
- [3] 若林, “スポーツコンディショニングの基礎理論,” 西東社, 2014.
- [4] 砂川, “スポーツ現場の障害調査－ケガの予防につなげるための取り組み－,” ブックハウス HD, 2015.
- [5] G. G. Haff and N. T. Triplett, “Essential of Strength Training and Conditioning,” Fourth Edition, Human Kinetics, 2015.
- [6] 下井, 谷, “遅発性筋痛測定における 4 種類の疼痛測定法の信頼性,” 理学療法科学, 22(1), 125–131, 2007.
- [7] 池田, “トレーニング課題と筋の適応の個人差を考慮した筋力トレーニングの効果,” コーチング学研究, 31(2), 165–174, 2018. [

スパイキングニューラルネットワークの応答関数近似による高速化

-複数スパイク出力時の検証-

尾崎舜 高瀬治彦 北英彦

三重大学大学院工学研究科

1. はじめに

近年、様々な分野でディープラーニングをはじめとした機械学習が応用されている。そして今後も機械学習の応用範囲は拡大されることが見込まれている。しかし、大量のデータを処理するにあたって大きな問題となるのが消費電力である。今後も応用範囲が拡大するということは、処理対象となるデータ量も増える。これにより、今以上に高い処理能力と長い計算時間が必要とされると同時に、膨大な電力も必要とされる。この問題に対する解決策の1つとして、スパイキングニューラルネットワーク(SNN)が有効とされている。SNNとは、スパイク信号の数と時刻で動作するニューラルネットワークである。スパイク信号で動作することで、チップ化への親和性が高く、これによる省力化や小型化が行えるというメリットがある[1]。ネットワークは、多数のスパイキングニューロンにより構成される。スパイキングニューロンは、スパイク(パルス)信号をその入出力に用いるため、SNN全体で見てもスパイク信号を入出力する。

また、SNNのデメリットとして、計算時間の長さがあげられる。これは、スパイキングニューロン(SN)の出力計算の方法に起因する。SNは、スパイク信号が入力されると、各入力スパイクに対して単峰性の応答が生じ、それをすべて足し合わせたものを内部電位として、内部電位が発火しきい値を越えたか否かを逐次判定する。この単峰性の応答には、指数関数が使われている。一般に、四則演算に比べ指数関数の計算には多くの時間を要する。加えて、この応答は、0に漸近する性質を持ち、スパイクがいったん入力されると長い期間にわたり計算時間がかかる指数関数を繰り返し計算しなければならない。

これに対し、川西らは、この単峰性の応答を多項式により近似することで、ネットワークの学習能力の低下を避けつつ計算時間を短縮できることを示した[2]。しかし、川西らによる議論では、ネットワークを構成する各SNがただ一つのスパイクを出力する場合に限定していた。また、SNの実装によっては指数関数を計算することではなく、0に漸近する速さが計算時間に大きく影響するが、その観点からの議論がされていない。

本稿では、スパイクに対する応答の多項式近似による高速化について、川西らの議論で不足していた複数スパイクを出力する場合での評価および0に漸近する速さの影響についての議論を行う。

2. SNNとSN

本節ではSNNのネットワーク構造やその構成要素であるSNについて説明する。また、本稿ではSNNの学習法としてSLAYERを用いている[3]。

2.1 SNNのネットワーク構造

本研究では文献[4]で用いられているSNNモデルに基づいたものを採用する。このSNNは入力層、中間層、出力層からなり、各層は複数のSNにより構成される(図1)。入力層にはスパイク信号が入力され中間層のSNへとこれらを分配する。中間層の各SNでは受け取ったスパイク信号に応じて内部電位が変化し、発火しきい値を越えるたびにスパイクを出力し、出力層のSNへ伝達する。出力層でも中間層と同様の動作をし、ネットワークとしての出力スパイク列を出力する。入力スパイク列と出力スパイクの関係は学習を通じて調整される。

SNにスパイク信号が入力され、出力されるまでの過程について説明する(図2)[4]。時間 $t_i^{(f)}$ に入力層中の i 番目のSNに f 番目のスパイク信号が入力されるとすると、入力スパイク $s_i(t)$ は式(1)であらわされる。SNにスパイクが入力されると、内部電位 $u(t)$ はスパイク応答関数 $\varepsilon(t)$ に従った単峰性の応答に従い変化する(式(2), [4])。内部電位が発火しきい値を越えると発火するが、同じSNが連続して発火するのを防ぐため、不応期関数 $v(t)$ により内部電位を抑制する(式(3))。あるSNの内部電位は、そのSNにその時点までに入力されたすべてのスパイクに対する応答関数の値とそのSNが出力したすべてのスパイクに対応する不応期関数の値を合計したものとなる。ただし、入力されたスパイクの応答については、そのスパイクが入力された信号線に対応づけられた時間遅れ d だけ遅延した後に、結合荷重 w で重み付けて計算する(式(4))。ここで、 $a_i(t) = (\varepsilon * s_i)(t)$ とする。また、 T は行列の転置を表している。

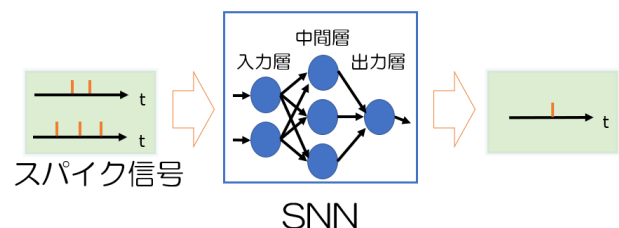


図1. SNNの構造と入出力の様子

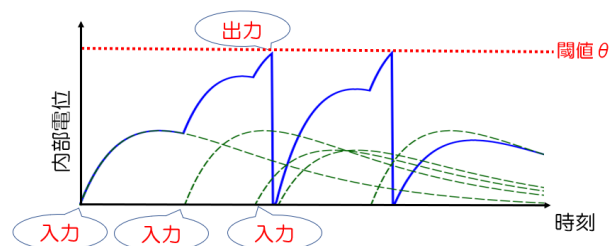


図2. SNの入力から出力までの流れ

$$s_i(t) = \sum_f \delta(t - t_i^{(f)}) \quad (1)$$

$$\varepsilon(t) = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ A \frac{t}{\tau} \exp\left(1 - \frac{t}{\tau}\right) & (t > 0) \end{cases} \quad (2)$$

$$v(t) = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ -2\theta \exp\left(-\frac{t}{\tau_r}\right) & (t > 0) \end{cases} \quad (3)$$

$$u(t) = \sum w_i(\varepsilon * s_i)(t) + (v * s)(t) \\ = \mathbf{w}^T \mathbf{a}(t) + (v * s)(t) \quad (4)$$

2.2 学習法: SLAYER

ここでは今回用いる学習法の SLAYER について文献[3]を参考に簡単に説明を行う。詳細は元の文献を参考されたい。まず、損失関数 E は式(5)で表される。 T はデータ 1 回の学習時間を表しており、 $\hat{\mathbf{s}}(t)$ は教師あり学習による望みの出力時刻とその本数である。これを参考に、層 1 での誤差 $e^{(l)}$ は式(6)のようになる。 $\mathbf{w}^{(l)}$ は層 1 のシナプスの結合荷重全体を表す。 $\delta^{(l)}(t)$ は式(7)のように定義する。式(7)中の記号 $\odot$ について、時間軸で見た要素ごとの相関を表す。

$$E = \int_0^T L(\mathbf{s}^{(n)}(t), \hat{\mathbf{s}}(t)) dt \\ = \frac{1}{2} \int_0^T \left(\varepsilon * (\mathbf{s}^{(n)}(t) - \hat{\mathbf{s}}(t)) \right)^2 dt \quad (5)$$

$$e^{(l)} = \begin{cases} \frac{\partial L(t)}{\partial a^{(n)}} & \text{if } l = 0 \\ (\mathbf{w}^{(l)})^T \delta^{(l+1)}(t) & \text{その他} \end{cases} \quad (6)$$

$$\delta^{(l)}(t) = \rho^{(l)}(t) \cdot (\varepsilon_d \odot e^{(l)})(t) \quad (7)$$

式(7)の $\rho^{(l)}(t)$ について、SLAYER ではスパイク出力が発生する確率を用いて動作しており、これを発火確率密度関数 $\rho(t)$ として式(8)で表される。式(8)からわかるように、内部電位 $u(t)$ と閾値 θ の差から発火確率が決められており、 $u(t) - \theta$ が小さくなるほど $\rho(t)$ が大きくなっている。また、 α と β は任意のパラメータである。

$$\rho(t) = \frac{1}{\alpha} \exp(-\beta |u(t) - \theta|) \quad (8)$$

以上の式(5-8)をもとに、誤差逆伝搬を行う。結合荷重に関しては式(9)、遅れに関しては式(10)で誤差逆伝搬を通して学習を行う。

$$\nabla_{\mathbf{w}^{(l)}} E = \int_0^T \delta^{(l+1)}(t) (\mathbf{a}^{(l)}(t))^T dt \quad (9)$$

$$\nabla_{\mathbf{a}^{(l)}} E = - \int_0^T \dot{\mathbf{a}}^{(l)} \cdot \mathbf{e}^{(l)}(t) dt \quad (10)$$

2.3 SNN の計算時間

SNN は、その動作のためにさまざまな数式を計算するため、計算時間が長くなる。SNN の計算時間の多くは出力計算時に費やされる。出力計算時には、各 SN の内部電位を時々刻々と計算し、発火しきい値を越えたかどうか判定することを繰り返す。それに対し、学習時は既に求められた発火時刻をもとに計算を行う。そのため本稿では、発火判定を何度も繰り返す出力計算時の計算時間に着目する。内部電位は、各入力スパイクに対する応答関数・各出力スパイクに対する不応期関数の合計として表される。応答関数・不応期関数ともに指数関数により構成されており、多項式に比べ、計算時間がかかる。また、これらの関数はいずれも 0 に漸近するので、いったんスパイクが発生したらずっと計算する必要があり、スパイク数の増加に伴い計算時間がかかるようになる。本稿では各ユニットの入力スパイク数が出力スパイク数よりも多いことから、応答関数のみに着目して議論を行う。

3. スパイク応答関数 (SRF) の多項式による近似

本節では、単数スパイク出力のデータ学習に対して、スパイク応答関数の近似によって高速化を行った文献[2]について簡単に説明し、本稿における検討事項について述べる。

3.1 任意の次数を用いた SRF の多項式近似

文献[2]では、式(2)の SRF に対し、式(11)の多項式により近似することで、計算時間の短縮を図っている。近似による影響を調べるため、多項式の次数を変化させて、計算時間などを調査した。多項式近似により、計算時間がかかる指数関数を使わずに応答関数が計算でき、また 0 に漸近するのではなくある時刻で 0 になるように近似することで、いったん発生したすべてのスパイクに対して応答関数を計算する必要がなくなり、計算時間を減らすことができる。

式(11)は、先に述べた①多項式による近似、②ある時刻で 0 となる点があるだけでなく、③時刻 0 から頂点までの近似精度が高い、④応答が 0 になる点では、微係数が 0 となるように注意して定められた。図 3 に 3 次式、5 次式、7 次式で近似した場合の応答関数と、元の応答関数を比べた図を示す。

$$\varepsilon(t) = \frac{\varepsilon_{\max}}{(1-n)^{n-1} T_p^n} t(t - nT_p)^{n-1} \quad (11)$$

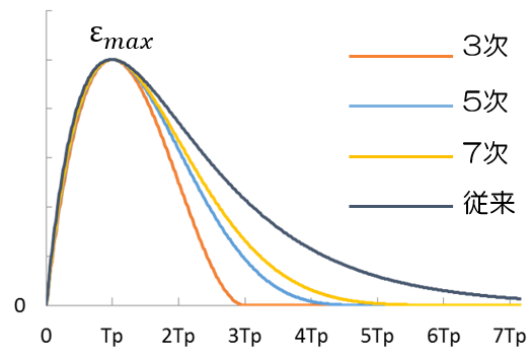


図 3. 従来の SRF と式(11)による近似の比較

3.2 検討事項

本稿でも SRF の近似によって、学習精度を保ちつつ高速化を行う。文献[2]を踏まえた上で、本稿の検討事項について以下の 2 点を取り上げる。

1. SRF の後半部分に対する検討
2. 次数が変化しない状態での検討

まず、1.に関して、文献[2]では SRF の頂点付近までしか検討が行われていなかったためである。これは、使用していた学習データに大きく関係している。文献[2]では学習データとして時間版 Iris データセットを用いている。この学習データでは出力スパイクが 1 つだけである。出力が 1 つだけとなると、SRF の頂点付近までが最も大きく影響を与える。そのため、図 3 のように SRF の 0 となる点が変わることによる影響が検討しきれていない可能性がある。

次に、2.に関して、3.1 で上述したように、式(11)では、次数の変化をもとに 0 となる点を変えることが可能である。しかし、同時に次数の変化による計算時間の変化が生じてしまう。そのため、次数が変化しない状態で、0 となる点を変化させて検討を行う必要がある。

3.3 新たな SRF の多項式近似と学習データ

3.2 の検討事項を踏まえ、新たな近似式として以下の式(12)を用いる。次数は変化せず、4 次関数を用いている。0 となる点の変化は k で調整でき、 $2T_p \sim 4T_p$ の範囲で調整可能である。しかし、導出の都合上、式(12)より k には範囲があるため、その範囲で検討を行った。図 4 に元の SRF と式(12)による $k=2, 4$ の SRF を示す。

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_{\max} \frac{(3-k)}{(k-1)^3 T_p^4} t(t-kT_p)^2 (t-2\frac{2-k}{3-k}T_p) \quad (12)$$

($2 \leq k \leq 4, k \neq 3$)

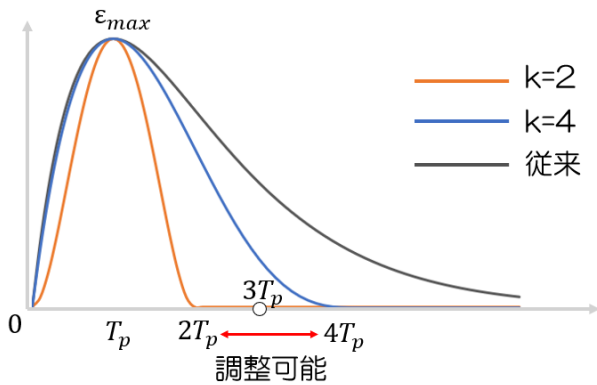


図 4. 従来の SRF と式(12)による近似の比較

最後に、本稿の学習データに関して説明する。図 5(a)のような入力に対して、図 5(b)のような出力に変換する学習データを用いる。(a)と(b)それぞれで、縦軸は入力・出力ニューロンの番号を示しており、横軸は入力時刻・望みの出力時刻である。図 5(b)からわかるように、1 つのニューロンに対して多くの出力がなされており、これを用いて 3.2 の検討事項

1 について検討を行う。

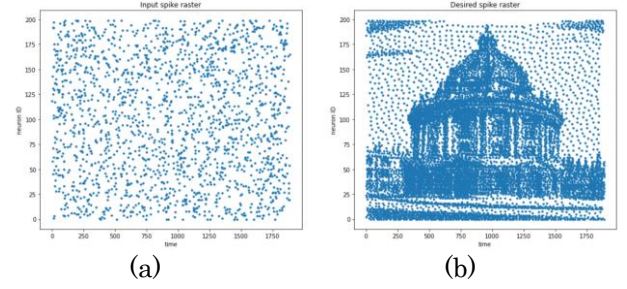


図 5. 学習データの入力(a)と望みの出力(b)

4. 実験

本節では、図 5 の学習データに対して、SRF を式(12)に近似した際に、学習精度と学習速度の影響について実験を通して検証する。

4.1 実験条件

図 5 に対して、表 1 の実験条件で式(12)の近似をし、10,000 回の学習を行った。学習精度として最後 100 回の学習誤差を、学習速度として 10,000 回の学習終了までの時間を計測した。計測の際には、式(12)のパラメータ k を 0.5 ずつ変化させてそれぞれ計測を行った。また、 $k \neq 3$ であり、式(12)は全体的な概形として、 $k < 3$ の場合は下に凸、 $k > 3$ の時は上に凸のグラフとなる。そのため、 $k = 3$ の代わりに $k = 2.999, 3.001$ の 2 つの場合において計測を行った。

表 1. ネットワーク構造

入力層ユニット数	200
中間層ユニット数	256
出力層ユニット数	200
A	1
τ	10
τr	10
θ	10
α	10
β	0.1

4.2 実験結果と考察

従来の SRF と式(12)を k を 0.5 ずつ変化させた最後 100 回の平均誤差を表 2 に示す。また、元の SRF と式(12)の $k = 2$ の場合について、学習による誤差の推移と学習後の出力の様子を図 7 に示す。図 7(a)(b)は横軸が学習回数、縦軸が誤差の大きさであり、(c)(d)は横軸が時間、縦軸が出力ニューロンの番号を表している。オレンジの点が実際の出力で、青の点が図 5(b)でも示した望みの出力である。10,000 回の学習時間について 3 回平均を表 3 に示す。

表 2. 最後 100 回の平均誤差

k	最後 100 回平均
近似前	42200
2.0	5090
2.5	10700
2.999	14900
3.001	15800
3.5	17600
4.0	20100

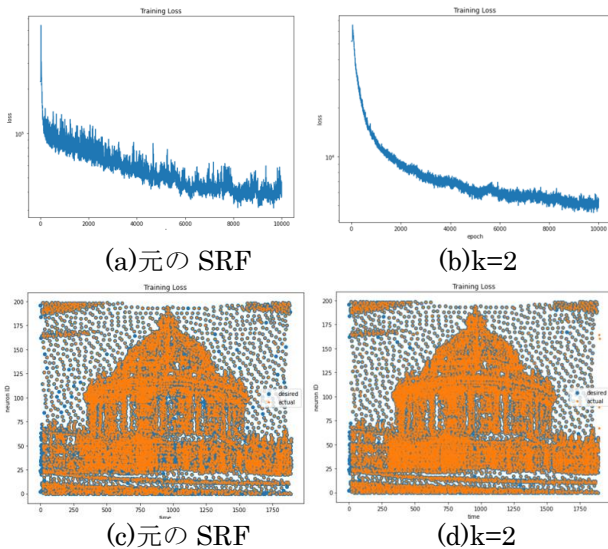


図 7. 誤差の推移(a)(b)と学習後の出力(c)(d)の比較

表 3. 学習時間

k	学習時間
近似前	98.0
2.0	85.6
2.5	87.8
2.999	87.8
3.001	87.5
3.5	86.4
4.0	92.0

まず、学習精度に関して検討する。表 2 から、 k が小さいほうが最後 100 回の平均誤差が小さく、元の SRF は最も平均誤差が大きいことがわかる。つまり、SRF の概形は T_p を過ぎた後は早めに 0 に接するほうが学習精度が良くなるということになる。これは、なだらかに 0 に接するとその分のちの学習ではノイズになってしまうためと考えられる。これについては、学習データにも依存するので別のデータによる検討が必要である。

次に学習時間に関して検討する。表 3 から、傾向

としては学習精度と同様に、元の SRF が最長で k が小さいほうが学習時間が短いことがわかる。つまり、学習時間も T_p を過ぎた後は早めに 0 に接するほうが良いことがわかる。これは、早めに 0 に接することで、内部電位の計算負荷が減り、その分、計算時間の短縮につながったと考えられる。ただし、計算時間の短縮の効果がそれほど大きくなかったのは、今回対象とした実装が、応答関数を何度も計算し直すのではなく、応答関数の値をテーブルルックアップ方式により計算するものであったためだろう。そのため、 k が変化して 0 になる時刻が早くやることで、テーブルのサイズが小さくなり計算時間が短縮したものと考えられる。

5. まとめ

本稿では、複数のスパイク出力がある学習データに対し、SRF を次数変化のない多項式の近似した際の学習精度と学習時間について検討した。文献[2]を踏まえ、ここでは次数が変化しない状態で、0 となる点をパラメータ k によって移動させることで検討を行った。

結果として、SRF の 0 となる点は短いほうが学習精度も学習時間も改善された。学習精度に関しては、従来の式(2)のようになだらかに 0 に接する SRF では、後の学習に影響するためと考えられるが、別の学習データでも検証が必要である。学習時間に関しては、0 となる点が短いことで、内部電位の計算負荷が抑えられたと考えられる。

今後の取り組みとして、①別の学習データでの検証、②不応期関数 $v(t)$ ・発火確率密度関数 $p(t)$ の近似 ③ 2 次関数や直線での近似 が挙げられる。

参考文献

- [1] Michael Pfeiffer, Thomas Pfeil: Deep Learning With Spiking Neurons: Opportunities and Challenges, *frontiers in Neuroscience*, Vol. 12, No. 774, pp. 1-18, 2018
- [2] Koya Kawanishi, Haruhiko Takase, Hiroharu Kawanaka, Shinji Tsuruoka: Reduce the Computing Time for SpikeProp by Approximation of Spike Response Function, *Procedia Computer Science*, Vol. 96, pp. 1186-1192, 2016
- [3] Sumit Bam Shrestha, Garrick Orchard: SLAYER: Spike Layer Error Reassignment in Time, *frontiers in Neuroscience*, Vol. 12, No. 774, pp. 1-18, 2018
- [4] Olaf Booji, Hieu tat Nguyen: A gradient descent rule for spiking neurons emitting multiple spikes, *Information Processing Letters*, Vol. 95, pp. 552-558, 2005

高度な AI は人と同程度の楽しさを提供できるか

Can Advanced AI Provide the Same Level of Enjoyment as Humans?

○ 杉山 天志, 高橋 諒, 加納 政芳

○ Takashi Sugiyama, Ryo Takahashi, Masayoshi Kanoh

中京大学

Chukyo University

1 はじめに

近年、ゲーム AI の分野では、人が操作しているときと近い動きをするキャラクターが実現できるようになってきている [1, 2, 3, 4]. その一方で、ゲームをプレイする際の楽しみの要因として、競争要素が重要であり、対戦相手が人である方が、面白さが増す [5] とされている. 今後、AI の進化がさらに進み、人と遜色ないレベルになった時、ゲーム AI との対戦が、人との対戦と同等の面白さを有するかは疑問である. Kubo ら [6] は、コンピュータとの対戦でも、人と認知することで楽しさに影響があるのかを調査した. Kubo らは [6], 大学生 10 名にコンピュータと対戦を行う単独条件と、人と対戦を行うと伝え、実際にはコンピュータと対戦を行う対戦条件の 2 種類のゲームを行った. その結果、興奮度、面白さ、楽しさにおいて、対戦条件が単独条件に比べて有意に高かった. このことから、他者との対戦との思い込みが主観的な楽しさに影響することが分かる. 本稿では、先行研究と異なり、コンピュータ相手にゲームを行うと伝えて実際には人と対戦したときの心理変化を調査する. すなわち、対戦するコンピュータは人と同程度の能力をもつ仮想的な AI といえる. 実験では、バッティングゲームを独自開発し、進化したゲーム AI との対戦が、人との対戦と同等の面白さを有するか検討する.

2 バッティングゲーム

2.1 概要

図 1 に実験で使用するバッティングゲームを示す. 開発したバッティングゲームはピッチャーとバッターとの対戦ゲームである. 同図において、画面左上には最高記録、点数、ヒット数、ホームラン数、残球、飛距離が表示される. 困難な目標を与えられた場合の方が、容易な目標を与えられた場合よりもアイディア数・独創性共に高まることが知られている [7]. このことから、最高記録は実際の数字ではなく、超えるのが難しい数字を表示した.

2.2 ゲーム内容

実験でのゲームでは、実験参加者はピッチャーが投げてくる球を打ち、全 15 球の中で得点を得るものとする. 得点はヒットを 1 点、ホームランを 3 点とする. ピッ

チャーが投げる球種は速球と緩急の二種類であり、それに加え、投げる場所も変化する. ボール判定の球を見送った場合、残球は減らない. バッターは PC のマウスを操作することで、バットを動かすことができる. 図 2 に操作中の画面遷移を示す. マウスの左ボタンを押している間はバットのカーソルが表示され、マウスを移動することでカーソルも移動する. また、左ボタンを離すことで、バットを振ることができる. 実験では、ピッチャーを実験者がバッターを実験参加者が行う.

3 実験

3.1 実験手順

実験者と実験参加者はパソコンとモニターを挟んで対面しており、実験参加者は、実験者の動きを見ることはできない. 対戦相手が高度なレベルである場合、面白さよりも苛立ちが勝る可能性が高く、ゲームの楽しさを優先するのであれば、対戦相手である AI のスキルレベルは、人のスキルとほぼ同等レベルにする必要が示唆されている [8]. そこで、本稿のゲームにおける実験参加者の対戦相手（実験者）は、実験参加者が楽しめるように意識して配球する.

実験参加者は大学生 20 名（男性 19 名、女性 1 名）とする. 実験参加者は、コンピュータ相手にゲームを行うと伝えて人と対戦する「仮想 AI 条件」と、人相手にゲームを行うと伝えて人と対戦する「対人条件」の 2 種類のゲームを行ってもらう. なお、この 2 種類のゲームの対戦相手は、実験者であり、等しいゲーム内容となることに注意されたい. ゲーム後、事後アンケートによって実験参加者のゲームに対する印象を調査する.

以下に実験の手順を記す.

(1) ゲームの操作方法、ルールの説明をする.

(2) 30 球までの練習を行う.

(3-1) 仮想 AI 条件を行った後、アンケートに回答する.

(3-2) 対人条件を行った後、アンケートに回答する.

(4) 実験に対する感想を聞く.

ただし、手順 (3-1)、(3-2) の実施順序はカウンターバランスによって割り振る.

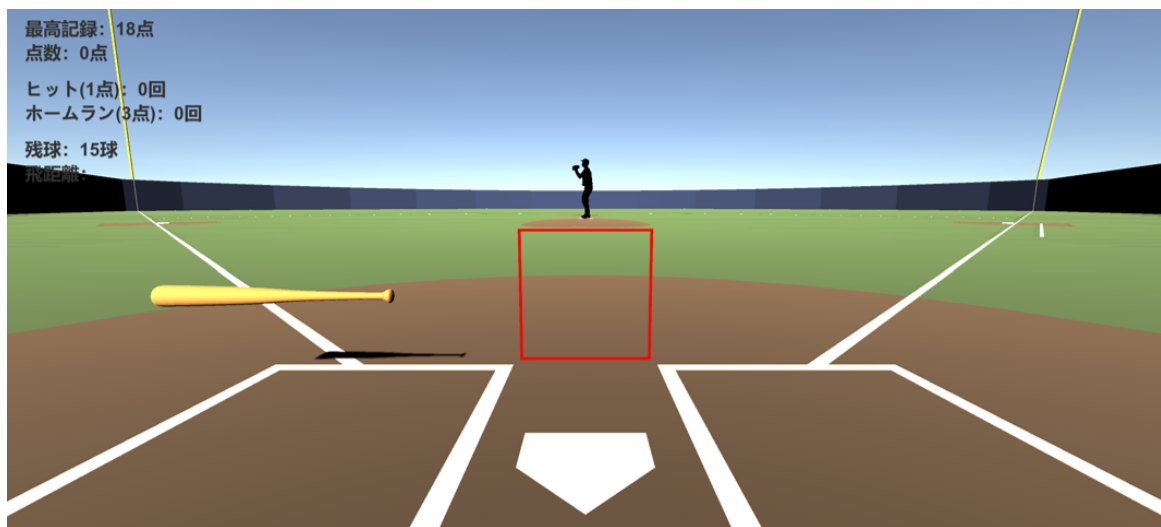


図 1: ゲーム画面

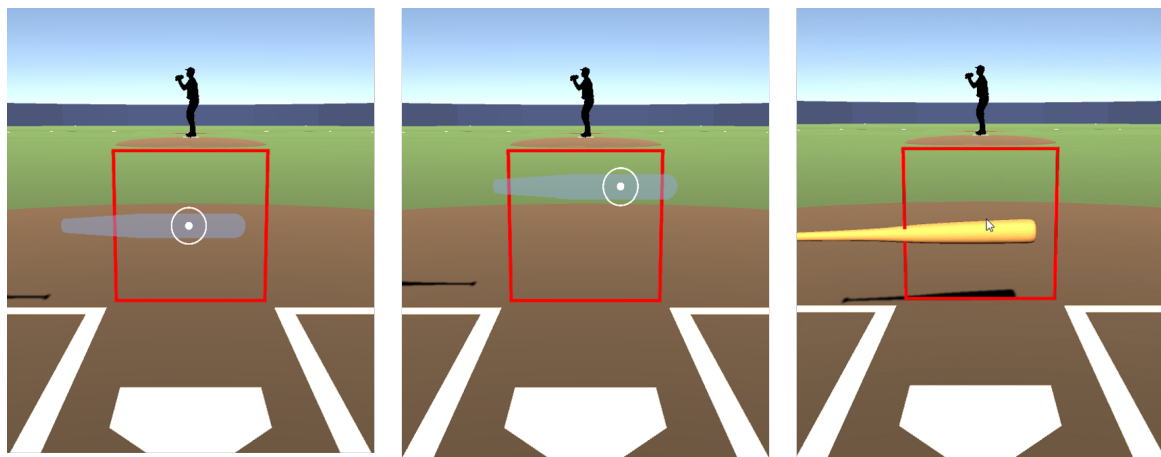


図 2: プレイ画面

表 1 に事後アンケートの内容を示す。アンケート内容は先行研究 [6] を参考に「不満度」に関する質問を 3 問（項目番号 1 ～ 3）, 「集中力」に関する質問を 1 問（項目番号 4）, 「熱中度」に関する質問を 3 問（項目番号 5 ～ 7）, 「楽しさ」に関する質問を 1 問（項目番号 8）, 「難しさ」に関する質問を 3 問（項目番号 9 ～ 11）の計 11 問とした。回答は 7 件法（1: 非常に思わない～7: 非常に思う）で求めた。なお、アンケートは仮想 AI 条件後と対人条件後の計 2 回行う。実験終了後、ゲームをプレイした感想を求めた。

3.2 実験結果

表 2 にアンケートの結果を示す。得られた結果に対してウィルコクソンの符号付順位検定を行ったところ、

熱中度に関する質問「相手の配球（投げってくる場所や球速）を読もうと考えた」について、対人条件のほうが有意に値が高いことがわかった（ $p = 0.016$ ）。一方で、それ以外の質問項目では、有意差は認められなかった。

4 考察

多くの項目で有意差が認められなかったことから、仮想 AI 条件では、対人条件と同等程度にゲームを楽しんでいたと推察される。これは、「コンピュータ対戦は得点を高めたいという気持ちが大きかった」などの回答から、コンピュータから高得点を挙げたいという心理が実験参加者に働いたことが要因と推察される。一方で、対人条件はアンケートの結果から、実験参加者は相手の考えを読むことを楽しんだものと考えられる。すなわち、

表 1: アンケート項目

1	ゲームのルール、システム（点数の付け方など）に不満を感じた。
2	自分のプレイに不満を感じた。
3	対戦相手のプレイ（投げてくる場所や球速）に不満を感じた。
4	ゲームに集中できた。
5	点数を上げようと熱が入った。
6	対戦相手の投げる球を打ちたいと身が入った。
7	相手の配球（投げてくる場所や球速）を読もうと考えた。
8	ゲームは楽しかった。
9	操作が難しかった。
10	球を打つのが難しかった（操作性を除く）。
11	最高記録を超えるのは難しかったと思った。

表 2: アンケート結果

項目 番号	対人条件		仮想 AI 条件		p 値
	M	SD	M	SD	
1	1.85	0.85	1.80	0.85	0.740
2	4.50	1.72	4.60	1.72	0.790
3	2.30	1.23	2.45	1.23	0.510
4	6.10	1.14	6.50	1.14	0.120
5	6.65	0.57	6.65	0.57	1.000
6	6.80	0.40	6.55	0.40	0.067
7	5.70	1.45	4.60	1.45	0.016*
8	6.70	0.71	6.75	0.71	0.780
9	4.50	1.88	4.90	1.88	0.230
10	5.65	1.15	5.35	1.15	0.250
11	6.50	0.92	6.15	0.92	0.063

*: $p < 0.05$

仮想 AI 条件においては記録を伸ばすことを、対人条件においてはその対戦者の心理を読むことをゲームの面白さとしてそれぞれ見出したと考える。この結果から、AI との対戦は、バッティングゲームのような心理ゲームに向かない可能性が示唆された。

5 おわりに

本稿では、コンピュータ相手にゲームを行うと伝えて実際には人と対戦したときの心理変化を調査することで、コンピュータとの対戦が、人との対戦と同等の面白さを有するかを調査した。その結果、仮想 AI 条件では記録を伸ばすことを、対人条件ではその対戦者の心理を読むことをゲームの面白さとして見出したと考えられた。一方で、対戦者の心理を読むことに関する質問項

目において、対人戦のほうが有意に値が高かったことから、AI との対戦は心理ゲームに向かない可能性が示唆された。

今後の展望として、プレイヤーと対戦相手の強さを変えて調査することで、変化が見られるのかを調べていく。また、心理戦のあるゲームとないゲームの比較を行いゲーム分野における AI の活用可能範囲を探る。

参考文献

- [1] J. Mandziuk and P. Szalaj: Creating a personality system for RTS bots. *Believable Bots: Can Computers Play Like People?* pp.231–264, 2012.
- [2] C. Bailey, J. You, G. Acton, A. Rankin and M. Katchabaw: Believability through psychosocial behavior: Creating bots that are more engaging and entertaining. *Believable Bots: Can Computers Play Like People?* pp.29–68, 2012.
- [3] N. Fujii, Y. Sato, H. Wakama, K. Kazai and H. Katayose: Evaluating human-like behaviors of video game agents autonomously acquired with biological constraints. *Advances in Computer Entertainment*, pp.61–76, 2013.
- [4] P. Spronck, M. Ponsen, I. Sprinkhuizen-Kuyper and E. Postma: Adaptive game AI with dynamic scripting. *Springer Science + Business Media*, pp.217–248, 2006.
- [5] P. Vorderer, T. Hartmann and C. Klimmt: Explaining the enjoyment of playing video games: the role of competition. *International conference on Entertainment computing*, pp.1–9, 2003.
- [6] K. Kubo, K. Okanoya and N. Kawa: Event-related P300 reflects enthusiasm for playing video games: The existence of an opponent increases immersion. *International Journal of Psychophysiology*, No.94, p.166, 2014.
- [7] 三浦 麻子: 課題遂行におよぼす目標設定と自律性の効果, 大阪大学人間科学部紀要, No.22, pp.111–132, 1996.
- [8] B. Soni: Bots trained to play like a human are more fun. *International Joint Conference on Neural Networks*, pp.363–369, 2008.

連絡先

杉山 天志

E-mail: t12212m@m.chukyo-u.ac.jp