

オートエンコーダ法によるビーム位置検出器データの分析の試み

ATTEMPT TO ANALYZE BEAM POSITION MONITOR DATA BASED ON AUTOENCODER METHOD

澤田康輔^{A, B)}, 笠井聖二^{A, B)}, 加藤政博^{#, B)}, 帯名崇^{C)}
Kousuke Sawada^{A, B)}, Seiji Kasai^{A, B)}, Masahiro Katoh^{#, B)}, Takashi Obina^{C)}

^{A)} National Institute of Technology (Kosen), Kure College

^{B)} Hiroshima University

^{C)} KEK

Abstract

Hiroshima University, Kosen Kure College and Hiroshima College have been working on the application of the latest digital technologies, such as AI, machine learning, and virtual reality, to the accelerator field and on human resource development through this activity under the support of the KEK's IINAS-NX for the past several years, although the support for our locally-based activities ended at the end of last year. In this report, we present some results from one of these activities on machine learning. The study aimed to detect beam anomalies and failures in the machine operation using the accelerator operation data base. Under the support from KEK, we created an environment where we could access to the data base of the Photon Factory storage ring. We used the beam position monitor data as big data, which is particularly continuously accumulated. Based on the autoencoder method, we analyzed the data and found that it is possible to reveal systematic beam orbit drifts that were buried in noise.

1. はじめに

広島大学、呉工業高専、広島商船高専では、過去数年間、KEK 加速器科学国際育成事業 (IINAS-NX) の支援を得て、AI・機械学習や仮想現実といった技術最新デジタル技術の加速器分野への応用とそれを通じた人材育成に取り組んできた[1-4]。成果の中には卒業研究や修士論文としてまとめられたものもある。残念ながら我々の活動への IINAS-NX の支援は昨年度末で終了したが、これまでの活動内容のいくつかは、今後も地域に密着した形で自助努力にて継続したいと考えている。

近年、社会の様々な領域で利用が急速に拡大している AI・機械学習に関心を持つ学生は多い。我々の活動においては、その加速器分野への応用を通じて関連する知識を身に着ける機会を創出し、合わせて加速器分野への興味を高めることを目指してきた。機械学習については 2021 年度に、KEK Photon Factory の運転データベースにアクセスできる環境を整えた[1]。2022 年度から、加速器の運転データをビッグデータとして使い、機械学習の手法でビームの異常や検出系の故障の検出を行うことを目指して研究を進めてきた[3]。また、KEK で開発が進められている compact ERL 試験加速器における加速器調整への機械学習の応用に関する共同研究も行った[2]。こちらは大学院生が参加し修士論文の研究として実施した。本発表では、これら機械学習に関する活動の中から、KEK Photon Factory のビーム位置検出器のデータを用いたビームの異常や検出系の故障の検出を目指した研究例を紹介する。

加速器の運転では、運転を管理しているオペレータが運転を常に監視し、様々なデータを総合的に判断して調整を行っている。しかし、その判断と調整は、オペレー

タの経験に依存することが多く、その経験を持った人材の育成や確保が加速器運用での課題の一つとなっている。そこで、機械学習の利用が、この課題の有力な解決方法として期待されている。機械学習では、取り扱うデータの性質にあったモデルを見つけ出し、それを最適化することが必要であるため、機械学習を適用するには、用いるデータの特徴を理解する必要がある。このような背景のもと、本研究では、加速器運転データに機械学習を適用し、従来手法では得られない新たな知見や有用な結果を得る可能性を探ることを目的とした。

2. KEK Photon Factory のビーム位置モニターデータ

KEK においておよそ 40 年にわたり稼働を続けている放射光加速器 Photon Factory ストレージリング (PF リング) の過去 20 年程度の運転データは EPICS システムでアーカイブ化されている。我々は大学や高専から VPN (Virtual Private Network) で KEK に接続し、EPICS サーバから Python プログラムでデータを呼び出し JSON 形式で各機関のディスク上に保存する仕組みを整えた[2]。様々なデータのうち、ビーム位置検出器 (BPM) のデータは運転中切れ目なく長期間保存されていることから、我々はこの PF の BPM データをビッグデータとして使い、機械学習の加速器への応用の可能性を探った。

PF の BPM は周長 187 m のリングの各所に合計 65 台が設置されている (Fig. 1)。それぞれの検出器位置での水平・垂直方向のビーム位置が毎秒 1 回の割合で計測されデータベースに収められている。

mkatoh@hiroshima-u.ac.jp

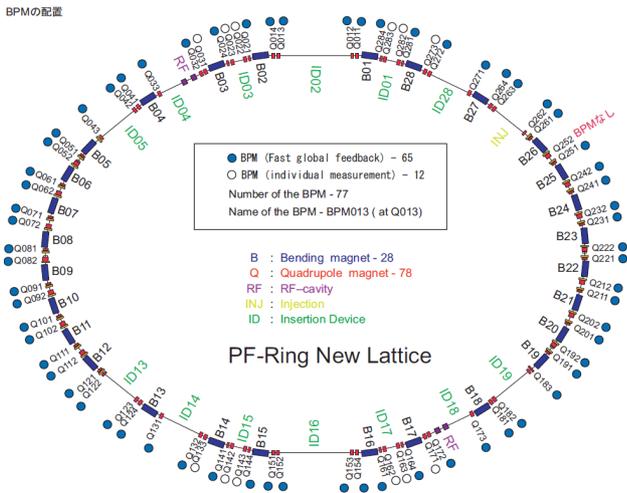


Figure 1: BPMs at KEK Photon Factory.

3. オートエンコーダー法

機械学習による故障診断では、深層ニューラルネットワークを利用したオートエンコーダー(AE)モデルがよく利用されている。我々はこれをBPMデータに適用することを試みた。65台のBPMから1秒毎にX,Yそれぞれについて出力されるデータ1日分(86400セット)を入力しこれを復元できるように学習させる。このときの学習のパラメタは、エポック数100、バッチサイズ128とした。各BPMデータのX、Yのそれぞれについて元のデータと復元データの相関関数により復元度合を評価した結果をFig. 2に示す。XはYに比べて相関係数が全体的に高く復元性が高い。特徴的な動きを見出すAEの性質から、Xには何らかの規則性が多く含まれ、一方Yは雑音的であることを示す結果ではないかと考えている。

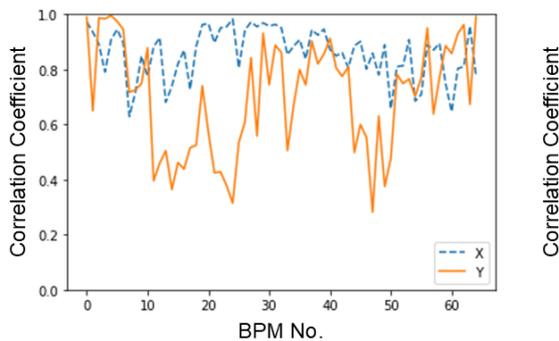


Figure 2. Reproducibility evaluated with correlation coefficient.

いくつかのBPMについての学習後の復元結果をFig. 3に示す。XY平面上に一日分のBPMデータを散布図として示し、実測データと復元結果を比較してある。なおここでBPMは測定データを最大・最小値で規格化し0と1の間に入るようにしてある。全体的に見てY方向の広がりが抑制され、その結果として、特徴的な構造が浮かび上がっているように見える。AEによる復元でY方向の雑然とした特徴のない動きが取り除かれた結果、埋もれていた特徴的な動きが見えてきた可能性がある。

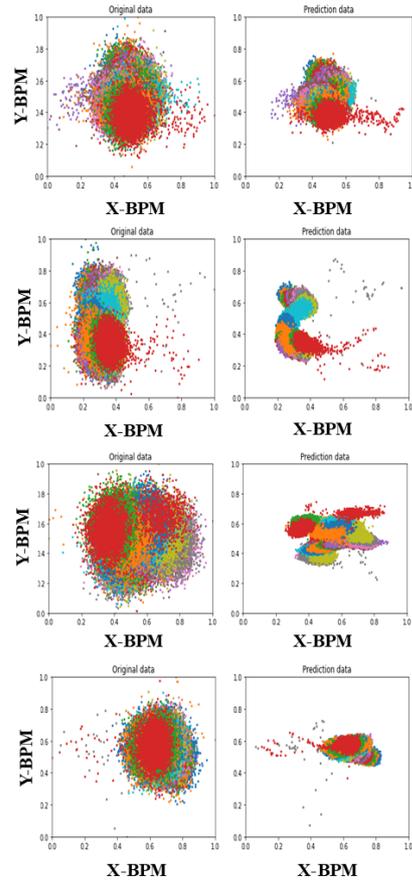


Figure 3: Autoencoder reconstruction results. Left column is original and right reconstructed.

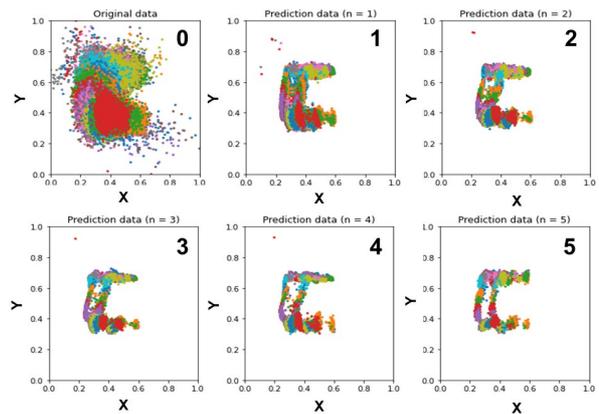


Figure 4: Effect of data reduction in AE. "0": original data, "1" to "5" indicates the number of iterations on data reduction.

以上の結果を受けて、この特徴的な動きをさらに明瞭にすることを試みた。元のデータとAE法で復元した結果のRMS値を取り、この値の大きなもの40%をデータから取り除き、再度学習させる。これを5回まで繰り返した結果をFig. 4に示す。特徴的な動きがさらに明瞭に浮かび上がってきた様子が見えてくる。

4. まとめと展望

PF リングの BPM データに対してオートエンコーダー法によりこれを復元することを試みた。本研究開始当初は異常の検出などを目指していたが、復元結果を見ると、ノイズに埋もれた特徴的な動きを見出しているように思われた。この方向にさらに研究を発展させるべく、AE で復元性の悪いデータを取り除いたところ、さらに明瞭に特徴的な動きが浮かび上がってきた。今回の結果は定量性はないものの、機械学習の加速器分野への応用の可能性のひとつを示しているのではないかと考えている。

加速器におけるビーム軌道は物理法則に従って動いており、加速器の専門家はその知識をもとに研究を進める。一方、本研究は、加速器を専門としない高専の教員や学生が主体的に実施した。専門的な知識があれば、また、違ったアプローチもあるものと思われるが、逆に、予備知識なし、いわば「教師無し」で研究を進めてみたことで、興味深い結果にたどり着けたのかもしれない。今後、

この結果を加速器の専門的な知識と組み合わせることで、さらに発展させていけないかと考えている。

謝辞

この研究の一部は KEK の IINAX-NS の補助を得て行われた。

参考文献

- [1] H. Ohyama *et al.*, Proc. 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2022), 591-593 (2022).
- [2] A. Kano *et al.*, Proc. 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2022), 454-455 (2022).
- [3] H. Ohyama *et al.*, Proc. 20th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2023), 498-500 (2023).
- [4] M. Furusaka *et al.*, Proc. 21st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2024), 44-48 (2024).