加速器・ビーム物理の機械学習ワークショップ 2023

Report of Contributions

https://indico2.riken.jp/e/4626

Contribution ID: **1** Type: **not specified**

VAE とベイズ最適化によるビーム輸送系の最適化

Monday, November 27, 2023 2:05 PM (25 minutes)

ビーム輸送ラインの調整を行う際に、ローカルマキシマムを避け、効率的に最適化するためには全体を一括で調整することが望ましい。そこで我々は変分オートエンコーダー (VAE) による次元削減を用いることで長いビームラインを効果的に最適化する手法を考案した。VAE の学習にビーム輸送シミュレーションを活用できれば、学習効率は格段に向上し、また、ありとあらゆるビーム輸送系で活用できるようになる。そこで我々は仁科加速器研究センター RIBF の LEBT にてシミュレーションで学習した VAE の動作検証を行った。本発表ではその結果について報告を行う。

Primary author: MORITA, Yasuyuki (RNC)

Co-author: NISHI, Takahiro (RIKEN Nishina center)

Presenter: MORITA, Yasuyuki (RNC)

Contribution ID: **2** Type: **not specified**

Status of multi objective Bayesian optimization of LIPAc's ECR ion source.

Monday, November 27, 2023 3:25 PM (15 minutes)

Electron Cyclotron Resonance(ECR) ion sources are one of the most common first stage of many modern accelerators. Typically, their design include few free settable parameters to optimize performances during commissioning and for re-tuning after maintenance. The optimization of set point is often based on the know how of an expert. In this work we report the status of the multi objective Bayesian optimization of ECR ion source of the IFMIF Prototype Accelerator (LIPAc). Several adjustable parameters are tuned to find the best tradeoff of the average extracted beam current and its stability over time.

Primary authors: DE FRANCO, Andrea (National Institutes for Quantum Science and Technology (QST)); Dr AKAGI, Tomoya (QST); BOLZON, Benoit (CEA); CHAUVIN, Nicolas (CEA); CISMONDI, Fabio (F4E); DZITKO, Herve (F4E); ITAGAKI, Tomonobu (QST); JOKINEN, Antti (F4E); KONDO, Keitaro (QST); MASUDA, Kai (QST); SUGIMOTO, Masayoshi (QST); NAKAYAMA, Takahide (QST)

Presenter: DE FRANCO, Andrea (National Institutes for Quantum Science and Technology (QST))

Contribution ID: **3** Type: **not specified**

加速器分野への機械学習の応用を通じた人材育成の試み

Tuesday, November 28, 2023 9:50 AM (25 minutes)

広島大学、呉工業高専、広島商船高専では、KEK 加速器総合育成事業の支援を得て、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。特に、近年、社会の様々な領域で利用が急速に拡大している AI・機械学習は関心を持つ学生が多いことから、それら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いる。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す研究、試験加速器 cERL のビーム調整の省力化・自動化を目指した研究などを通じた学生教育・人材育成の最新の状況を報告する。

Primary author: KATOH, Masahiro (Hiroshima University)

Presenter: KATOH, Masahiro (Hiroshima University)

Contribution ID: **4** Type: **not specified**

ニューラルネットワークによるマウンテンプロット画像の生成

Monday, November 27, 2023 4:05 PM (25 minutes)

J-PARC 3GeV RCS では、RCS 内に設置された電流モニター (WCM) の波形を周回毎に切り出し、縦方向に並べて一つの画像とすることにより、リニアックからの入射ビームの縦方向の振動の情報等を視覚的にも理解できるようにしている。この画像が、マウンテンプロット画像である。最近では、機械学習による画像を扱った技術は幅広い分野で用いられている。今回、この画像を扱った技術の一つである画像生成技術を加速器分野に適用する試みとして、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) と長期短期記憶 (LSTM) を組み合わせたニューラルネットワークを用いて、WCM の周回毎の波形の変化を学習し、予測画像を生成することにより、マウンテンプロット画像の生成を行なった。画像生成の方法や結果、使用したニューラルネットワークについて発表する。

Primary author: NOMURA, masahiro (JAEA J-PARC)

Presenter: NOMURA, masahiro (JAEA J-PARC)

Contribution ID: **5** Type: **not specified**

機械学習を用いた加速器運転調整システムの開発

Tuesday, November 28, 2023 3:10 PM (25 minutes)

加速器運転においては、環境温度のドリフトなどに起因してビーム状態が変化する。そのため、安定した加速器運転のためには、多数のビーム運転パラメータを常時最適値に調整する必要がある。本研究では、機械学習を使用した加速器運転調整システムを開発することで、運転調整の高速化および高精度化を目指している。開発の現状について、発表する。

Primary authors: WATARAI, Ryu (Osaka Metropolitan Univ.); IWASAKI, Masako (Osaka Metropolitan Univ. / RCNP, Osaka Univ.)

Co-authors: Mr NAKASHIMA, Yuta (Osaka Univ. IDS); Ms TAKEMURA, Noriko (Osaka Univ. IDS, Kyutech); Mr NAGAHARA, Hajime (Osaka Univ. IDS); Mr NAKANO, Takeshi (Osaka Univ. RCNP, Osaka Univ. IDS); Mr SATOH, Masanori (KEK Acc.); Mrs SATAKE, Itsuka (KEK Acc.)

Presenter: IWASAKI, Masako (Osaka Metropolitan Univ. / RCNP, Osaka Univ.)

Contribution ID: **6** Type: **not specified**

東京大学 **HyperECR** イオン源機械学習制御に向けたビーム電流予測モデルの開発

Monday, November 27, 2023 3:40 PM (25 minutes)

東京大学 CNS では 14GHz HyperECR イオン源を用いて理研 AVF サイクロトロンに様々なイオンを供給している。本イオン源は設置から 30 年以上にわたり改良が続けられており、その多価重イオンビームの大強度供給技術は成熟してきた。一方で特に固体試料ビームの長期供給においては、供給中にビーム量の低下やビーム生成の不安定化が発生するなど、その制御に課題が残っている。ビームのさらなる大強度・安定供給を目指し、現在、機械学習を用いてイオン源の安定制御を補助するシステムを開発中である。今回の発表では、これまで開発を進めてきた、ニューラルネットワークを用いたビーム電流予測モデルを紹介する。

Primary author: Dr KAMAKURA, Keita (CNS, UTokyo)

Co-authors: Dr MORITA, Yasuyuki (RIKEN Nishina Center); Dr KASAGI, Ayumi (AI, Rikkyo Univ.); Dr OKA, Naoya (NICT); Dr NISHI, Takahiro (RIKEN Nishina Center); Dr NAKAGAWA, Manami (CPR, RIKEN); Dr KOTAKA, Yasuteru (CNS, UTokyo); Prof. SAKEMI, Yasuhiro (CNS, UTokyo)

Presenter: Dr KAMAKURA, Keita (CNS, UTokyo)

Contribution ID: **7** Type: **not specified**

機械学習を用いた電子陽電子入射器におけるビーム調整と SuperKEKB 入射調整へ向けた準備状況

Tuesday, November 28, 2023 2:30 PM (25 minutes)

フレーバー物理精密測定や新物理探索を主な目的とする BelleII 実験/SuperKEKB 加速器にとって、ルミノシティ向上は喫緊の課題である。2023 ランまでで改善すべき問題として、ビーム輸送路より SuperKEKB メインリングへ電子・陽電子ビームを入射する際の入射効率が安定しないことが挙げられ、これは積分ルミノシティの低下を招く。ビームの入射調整に用いられるマグネットは主にそれぞれ 2 台のステアリング、セプタム、キッカーマグネットとがある。現在はエキスパートがこれらマグネットを組み合わせて合計 6 個のパラメータとし、そのパラメータを手動で調整している。我々は 6 個のパラメータを自動調整するため、機械学習、特にベイズ最適化に基づく調整ツールの開発を進めている。本講演では、まず開発の第一段階として線形加速器 Linac にて実施した陽電子生成用の電子ビームおよび、生成された陽電子ビームの収量最大化を目指した 6 次元のベイズ最適化試験について発表し、その後来年 1 月に運転再開を予定する SuperKEKB の入射調整へ向けた準備状況を報告する。

Primary author: KATO, Shinnosuke (The University of Tokyo)

Co-author: MITSUKA, Gaku (KEKacc.)

Presenter: KATO, Shinnosuke (The University of Tokyo)

Contribution ID: **8** Type: **not specified**

未来を加速する加速器と機械学習が拓く新時代への展望 **2023**

Tuesday, November 28, 2023 2:05 PM (25 minutes)

加速器と機械学習の全体像を述べ、今後の加速茎と機械学習と物理についての私見を述べる。

Primary author: KUROGUCHI, Sunpei

Presenter: KUROGUCHI, Sunpei

Contribution ID: **9** Type: **not specified**

LOF 法を用いたイオン源故障予知モデルの作成と評価

Tuesday, November 28, 2023 1:00 PM (25 minutes)

住友重機械工業 (株) は PET 診断向けの薬剤合成用小型サイクロトロンを国内 130 施設以上納入しており、その大半で運転保守を行っている。保守時の装置トラブル事例において迅速な修理が難しく、病院の診療の中止につながりやすいのがイオン源関連のトラブルである。本発表では、当社の保守対象施設にてトラブル件数が多いイオン源カソードショートと呼ばれる事象の故障予知に取り組んだ。イオン源カソードショートは PIG イオン源に所定のアーク電圧を印加できなくなる事象であり、アーク時のスパッタ粉の堆積、部品破損部の落下、絶縁部の汚れといったものによる導通が原因と考えられているが、その予知技術は確立できていない。そこで、機械学習を用いて故障の予兆を可視化、注意喚起する手法を検討している。本発表では LOF 法 (局所外れ値因子法) を用いて故障発生の前に異常を通知できるモデルを作成し、過去の故障発生前後のデータで評価を行っている。ここではそのモデル作成の過程および評価状況について報告する。

Primary author: Mr MARUYAMA, Masaki (Sumitomo Heavy Industries, Ltd.)

Co-author: Mr SHIRASAWA, Katsutoshi (Sumitomo Heavy Industries, Ltd.)

Presenter: Mr MARUYAMA, Masaki (Sumitomo Heavy Industries, Ltd.)

Contribution ID: **10**　　Type: **not specified**

シミュレーションを併用した重イオンビームトランスポートラインのベイズ最適化に関する研究

Monday, November 27, 2023 1:40 PM (25 minutes)

我々はこれまで、SACLA で開発されたベイズ最適化プログラムを理研 RIBF に適用し重イオンビームのビームトランスポートラインの光学系最適化の試験を行ってきた。これにより通過率とスポット形状の同時最適化などに成功する一方、変数が増えるに連れてその最適化の効率化が課題となってきた。そこで今回は比較的シミュレーションを行いやすい加速後のビームトランスポートラインについて、シミュレーション上でのベイズ最適化、及びそれを用いた効率的なアルゴリズムの開発状況などについて報告する。

Primary author: NISHI, Takahiro (RIKEN Nishina center)

Co-authors: UCHIYAMA, Akito (RIKEN Nishina Center); SHIMIZU, Yohei (RIKEN Nishina Center); FUKUDA, Naoki (RIKEN Nishina Center); IWAI, EIto (JASRI/RIKEN); MAESAKA, Hirokazu (RKEN SPring-8 Center); Dr SUGIMOTO, Takashi (JASRI); Mr FUJII, Hiroki (RIKEN); SUMIKAMA, Toshiyuki (RIKEN Nishina Center)

Presenter: NISHI, Takahiro (RIKEN Nishina center)

Contribution ID: **12** Type: **not specified**

LIPAc 入射器の現状

Monday, November 27, 2023 3:10 PM (15 minutes)

QST 六ヶ所研究所では、IFMIF/EVEDA 原型加速器（LIPAc, Linear IFMIF Prototype Accelerator）のコミッショニングを日欧協力の幅広い（BA）活動で進めている。LIPAc は 125 mA の重陽子ビームを 9 MeV まで加速し、連続（CW）運転することを目標としており、入射器は 140 mA、100 keV の重陽子ビームを安定に供給することが求められる。本発表では LIPAc 入射器における大電流・高デューティ試験の状況や課題について報告したい。

Primary author: Dr AKAGI, Tomoya (QST)

Co-author: DE FRANCO, Andrea (National Institutes for Quantum Science and Technology (QST))

Presenter: Dr AKAGI, Tomoya (QST)

Contribution ID: **13** Type: **not specified**

ビーム入射ラインのベイズ最適化

Tuesday, November 28, 2023 2:55 PM (15 minutes)

加速器技術は、原子核・素粒子分野の発展を支え、新たな物理現象の探索実験に不可欠である。さらに、医療分野でのがん治療やがん検査用ラジオアイソトープの生成、使用済核燃料廃棄物を減容するための ADS 核変換技術など、応用分野においても加速器の期待が高まっている。加速器の広範な応用には、効率的で迅速な運転および制御が不可欠である。
本研究では、ビーム入射ラインの制御に焦点を当て、機械学習を用いて、制御プロセスを最適化し、効率を向上させる手法を研究する。ビーム入射ラインは加速器の中でも重要な部分であり、その最適な制御は加速器の性能向上に寄与する。
ビーム入射ラインは、２つのグレーザーレンズと２つのソレノイドレンズによって構成されている垂直入射ラインを検討対象とする。これら４つの磁場を最適化し、垂直入射ライン終端のサイクロトロン中心部に位置するインフレクター入り口でのビームサイズがインフレクターの口径 8 mmφ に収まるように調整する。
この研究において、OPAL-T と Python の GPyOpt を使用し、シミュレーション上で機械学習によるビーム調整を模擬する。OPAL-T は空間電荷効果を含む計算が可能であり、ビームの動きを詳細にシミュレートする。そして GPyOpt を利用して、ベイズ最適化を実施し、各磁石の最適な電流値を求め、ビーム輸送を最適化する。
ビームダクトなどの径方向に制限がある状況におけるベイズ最適化のふるまいについて、詳細に調査し、できるだけビームがビームダクトに衝突せずに、最適化を進める手法を模索する。この研究により、加速器技術の応用分野において、効果的な運転と制御を実現することを目指す。

Primary author: IMURA, Tomoki (RCNP)

Co-authors: YORITA, Tetsuhiko (RCNP, Osaka Univ.); FUKUDA, Mitsuhiro (RCNP, Osaka University); KANDA, Hiroki (RCNP, Osaka University); HARA, Takafumi (RCNP); MATSUI, Shotaro (RCNP, Osaka University)

Presenter: IMURA, Tomoki (RCNP)

Contribution ID: **14** Type: **not specified**

Current status and future improvement of machine learning implementation for the beam control at SACLA

Monday, November 27, 2023 2:30 PM (25 minutes)

SPring-8/SACLA 加速器基盤施設では、SACLA における XFEL 輝度・スペクトラムの幅などを目的関数として、加速管の位相や磁石の電流値について最適なパラメータを探索するために、GPR (Gaussian Process Regressor) を用いた機械学習手法を導入している。この手法を用いた加速器調整は都度学習で行われており、過去の調整結果やシミュレーションなどの外部データを組み込むことが難しい。また、最適なパラメータを探し当てる能力に長けている一方で、運転中にその性能を維持するということについては改善の余地がある。我々は、これらを補完するための手法として、強化学習を導入した加速器調整システムの構築を進めている。コアのアルゴリズムには、Attention 機構の一つである Vision Transformer を利用することを検討している。学習を進める際には、ビーム試験による強化学習だけでなく、既存の GPR 手法から得られるパラメータの多次元分布を用いた事前学習を併用することで、データ量を増やしつつ、過去のデータに基づいたより信頼性のある学習を期待できる。
SACLA では、RF ディフレクターの開発も進めており、電子ビームの時間・エネルギー分布の測定や短パルス電子ビームの生成を目指している。加速器調整に機械学習を有効利用するためには、質の良いデータを集めることが重要であり、ディフレクターの開発は、機械学習による加速器調整の高度化とも良いシナジーを持つ。本講演では、GPR を用いた機械学習手法の現状をはじめとして、強化学習を用いた加速器調整システムの枠組みと簡単な模型を用いた試験の結果、および今後の発展について発表する。

Primary author: YASUTOME, Kenji (RIKEN)

Co-authors: MAESAKA, Hirokazu; IWAI, Eito

Presenter: YASUTOME, Kenji (RIKEN)

Contribution ID: **15** Type: **not specified**

多点観測データを深層学習に活用する際の問題と工夫

Tuesday, November 28, 2023 9:25 AM (25 minutes)

加速器の状態監視に纏わる測定値は、例えばピックアップの電流、冷却水や筐体の温度、真空度など多岐に渡り、仁科加速器では数万点を常時モニターしデータ保存している。これらの数値は加速粒子や加速エネルギーによって、またそれらが同じでも気温や供給される電力の変動によっても毎回微妙に異なることが多い。今回、機械学習（深層学習）を用いてこれら数多い点数の数値を包括的に監視し、故障などエラーの予知やよりよい調整のために活用しようとした際に生じる問題と、それを解決する工夫の一例を紹介する。

Primary author: Dr KIDERA, Masanori (RIKEN Nishina center)

Presenter: Dr KIDERA, Masanori (RIKEN Nishina center)

Contribution ID: **16** Type: **not specified**

【Invited talk】Analysis of nuclear emulsion images for hypernuclear physics using machine learning

Tuesday, November 28, 2023 11:10 AM (40 minutes)

原子核乾板は荷電粒子の飛跡を可視化する厚みを持った写真乾板である。現像した乾板に写った飛跡を光学顕微鏡によって読み取ることで、荷電粒子の通過位置がサブミクロンの空間分解能で計測できる。原子核乾板はその空間分解能を生かし、μm スケールの飛跡しか残さない稀事象：ハイパー核・ダブルハイパー核研究などに利用されてきた。原子核乾板実験の課題の一つは、乾板中から該当の事象をいかに高速に検出するかである。そこで筆者らは、網羅的に撮影した乾板の顕微鏡画像から、ハイパー核・ダブルハイパー核の生成・崩壊事象の作る特徴的な形状の飛跡を検出するべく、機械学習ベースの画像処理法を開発した。本発表では開発の経緯・J-PARC E07 実験の乾板に対する解析の現状・今後の展望について紹介する。また筆者は現在、放射光科学に携わっており、分野を横断した新研究領域を開拓したいと考えているが、この試みにおける機械学習の活用の可能性についても議論したい。

Primary author: YOSHIDA, Junya (SRIS, Tohoku-U)

Presenter: YOSHIDA, Junya (SRIS, Tohoku-U)

Contribution ID: **17** Type: **not specified**

SuperKEKB 主リングにおける圧力異常検知プログラムの検討

Tuesday, November 28, 2023 1:25 PM (25 minutes)

SuperKEKB 主リングの真空システムは 2016 年の運転開始以来概ね順調に稼働しているが、強い放射光等による熱サイクルに起因するリークや、放電等による変則的な圧力上昇が度々発生し、時には重大なトラブルに至っている。事前に圧力異常の兆候が検知できれば、大きなトラブルとなる前に迅速な対処が可能となる。そこで、機械学習を応用して圧力の異常な振る舞いの兆候をつかみ、注意喚起する異常検知プログラムを提案、検討している。プログラムの基本的な流れは下記の通りである。まず、ビーム (再) 入射から蓄積、ビームアボート直後までを 1 フィルとし、主リングのすべての真空計 (約 600 個) について、調べたいフィルの数日前の圧力測定値を「標準データ」とみなし、圧力のビーム電流あるいは時間に対する振る舞いの回帰曲線を求める。ここでは、回帰曲線のモデルとして、これまでの真空システムでの知見や経験を基にしたモデルを用いる。次に、調べたいフィルの測定値 (チェックデータ) の標準誤差と標準データでの標準誤差との比などを入力パラメータとして、「正常」と「異常」をフィル毎に判断する、2 層のニューラルネットワークを構築する。決定境界を与える重みパラメータは、これまでの真空トラブル発生時の圧力の振る舞いから学習する。最終的にはプログラムを加速器制御システム上で走らせ、異常と判断された場合には運転員等に注意を喚起する。ここではこの圧力異常検知プログラムの検討状況を報告する。

Primary author: SUETSUGU, Yusuke (KEK)

Presenter: SUETSUGU, Yusuke (KEK)

Contribution ID: **18** Type: **not specified**

【Invited talk】Accelerator AI at Fermilab

Tuesday, November 28, 2023 10:30 AM (40 minutes)

In this presentation, I introduce the AI/ML applications for the Fermilab accelerator system. For example, a fast AI/ML FPGA hardware is installed on the Recycler Ring beam control system to tune the beam position to reduce the beam loss rate. The proton linac has other type of the AI/ML feedback loop to manipulate the RF parameters. The NuMI target system has the AI/ML based muon monitor signal analysis to detect the beam parameter change with high accuracy.

Primary author: YONEHARA, Katsuya (Fermilab)

Presenter: YONEHARA, Katsuya (Fermilab)

Contribution ID: **20** Type: **not specified**

F3RP70-2L を用いた異常値検知システムの検討

Tuesday, November 28, 2023 9:00 AM (25 minutes)

横河電機製 Programmable Logic Controller の CPU モジュールである F3RP70-2L 上で異常値検知システムを評価試作している。システムは Python の機械学習ライブラリ scikit-learn を用いて開発されている。実際のオペレーションとして機械学習を導入、運用する上でのインターフェースについて考察し、本会議で報告する。

Primary author: UCHIYAMA, Akito (RIKEN Nishina Center)

Presenter: UCHIYAMA, Akito (RIKEN Nishina Center)