

氏名(本籍)	WEI LANTIAN(中華人民共和国)
学位の種類	博士(工学)
学位授与番号	甲第646号
学位授与日付	令和5年3月25日
専攻	工学専攻
学位論文題目	Machine learning aided signature code (機械学習によるシグネチャ符号)
学位論文審査委員	(主査)教授 三嶋 美和子 (副査)教授 鎌部 浩 准教授 田村 哲嗣

論文内容の要旨

第5世代移動通信システムや、IoTのための省電力長距離通信システムなどでは、ひとつの基地局が非常に多くのユーザを収容するが、ある時刻でみると稼動しているユーザもしくは端末はかなり少ない、という特徴がある。このような条件、つまりユーザの数は非常に多いが、実際に稼動しているユーザは少ないという条件のもとで、稼動しているユーザを推定するための方法として、各ユーザに符号語を割り当て、それらが重畳された信号からユーザを特定するという方法がある。この方法で利用される符号はシグネチャ符号と呼ばれている。符号語を列として並べて得られる行列を考えると、ユーザを特定するという問題は圧縮センシングの問題として定式化できる。本論文では、加法性ガウス雑音があるレーリーフージング通信路を対象として、超多重アクセスのための、機械学習に基いたシグネチャ符号を扱っている。

この学位論文は、二つの成果を含んでいる。一つ目の成果は、ユーザ推定と通信路定数の推定を同時に行う、ディープニューラルネットワーク(DNN)を繰り返し使った、シグネチャ符号の復号器の提案である。その構造は、圧縮センシングの分野でよく知られているアルゴリズム、Iterative Shrinkage/Thresholding Algorithm(ISTA)に基いている。提案する復号器では、DNNに基いた復号操作を繰り返し適用した場合の性能が、学習回数の増加にともなって収束していくように、複数の損失関数が導入されており、それによって良好な特性を得ている。

二つ目の成果は、二値化されたニューラルネットワークと Trainable-ISTA(TISTA)に基いた機械学習により、シグネチャ符号(Machine Learning aided Signature code, ML-SC)を構成し、アクティブユーザ検出エラー率およびチャネル状態推定誤差の両面で、他の手法で構成されたシグネチャ符号よりも良い復号性能をもつことを示したことである。

本論文では、計算機実験により、ML-SCが、ISTA、TISTAなどの複数の復号方法に対しても優れた性能を持つことを示している。さらに、ML-SCから構成される行列の特徴量を計算し、ML-SCの性能が優れていることの理論的理由を明らかにしている。

論文審査結果の要旨

学位論文審査委員会は、本論文ならびに論文別刷等を慎重に検討した。本論文は学位論文として十分完成した内容を有していること、本論文の主要部分は既に査読付き論文として発表されており、論文および国際会議における発表が2件あることを確認した。以上により、本論文は学位論文として合格であると判定した。

最終試験結果の要旨

令和5年1月25日に最終試験(公聴会)を開催した。申請者は本論文の内容について聴衆にわかりやすく説明するとともに、質問に対しても的確に回答した。研究結果を取りまとめて発表する能力と、研究内容に対する質問者の理解が深まるように回答する能力を確認した。以上により、最終試験に合格と判定した。

1. “First observation of a nuclear s-state of a Ξ hypernucleus, $^{14}_{\Xi}\text{C}$ ”, M. Yoshimoto, A. Kasagi, P. M. Lin, K. Nakazawa, A. N. L. Nyaw, J. Yoshida, 42 others, Prog. Theor. Exp. Phys., **2021**, 073D02 (2021).
2. “Energy uncertainties of charged particles with respect to the density error and range straggling in nuclear emulsion sheet”, P. M. Lin, A. Kasagi, K. Nakazawa, N. Nishimura, A. N. L. Nyaw, J. Yoshida, M. Yoshimoto, Bull. Soc. Photogr. Imag. Jpn., **32**, 10 (2022)
3. “Observation of double-strangeness nuclei using nuclear-emulsion technology”, A. N. L. Nyaw, H. Ekawa, M. Fujita, S. Hayakawa, A. Kasagi, P. M. Lin, K. Nakazawa, J. Yoshida, M. Yoshimoto, Bull. Soc. Photogr. Imag. Jpn., **30**, 22 (2020).
4. “High-resolution measurement of hypernuclear events in a nuclear emulsion with hard X-ray microscopy”, A. Kasagi, K. Hayashi, P. M. Lin, K. Nakazawa, N. Nishimura, A. N. L. Nyaw, T.R. Saito, J. Yoshida, M. Yoshimoto, Eur. Phys. J. A, **58**, 190 (2022).
5. “ Ξ^- atomic X-ray spectroscopy using a counter-emulsion hybrid method”, M Fujita, H. Ekawa, S. Hayakawa, A. Kasagi, P. M. Lin, K. Nakazawa, A. N. L. Nyaw, J. Yoshida, M. Yoshimoto, 33 others, Prog. Theor. Exp. Phys., **2022**, 123D01 (2022).