

令和元年6月17日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02667

研究課題名(和文) ランダムサンプリングに基づくオンライン意思決定

研究課題名(英文) Online Decision Making Based on Random Sampling

研究代表者

瀧本 英二 (Takimoto, Eiji)

九州大学・システム情報科学研究所・教授

研究者番号：50236395

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,500,000円

研究成果の概要(和文)：ランダムサンプリングを活用した様々なオンライン意思決定問題と、派生した様々な学習問題や組合せ最適化問題に対し、高精度・高効率なアルゴリズムの提案を行った。特に、(1) 組合せ集合を決定空間とするメトリカルシステムタスク問題が、決定空間上のランダムサンプリング問題に帰着できることを示し、グラフの道集合など種々の組合せ決定空間に対する高効率・高精度なアルゴリズムを初めて与えることに成功した。(2) 大規模機械学習に対する新しいアプローチとして、訓練データをZDDとして圧縮表現し、その受理経路集合上のオンライン予測手法を用いることにより、ZDD上でブースティングを模倣する効率の良い手法を与えた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

メトリカルタスクシステム(MTS)問題は、組合せ集合を決定空間とする場合、効率の良いアルゴリズムの統一的で有用な設計法は知られていなかった。本研究は、この問題に対し、ランダムサンプリングの設計問題に落とし込むという、世界初の統一的・現実的な設計指針を与えたといえる。また、大規模機械学習の問題に対し、従来は、確率的勾配降下法などのランダムサンプリングに基づくアプローチが主流であったが、本研究では、圧縮データ上の機械学習という新しいアプローチを提案している。計算時間とメモリ効率の向上を同時に達成する画期的な手法であるだけでなく、圧縮データ上の最適化という新たな研究の方向性を示唆している。

研究成果の概要(英文)：We proposed high accuracy and efficient algorithms for various problems of online decision making, machine learning and combinatorial optimization, by using the methodology of random sampling. Among them we give two main achievements below. (1) We showed that the metrical task system problem over a combinatorial decision space can be reduced to the problem of random sampling over the decision space, and using the reduction we succeeded to give, for the first time, high accuracy and efficient algorithms for various combinatorial decision spaces such as paths of a graph. (2) We proposed a new approach toward large scale machine learning: compress the given training data into a ZDD, and simulate Boosting efficiently over the ZDD (without decompression), based on an online prediction method over the set of accepting paths as the decision space.

研究分野：計算学習理論

キーワード：計算学習理論 オンライン予測 オンラインアルゴリズム 組合せ最適化 ブースティング

A7D7 \* \*7 A77 88  
>26bū  
f8@BÉp  
fH(.  
#b6>  
Z b|\_03UOZ  
d<sub>t</sub>  
Gb|4Ecc  
t = 1, 2, ..., T  
x<sub>t</sub>  
d<sub>1</sub>^\*, ..., d<sub>T</sub>^\*

Gbe8c5b(5c6KZ  
ICML ALT  
S2I8  
21  
6  
e8  
>Xbe8c56b6Z8G>  
7\$4  
G0B 2c56  
MG 50  
â be80C0e  
\_ X Z c^ Y ^ ! @ x 8 >  
e8  
Te806  
(1) t t d<sub>t</sub> x<sub>t</sub>

(2) M  
k  
2 GSIS22A8 M  
e886 MTS e8BK  
28)M06K MOG ,KK MTS e8  
)56e8KME S56BK  
e808

0,2  
V3bXe8I0Su\_c^ ¥ 5 M ^ U^ 6  
02mSM > G260i  
I\_8A^ 68b8MKZ: GbA #1s  
S(K)006CMM 219MGX>  
I, 22  
e8I 1 b 0ô \_ 6 S WZ c^ ) 6C2b5, gN  
G%e M>I\_088WZ8  
9E V887\$56bL4: X)M\$19  
M> e8I 2 b 0ô \_ 6 S WZ c^ MTS e8 ^ ] .. 8 5 88 b 6 P  
18m27SK8 S>

2>28Y  
(1) )076M6be8\_PK57Vb)zg4: e8  
@ NP T77WZ  
S>Gt8DE|)6 68  
8: (88S2G7u866°PM)u  
G8g. KS>I}24. KZ8pD(Kbâ  
5 88\_PM9  
Zs> & 7\$1e †

(2) 5zgGe8\_PK(0zZ88: g#  
v4: 8 80MG\BK  
S>Gc 80/b0Z\_8ZEMG 2x8c^  
Fb00\_PKZMvbKZ06@  
Ab0Z+ 8\FL000 N  
MG02x806>WZFL 06BA

(3) Bradley-Terry  
bNe8\_PK9x  
bbH-SuP  
7HMG8>m2fDZ\_8CK8GNBo\_M  
G\ 8Ü Hæ \_ M G\\_BKZ8> & 7\$1e z>

(4) MTS e8 \_> E ô d<sub>t</sub> x<sub>t</sub>  
d<sub>t-1</sub>  
0 ? 1 bbsvMObv  
PWS>2fGbe8v/b6  
(x\_WZj e8\_ VAGK  
\_s k  
MTS e8\_PM9  
uZZE\\_BKS> & 7\$1e w >

(5) (8e8\_PK) x n  
n x x

(6) 0d PMK8Z)vb FLKS>f  
Lm2a NO) 2b8w) 7# & ZDDnK>  
7g\_6MG0)vbM>ik  
C2x 8Üvb 2b>K  
EPMG0G  
Z8> 1\_m2fDZ\_8CK8GNBo\_M  
\_E64(76M  
4( & ÆB î \_ )ô K s Æ î ? } 4(l b 9< 9^ Æ û  
â b m2 ¥ 8 G \ \_ | ~ s fLm2c0V\_XÜ bM°  
8M>Gc0) 8BoD)8GK0dµ  
8K821KZA > G b 1e c s \$t K S X1 WALCOM 2018\_8  
Zs Best Paper Award w29 K &> 7\$1e v>

(7) ö Y C (8e8\_PK) mZ?  
VH)Sbj Væ \_K}i  
(2)sOG\ 8b7H)É  
Sb  
MG\\_BKS> & 7\$1e y>

(8) [ wæ ^ 66° V b û )zg4:i e8 \_ P K s 6K GNi 0 \  
M FTRL 2 \ ç d \* ^ m2 @ 6 > % [ c s P8/40M  
PX4GNBoM FTRL 2 bGNBoS Eö  
KS>Gb)PMGNBobI0ZFLK  
S FTRL bK8002\_ vbb>Sbm2ûi  
e8\_4: SA: fMGKS> & 7\$1e t >

(9) NP T7 8BbM8pD(Uv8  
07/Wb8e8\_7KZOCm2f LKS>fLm2cD(Ü  
0)EC \* IP fMGKS>  
}e8\_4: #KZS(KZAO  
\_8Zc)S0G0&(b  
MGKS> & 7\$1e s >

(10) 0sb)sb 188\_P  
b' \_ (0411)Sbj V D7HI S0X/4  
K8bj V8GKS>rS(b)YM7  
\_Zsil Rademacher complexity MGKS> & 7\$1e 1e r>

(11) 05/16/2019: 8KZi

K Frank-Wolfe 2\_0A) 47zg078bs

8m2FLK

3/2/2019 & 11 r>

3 >z\$te ...

1100 12 0 M00

- Takahiro Fujita, Kohei Hatano, Shuji Kijima, Eiji Takimoto, Online Combinatorial Optimization with Multiple Projections and Its Application to Scheduling Problem, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, E101.A (9), 1334-1343, 2018.  
DOI: 10.1587/transfun.E101.A.1334
- r Ken-ichiro Moridomi, Kohei Hatano, Eiji Takimoto, Tighter Generalization Bounds for Matrix Completion Via Factorization Into Constrained Matrices, IEICE Transactions on Information and Systems, E101.D (8), 1997-2004, 2018.  
DOI: 10.1587/transinf.2017EDP7339
- s Kosuke Matsumoto, Kohei Hatano, Eiji Takimoto, Decision Diagrams for Solving a Job Scheduling Problem Under Precedence Constraints, Proceedings of the 17th International Symposium on Experimental Algorithms (SEA 2018), LIPICS Vol. 103, 5:1-5:12, 2018.  
DOI: 10.4230/LIPICS.SEA.2018.5
- t Ken-ichiro Moridomi, Kohei Hatano, Eiji Takimoto, Online Linear Optimization with the Log-Determinant Regularizer, IEICE Transactions on Information and Systems, E101.D (6), 1511-1520, 2018.  
DOI: 10.1587/transinf.2017EDP7317
- u Daiiki Suehiro, Kohei Hatano, Eiji Takimoto, Efficient Reformulation of 1-Norm Ranking SVM, IEICE Transactions on Information and Systems, E101-D (3), 719-729, 2018.  
DOI: 10.1587/transinf.2017EDP7233
- v Takahiro Fujita, Kohei Hatano, Eiji Takimoto, Boosting over Non-deterministic ZDDs, Proceedings of the 12th International Workshop on Algorithms and Computation (WALCOM 2018), LNCS Vol. 10755, 195-206, 2018.  
DOI: 10.1007/978-3-319-75172-6\_17
- w Takumi Nakazono, Ken-ichiro Moridomi, Kohei Hatano, Eiji Takimoto, A Combinatorial Metrical Task System Problem Under the Uniform Metric, Proceedings of the 27th International Conference on Algorithmic Learning Theory (ALT 2016), LNAI Vol. 9925, 1577-1586, 2016.  
DOI: 10.1007/978-3-319-46379-7\_19
- x Yao Ma, Tingting Zhao, Kohei Hatano, Masashi Sugiyama, An Online Policy Gradient Algorithm for Markov Decision Processes with Continuous States and Actions, Neural Computation, 28(3), 563-593, 2016.  
DOI: 10.1162/NECO\_a\_00808
- y Nir Ailon, Kohei Hatano, Eiji Takimoto, Bandit Online Optimization Over the Permutahedron, Theoretical Computer Science, 650, 92-108, 2016.  
DOI: 10.1016/j.tcs.2016.07.033
- z Issei Matsumoto, Kohei Hatano, Eiji Takimoto, Online Density Estimation of Bradley-Terry Models, Proceedings of the 28th Conference on Learning Theory (COLT 2015), PMLR Vol. 40, 1343-1359, 2015.  
<http://proceedings.mlr.press/v40/Matsumoto15.pdf>
- { Peter Bartlett, Wouter Koolen, Alan Malek, Eiji Takimoto, Manfred Warmuth, Minimax Fixed-Design Linear Regression, Proceedings of the 28th Conference on Learning Theory (COLT 2015), PMLR Vol. 40, 226-239, 2015.  
<http://proceedings.mlr.press/v40/Bartlett15.pdf>
- | Takahiro Fujita, Kohei Hatano, Shuji Kijima, Eiji Takimoto, Online Linear Optimization for Job Scheduling under Precedence Constraints, Proceedings of the 26th International Conference on Algorithmic Learning Theory (ALT 2015), LNAI Vol. 9355, 332-346, 2015.  
DOI: 10.1007/978-3-319-24486-0\_22

0E 34 0

□ U#s: , MDD b( )zg8p%8z#BI b' # , #U , 2018.

r U19: , Frank-Wolfe 198y , 21 G\_10#17E

IBIS2018> , 2018.

s Liu Yaxiong, Improved Mistake Bounds for Binary Matrix Completion, 21 G\_19

IBIS2018> , 2018.

- t Dai ki Suehi ro, Shapel et-based Multiple-Instance Learning, 7\_30 IBISML % , 2018.
- u U#s' , 7u#e# MM 2#S84:i , b LA 0 , 2017.
- v Takahi ro Fuj i ta, Boosting over ZDDs, The 20th Korea-Japan Joi nt Workshop on Al gori thms and Computation (WAAC 2017), 2017.
- w Eiji Takimoto, Online decision making over combinatorial sets, The 20th Korea-Japan Joint Workshop on Al gori thms and Computation (WAAC 2017), 2017. &n >
- x )2M4{ , LogDet GN#S84/ö , # 20 G\_1#1#E IBIS 2017> , 2017.
- y Dai ki Suehi ro, Learning theory and al gori thms for shapel ets and other l ocal features, NIPS 2017 Time Series Workshop, 2017.
- z Ryohei Nagaura, Combinatorial bandit prediction with relaxation-based approximation al gori thms, # , 2017.
- { )2M4{ , FPL #S)07\_PM 0 , ä b LA 0 , 2017.
- | )2< M4{ , #X/4(O\_08S/4/08\_PM#j b\_ 7\_30 IBISML % , 2017.
- } i , k 7\_PMP#8 , 7\_30 IBISML % , 2016.
- ~ B\ , D(A0B\_PM' -DD #S02 , b LA ä , 2016.
- p-m , )07Vb#B , b LA 0 , 2016.
- Dai ki Suehi ro, Time Series Classification Based on Random Shapel ets, NIPS 2016 Time Series Workshop, 2016.
- )2M4{ , #00\_0C 108 , 7\_30 IBISML % , 2016.
- 06, i , (#6XPM0 , ä b LA 0 , 2016.
- )2M4{ , #7#0 , b LA 0 , 2015.
- MB , Bradley-Terry 00 , 7\_30 IBISML % , 2015.

W0E 1 □  
 □ # \_\_\_\_\_, !eS \_\_\_\_\_, 1n1/#6 \_\_\_\_\_, #E \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, 2016, 176 i .

4> 20)°

(1)2(\*

2(0

# i

8 □ HATANO, Kohei□

068 □

48 MT

8 M5

2□ 8□ 60404026

d0 \_| % c % b 0 \ 2i \_8Z M vb#Su % b x 20Y b #t.. \_  
 #Zc \ b 0[3:.. \_ 0 YCvb#C0 28Y \_ 6iM 0b0 x 2i c 2# \_ IrM