

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K11866

研究課題名（和文）ブロックデザインのディープラーニングへの応用とその構成

研究課題名（英文）Application of block designs to deep learning and their construction

研究代表者

宮本 暢子（Miyamoto, Nobuko）

東京理科大学・理工学部情報科学科・教授

研究者番号：20318207

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：ディープラーニングにおいて、過学習を避けるための手法の一つとしてドロップアウト法およびドロップコネクト法が用いられる。本研究では、ドロップアウト法とドロップコネクト法でランダムにノードや辺を不活性化する代わりに、ノードの使用頻度、辺の結合の仕方をバランスさせた2種類の組合せ構造 dropout design (DD)及び spanning bipartite block design (SBBD)を提案し、その構成法を与えた。またSBBDを用いた統計モデルのパラメータの推定精度に関して、ある種の最適性を満たすことを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

1920年代に R.A. Fisher によって発展された実験計画法は、精度よく要因の効果を得ることを目的とした効率の良い実験の計画を与えるための統計的手法であり、農業実験から工業実験、マーケティングの分野で活用されてきた。実験計画法では、ある種の均一性をもつ組合せ構造である直交配列やブロックデザインなどが用いられる。本研究においてディープラーニングへ応用するために新しい組合せ構造を提案し、その有用性について検証したことは機械学習と実験計画法を繋ぐ新しいアプローチであると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In deep learning, dropout and drop-connect methods are commonly used techniques to prevent overfitting. We propose two types of combinatorial structures, dropout design (DD) and spanning bipartite block design (SBBD). These structures aim to balance the frequency of node usage and the way edges are connected, as opposed to randomly deactivating nodes and edges. This study shows the construction methods of DD and SBBD, and SBBD exhibits certain optimality with respect to the accuracy of statistical model estimation.

研究分野：組合せデザイン理論

キーワード：組合せデザイン ディープラーニング ドロップアウト ドロップコネクト 有限幾何 最適性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ディープラーニング(深層学習)は脳の神経系を模した多層からなるニューラルネットワークを用いた機械学習の手法の1つである。多層ニューラルネットワークは入力層、出力層、複数の隠れ層から構成され、多層の2部グラフとして捉えることができる。このときノードは神経細胞であるニューロン、層と層の間の辺はニューロン同士のつながりを表し、繋がり強さを示す W を持つと考える。例えば0から9の手書き文字の認識を行うモデルであれば、0から9までの手書き文字画像とその各々の画像に対する正解のセット(訓練データ)を用いて学習を行い、重み W の調整を行う。すなわち、各画像に対するネットワーク出力値と正解の誤差が小さくなるように重みを調整していく。しかし、多層ニューラルネットワークはそのモデルが複雑であるため、訓練データにはよく適合するが未知のデータに対しては適合しない過学習という問題が生じやすい。そこで過学習を避けるためドロップアウトという手法が、2014年に Srivastava らによって提案された。これはニューラルネットを学習する際に、ランダムに非活性化させるノードを選び、毎回異なる重み付けをすることで汎化性能を高める手法である。一方で機械学習により得られた結果がどのように導かれたのかを正しく理解することは難しく「ブラックボックス」として扱われてきた。そこで、ドロップアウト法を統計的実験計画法におけるモデルとして捉えることで、モデルの信頼度を評価できるのではないかとというのが研究の出発点である。また組合せデザイン理論の分野において新しい応用分野に適合する組合せ構造を研究することは意義があると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、ドロップアウト法に統計的実験計画法で用いられるブロックデザインの活用を提案する。ドロップアウト法において、各ノードはおおよそ0.5の確率で無効化されており、全体として各層において50%のノードが用いられているが各ノード間の繋がりについては考慮されていない。つまり2部グラフとして考えた場合、学習をするときの各辺の出現頻度は一定ではない。これらも合わせて考慮した手法を用いれば、より良い学習が行えるのではないかと考える。統計モデルの意味で最適な計画としてドロップアウトデザインと呼ばれるブロックデザインを提案し、その構成手法を与え、ディープラーニングの学習での有効性を検証することが研究目的である。

3. 研究の方法

統計的実験計画法の2因子実験で用いられる split block design と呼ばれるブロックデザインは、統計モデルとしての最適性を保持する。そこでディープラーニングに用いるための統計モデルとして split block design を拡張し、ドロップアウトデザインと呼ばれるブロックデザインを提案し、以下の項目に分けて研究を進める。

(1) ドロップアウトデザインの構成手法の提案

直交配列を用いた手法: 1947年に提案された Bose による生成行列を用いた直交配列の構成手法を応用し、ドロップアウトデザインを構成する。

幾何的手法: 有限アフィン空間、射影空間上で定義される結合構造を用いてドロップアウトデザインを直接的に構成する。例えば、位数 q の有限体上の d 次元アフィン空間の t -flat からなる平行類を点集合とし、ある超平面の集合をブロック集合として考える。ただし、各 t -flat と超平面の交わりが部分ブロックを与えるものとする。このような幾何的な手法は、多層のドロップアウトデザインを直接的に与えるのに非常に有益であると考えられる。また結合構造に関する既存の結果は、2つの点集合に対して着目したものがほとんどであるため、それらを n 組の点集合へ拡張することも考慮に入れながら、構成手法の提案に取り組む。

(2) ドロップアウトデザインの有効性の検証

実験による検証: ドロップアウトデザインを用いたディープラーニングを実装し、学習の有効性を既存のものと比較し検証を行う。TensorFlow という Google が開発しオープンソースとして提供しているディープラーニングのフレームワークを用いた実装を行う。

統計モデルとしての最適性の検証:

ドロップアウトデザインの考え方のベースとなる split block design は E-最適, A-最適, D-最適を満たすブロック計画である。ドロップアウトデザインが最適性を満たすための条件を明らかにする。

4. 研究成果

V_1, V_2, \dots, V_n を互いに異なる点集合とする。ブロック集合を

$$B = \{ \{ C_1 \mid C_2 \mid \dots \mid n \} \mid C_i \subset V_i, C_i \neq \emptyset \}$$

としたとき, 任意の $i = 1, \dots, n - t + 1$ に対して, $V_i, V_{i+1}, \dots, V_{i+t-1}$ からそれぞれ選んだ任意の g_1, g_2, \dots, g_t 個の点集合 (ただし, $g_i \leq d_i$) を含むブロック数が点の選び方に依らず一定のとき, (d_1, d_2, \dots, d_t) 型のドロップアウトデザイン (DD) と呼ぶ.

(1) DD の構成手法の提案

直交配列を用いた手法: Multisplit 直交配列を用いて, 1^t 型の DD の構成法, $(2, 1)$ 型の DD の構成法を得た.

有限アフィン幾何および射影幾何の結合構造を利用した手法: 点集合のサイズや部分ブロックのサイズが一定である $(2, 1)$ および $(1, 2)$ 型の uniform DD の構成法や $(2, 2)$ 型の DD の構成法を得た.

巡回性をもつ DD の構成手法: 層の数を任意に設定できるようにするため巡回性をもつ $(2, 1)$ 型, $(2, 1, 1)$ 型の DD の構成手法を得た.

(2) DD の有効性の検証

実験による検証: DD の性質を明らかにするために, $(1, 2)$ 型の DD を用いた正則化法を多層パーセプトロンに適用した 4 種類のネットワーク構成について, 画像分類問題の精度と損失を評価する実験を行い, すべてのネットワークについてドロップアウト法と同程度の汎化性能を示すことを確認した. 一方で DD に固有の特徴的な結果は観察されなかった. DD の有効性は, 正答率の上昇ではなく, パラメータの推定精度に見られるのではないかと考える.

統計モデルとしての最適性: 実験計画法においてパラメータの推定精度は計画行列を X とすると, 情報行列 $X^t X$ の固有値を用いて測られる. 特に $X^t X = \alpha I + \beta J$ の型で与えられるとき様々な最適基準を満たす. DD のある 2 層に着目し, 2 層目のある 1 つのノードに対してモデルを考えたとき, この $\alpha I + \beta J$ の形をもつため, DD は局所的に最適な計画を与え得ると言える.

(3) SBBD の構成と有効性

過学習を避けるための手法としてドロップアウト法とは異なるドロップコネクト法という手法がある. ドロップコネクト法に活用するため新しく SBBD と呼ばれる組合せ構造を提案した. SBBD は, ある条件を満たす完全二部グラフの部分グラフをブロックとして考えた結合構造である. この結合行列から得られる情報行列は完全二重対称という綺麗な性質をもち, group divisible design とも関係がある. SBBD を用いた統計モデルのパラメータの推定精度に関して, variance balanced であること, さらにある条件を満たす SBBD に対しては A 最適性を満たすことを示した. またいくつかの構成手法を与えた.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Shoko Chisaki, Ryoh Fuji-Hara, Nobuko Miyamoto	4. 巻 89
2. 論文標題 A construction for circulant type dropout designs	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Designs, Codes and Cryptography	6. 最初と最後の頁 1839-1852
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10623-021-00890-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Xiao-Nan Lu, Miwako Mishima, Nobuko Miyamoto, Masakazu Jimbo	4. 巻 213
2. 論文標題 Optimal and efficient designs for fMRI experiments via two-level circulant almost orthogonal arrays	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Statistical Planning and Inference	6. 最初と最後の頁 33-49
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jspi.2020.11.005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. Chisaki, R. Fuji Hara and N. Miyamoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Combinatorial designs for deep learning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of combinatorial designs	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/jcd.21720	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 地寄頌子, 栗木進二, 藤原良, 宮本暢子
2. 発表標題 Optimality of spanning bipartite block designs
3. 学会等名 日本数学会2022年度年会統計数学分科会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 地寄 頌子, 宮本 暢子, 藤原 良
2. 発表標題 A construction of spanning bipartite block designs
3. 学会等名 日本数学会2021年度秋季総合分科会 統計数学科分科会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 熊澤 努, 地寄 頌子, 中川 智之, 室井 浩明, 渡邊 卓也
2. 発表標題 ドロップアウトデザインの深層学習への適用と性能評価
3. 学会等名 Japanese Conference on Combinatorics and its Applications 2021・離散数学とその応用研究集会 2021 ミニシンポジウム「符号・暗号・人工知能」 シンポジウム・ワークショップ パネル
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 地寄 頌子, 栗木 進二, 藤原 良叔, 宮本 暢子
2. 発表標題 Spanning bipartite block design と最適性
3. 学会等名 Japanese Conference on Combinatorics and its Applications 2021・離散数学とその応用研究集会 2021 ミニシンポジウム「符号・暗号・人工知能」 シンポジウム・ワークショップ パネル
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 盧曉南, 三嶋美和子, 宮本 暢子, 神保雅一
2. 発表標題 Circulant almost orthogonal arrays and perfect binary sequences
3. 学会等名 日本数学会2020年度秋季総合分科会 統計数学科分科会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 地寄 頌子, 宮本 暢子, 藤原 良叔
2. 発表標題 二部グラフ構造を持つ処理集合の実験計画とその深層学習への応用
3. 学会等名 2020年度科学研究費シンポジウム「大規模複雑データの理論と方法論：最前線の動向と新たな展開」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Chisaki
2. 発表標題 ニューラルネットにおけるDropConnectの均斉化
3. 学会等名 The Japanese Conference on Combinatorics and its Applications
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 熊澤 努, 地寄 頌子, 室井 浩明, 渡邊 卓也
2. 発表標題 深層学習用組合せデザインを用いたドロップアウト法の性能評価報告
3. 学会等名 研究会「実験計画法と符号および関連する組合せ構造」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 地寄 頌子, 松原 和樹
2. 発表標題 DropConnect法への組合せデザインの応用
3. 学会等名 研究会「実験計画法と符号および関連する組合せ構造」
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	三嶋 美和子 (Mishima Miwako) (00283284)	岐阜大学・工学部・教授 (13701)	
研究 分担者	地寄 頌子 (Chisako Shoko) (90778250)	大阪工業大学・情報科学部・講師 (34406)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------