科学研究費助成事業 研究成果報告書



平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号: 11201

研究種目: 基盤研究(C)(一般)

研究期間: 2013~2015

課題番号: 25330001

研究課題名(和文)符号化に基づく高機能かつコンパクトな実践的グラフデータ構造の確立

研究課題名(英文)Practical and functional graph data structures based on graph codings

研究代表者

山中 克久 (Yamanaka, Katsuhisa)

岩手大学・工学部・助教

研究者番号:60508836

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文):本研究の目的は,巨大なグラフ構造を,コンパクトに計算機上に保存するためのデータ構造を設計・開発することである.本研究では,グラフを2進符号で表現することにより,実性能のよいコンパクトな表現方法を提案する.主に,フロアプランに対して2進符号表現の開発に取り組んだ.フロアプランはVLSI設計に応用をもつ重要なグラフの描画である.本研究では,フロアプランの主要なクラスであるモザイクフロアプランとスライシングフロアプランに対して,非常にコンパクトな2進符号表現を与えた.

研究成果の概要(英文): The purpose of this research is to design data structures for compact representations of graph structures. In this research, we design such data structures by encoding graphs with binary codes. In this project, we focused on representing floorplans, which have application to VLSI design. We presented extremely compact representations for mosaic floorplans and slicing floorplans which are important classes of floorplans.

研究分野: アルゴリズム理論

キーワード: アルゴリズム理論 グラフ理論 データ構造 符号化

1.研究開始当初の背景

近年の情報爆発にともない巨大なグラフを高速に処理しなければならない状況が頻繁に起きている。例えば、ウェブのリンク構造、ソーシャルネットワーク、カーナビゲーションの地図データ、3次元物体のメッシー構造などである。これらは、どれも私達の身近なところに存在し、日頃からよく利用されているデータである。現代社会に生きる私達は日々、巨大なグラフ構造とともに生活していると言っても過言ではない。

巨大なデータを計算機上で高速に扱うためには「そのデータをどのように計算機上で表現するのか?」が重要になる.すなわち,データ構造の設計がキーとなる.本研究では,巨大なグラフを工夫して格納することにより,コンパクトなグラフの表現方法,すなわちグラフのデータ構造を設計する.

2.研究の目的

巨大なグラフをコンパクトに計算機上に 格納することを実現するために,本研究では グラフを 2 進符号で表現するという方針を 取る.与えられたグラフを2進符号に符号化 するアルゴリズムを与え,さらに,その2進 符号からもとのグラフを再構成できること も同時に示す.符号化・復号化の計算時間が 高速になるように2進符号を設計する.

申請者は既に,グラフ表現するコンパクトな2 進符号をいくつか提案している.これらの符号化手法を発展させることで,様々なグラフに対する符号表現を設計する.

3.研究の方法

既存の研究成果として,グラフのデータ構 造がいくつか提案されている.これらの手法 に共通するアイデアは,グラフの分解とテー ブルの活用である.与えられたグラフを小さ なグラフに分解し,小さなグラフ同士のつな がりは明示的にポインタを用いて覚える. そ して,小さなグラフの中身は,あらかじめ用 意しておいたテーブルの中に保存しておき, テーブル番号のみを明示的に覚え, テーブル を参照すれば中身が分かるようになってい る.このアイデアの長所は,理論的に良い性 能を保証できる点である.このアイデアに基 づいたデータ構造の多くは,情報理論的下限 に一致するほどコンパクトなデータ構造に なっている. すなわち, 理論的にはこれ以上 改善できないほどコンパクトなデータ構造 になっている.しかし,他の文献で言及され ている通り,理論的な性能が優れていても, オーダー表記の中に隠されている項が非常 に大きくなるため,実際の性能が期待できな いという欠点をもっている.

これに対し,本研究では,2 進符号を用いてグラフを表現する.簡単な例として順序木

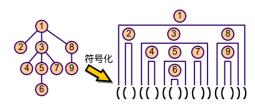


図 1: 順序木の符号化

の2 進符号を図1に示す.各頂点を括弧のペアで表現し,頂点同士の親子関係を括弧のペア同士の入れ子構造で表現している(計算機上では開括弧を'0',閉括弧を'1'として表す).実は,この表現方法は,情報理論的下限と(漸近的に)一致しており,順序木に対して,(漸近的に)これ以上コンパクトな表現方法は存在しないことが分かっている.

申請者は,既に,2 進符号を用いていくつかのグラフクラスをコンパクトに表現する手法を与えている.これらの経験から,2 進符号を用いてグラフを表現した場合,符号がシンプルになるため,符号のサイズを正確に見積もることができると分かった.その結果,オーダー表記の中に隠されてしまう部分は存在せず,実際にもコンパクトな符号化が実現できる.このような経緯と観察より,符号化をベースとしたグラフのデータ構造の着想に至っている.

4. 研究成果

本研究では,主にフロアプランに対する符 号化方法をいくつか提案することに成功し た.フロアプランは矩形分割とも呼ばれ,工 学的にも学術的にも重要なグラフの描画で ある. 工学的には, VLSI のフロアプラニング への応用をもつ.近年の VLSI の高密度化に より,大規模な VLSI を扱う必要がある.対 応するフロアプランも巨大なグラフ構造と なるためコンパクトな表現が求められる.さ らに,フロアプランは数学的にも重要である ことがわかっている. フロアプランにはいく つかの種類があり,そのうち,モザイクフロ アプランと呼ばれるものは Baxter permutation と一対一に対応することが示 されている.また,スライシングフロアプラ ンは , separable permutation と一対一対応 することも知られている.フロアプランに対 する 2 進符号を設計することは,これらの permutation に対する符号を提案すること にもなる. その他にも,2 進符号を用いた効 率の良い数え上げアルゴリズム・ランダム生 成アルゴリズムを提案することに成功した.

以下では本研究の成果を項目ごとに述べる.

(1)長さを考慮したフロアプランの符号化

フロアプランに関する符号は既にいくつ か知られているが,辺の長さを考慮した結果 は存在しなかった.工学的な応用を考えた場合,フロアプラン中の各辺の長さを覚えることは必要不可欠である.既存のフロアプラン符号化手法を使った場合は $4f-4+f\lceil\log W\rceil+f\lceil\log H\rceil+o(f)+o(W)+o(H)$ ビット(ここで,f はフロアプランに含まれる矩形の個数,W と H はそれぞれ矩形の最大幅と最大高さ)の記憶領域が必要になるのに対し,提案手法は $4f-4+(f+1)\lceil\log L\rceil+o(f)+o(L)$ ビット(ここで L は辺の長さの最大値)で十分である.

(2) モザイクフロアプランの符号化

フロアプランの主要なクラスの一つにモザイクフロアプランというものがある.これに対するコンパクトな符号が既に提案されている.n 個の矩形を含むモザイクフロアプランを3n ビットで表現することができ,この符号長は情報理論的下限と一致している.本研究では,新たな方法で既存手法と同じ長さをもつ符号を提案した.さらに,フロアプランの形によっては,既存手法よりもさらに符号長が短くなることも示した.

(3) スライシングフロアプランの符号

フロアプランの重要なクラスの一つとし て,モザイクフロアプランの他に,スライシ ングフロアプランというものがある.このフ ロアプランは,モザイクフロアプランよりも 個数が少ないことが既に知られており,n 個 の矩形を含むモザイクフロアプランが 3n ビ ットで表現されるのに対し、より小さなビッ ト数で表現され得ることは分かっていたが、 実際に証明することはできていなかった.本 研究では.n 個の矩形を含むスライシングフ ロアプランを 2.6n ビットで表現する 2 進符 号を提案することに成功した.情報理論的下 限が 2.543n ビットであることを考慮すると 極めてコンパクトな符号になっている.この 符号化法は,入力で与えられたスライシング フロアプランの形を一度調べてから,そのフ ロアプランに適した符号化法を選択すると いうアイデアに基いている.しかしながら、 辞書に対応した記憶領域を必要としないよ うに設計されており、非常にコンパクトな表 現である.

(4)サーベイ論文の執筆

フロアプランのコンパクトな表現方法に関するサーベイ論文を執筆し,査読付きの論文誌に採録となった.フロアプランにはいくつものクラスがあり,クラスごとに様々な符号化手法が提案されてきている.2004年にフロアプランの表現方法に関するサーベイ論文が発表されたが,その後,同分野に関する研究成果がいくつも提案されている.そこで、今後の研究のさらなる進展に寄与すること最新の研究のは果を体系的に解説する論文の執筆を行った.

(5)符号表現に基づいた数え上げ・ランダ ム生成

符号表現に基いて,効率的な数え上げアルゴリズムやランダム生成アルゴリズムが設計できることを示した.本研究では,モザイクフロアプランと置換分解(あみだ籤)に対して数え上げ・ランダム生成アルゴリズムを設計した.このアイデアをより発展させることにより,新たなアルゴリズム設計フレームワークが提案できるかもしれないという意味で今後の発展が期待できる研究成果である.

以上が本研究の成果である.主にフロアプランに対してコンパクトな符号を提案することに成功した.フロアプランは,工学的な応用をもち,かつ学術的にも興味深い研究対象である.2 進符号を提案するだけでなく,2 進符号を利用した数え上げ・ランダム生成アルゴリズムの設計方法も考案することができた.これについては,今後さらなる発展を行っていく必要がある.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に は下線)

〔雑誌論文〕(計7件)

- Katsuhisa Yamanaka and Shin-ichi Nakano, Uniformly random generation of floorplans, IEICE Transactions on Information and Systems, vol.E99-D, no.3, pp.624-629, Mar, 2016. DOI: http://doi.org/10.1587/transinf.2015F CP0013
- Katsuhisa Yamanaka, Recent developments in floorplan representations, Interdisciplinary Information Sciences, no.4, vol.21, pp.371-399, Dec, 2015. DOI: http://doi.org/10.4036/iis.2015.L.05
- Katsuhisa Yamanaka, Takafumi Ohmori, Takashi Hirayama, and Yasuaki Nishitani, (2.6n+2)-bit code of slicing floorplans, in Proceeding of The 18th Japan Conference on Discrete and Computational Geometry and Graphs, pp.50-51, Sept, 2015.
- 4. <u>Katsuhisa Yamanaka</u> and Shin-ichi Nakano, Enumeration, counting, and random generation of ladder lotteries, in Proceedings of the 9th International Frontiers of Algorithmics Workshop(FAW2015), Lecture Notes in Computer Science, vol.9130, pp.294-303, Jul, 2015.
- 5. Katsuhisa Yamanaka and Shin-ichi Nakano,

- Uniformly random generation of floorplans(Extended abstract), the 9th Hungarian-Japanese Symposium on Discrete Mathematics and Its Applications, pp.188-195, Jun, 2015.
- 6. Katsuhisa Yamanaka and Shin-ichi Nakano Another optimal binary representation of mosaic floorplans. **IEICE** Transactions Fundamentals of on Electronics. Communications and Computer Sciences, vol.E98-A, no.6, pp.1223-1224, Jun, 2015. 10.1587/transfun.E98.A.1223
- 7. Shin-ichi Nakano and <u>Katsuhisa Yamanaka</u>, A compact encoding of rectangular drawings with edge lengths, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, 查読有,vol.E96-A, no.6, pp.1032-1035, Jun, 2013. DOI: 10.1587/transfun.E96.A.1032

[学会発表](計4件)

- 1. <u>Katsuhisa Yamanaka</u> and Shin-ichi Nakano, Enumeration, counting, and random generation of ladder lotteries, IPSJ SIG Technical Report 2014-AL-150-8, pp.1-7, Nov 20-21, 2014, 大濱信泉記念館(沖縄).
- 2. Takafumi Ohmori, <u>Katsuhisa Yamanaka</u>, Takashi Hirayama, Yasuaki Nishitani, Compact codes of slicing floorplans, IPSJ SIG Technical Report 2014-AL-148-6, pp.1-5, Jun 13-14, 2014, 道後温泉大和屋ホテル(愛媛)
- 3. 大森隆文,山中克久,平山貴司,西谷泰昭,スライシングフロアプランのコンパクトな符号,平成25年度第4回情報処理学会東北支部研究会開催報告,資料番号2013-4-2,2013年12月21日,岩手大学(岩手県)
- 4. <u>Katsuhisa Yamanaka</u> and Shin-ichi Nakano, Another optimal binary representation of mosaic floorplans, IPSJ SIG Technical Report 2013-AL-144-11, May 17-18,2013, 小樽 商科大学(北海道).

6. 研究組織

(1)研究代表者

山中 克久 (YAMANAKA, Katsuhisa)

岩手大学・工学部・助教 研究者番号:60508836