

平成22年 6月17日現在

研究種目： 若手研究 (B)

研究期間： 2006 ~ 2008

課題番号：18700005

研究課題名 (和文) 配置問題に対する近似解法の研究

研究課題名 (英文) Studies on heuristic algorithms for cutting and packing problems

研究代表者

今堀 慎治 (IMAHORI SHINJI)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教

研究者番号：90396789

研究成果の概要：

本研究では、代表的な組合せ最適化問題であり、実社会においてもさまざまな応用をもつ配置問題に対して、実用性の高い近似解法の設計手法について研究することを目的とした。本研究で具体的に取り扱った問題は、長方形配置問題、多角形配置問題、および配置問題と同時に現れるカッターパス計算問題であり、これらの問題に対し、発見的解法やメタ戦略アルゴリズムの設計を行い、その計算効率と近似精度に関する理論的解析と、計算機実験による実用性の評価を行った。その結果、本研究で提案した近似解法が、既存手法と比較してより高い実用性を有すること確認された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,500,000	0	1,500,000
2007年度	1,100,000	0	1,100,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	270,000	3,770,000

研究分野： 総合領域

科研費の分科・細目： 情報学・情報学基礎

キーワード： 組合せ最適化, アルゴリズム, 配置問題, 近似解法

1. 研究開始当初の背景

(1) 配置問題とは、配置すべきもの（製品と呼ぶ）の集合と配置される空間が与えられたとき、製品を空間内に、様々な制約の下で効率よく配置する問題である。この問題は、古典的な組合せ最適化問題の1つであり、これまでに多くの研究がなされてきた。初期の研究では、1次元ナップサック問題や正方形詰込み問題など、比較的扱いやすい問題に対

する解法が提案された。また最近では、工学的に重要な意味を持つ、長方形配置問題、多角形詰込み問題、直方体詰込み問題に対する研究が盛んである。計算の複雑度という観点から見ると、ほぼ全ての配置問題はNP困難という問題クラスに分類され、多項式時間で厳密な解を求める手法はおそらく存在しない。このような状況にあるため、性能の良い実用的な近似解法の開発が非常に重要であると考えられている。

(2) 現在、配置問題に関する研究をリードしているのはヨーロッパ諸国（イギリス・ドイツ・イタリア・スペイン・ポルトガル）およびアメリカ、ブラジルであり、これらの国々では非常に活発な研究が行われている。しかし、これらの研究の多くは、単純化された問題を対象とし、人工的に作られたベンチマーク問題によってアルゴリズムの性能が評価されるなど、本問題の実用上の重要性を考慮すると不十分な点がある。また、企業の実験者を中心として、具体的な（工学的応用から生じた）問題に対する解法を提案、実データを用いた評価を行う場合もあるが、これらのほとんどは統一的な知見を持った研究ではなく、職人業の結晶と言うべきものである。日本国内での配置問題に対する研究状況は、IC、LSI 等の集積回路設計の基礎段階として、長方形配置問題を扱う研究が行われているが、さまざまなバリエーションをもつ配置問題に対する研究が十分になされていないという状況からはかけ離れている。

2. 研究の目的

(1) 本研究の最終目的は、困難かつ重要な組合せ最適化問題に対して、性能の良い近似解法を設計するための統一的な技法を確立することである。難しい（NP困難に属する）最適化問題に対して近似解法の構築が重要であるということは広く知られた事実であるが、既存の研究によって得られた近似解法の多くは一種の芸術であり、他の問題に対処する際には役に立たないことも少なくなかった。問題固有の性質・構造を理解した上で、多くの問題に共通して使える手法を適用することにより、過大なコストをかけることなく性能の良い近似解法を構築できると考える。本研究では、代表的な組合せ最適化問題として配置問題を取り上げ、本問題に対する性能の良い、実用的な近似解法を構築することを目指す。

(2) 本研究では、配置問題に対する良質な近似解法の構築を目的とするが、近似解法の性能を評価する尺度（解法の設計指針と密接な関係をもつ）には様々なものが提案されてきた。本研究では次項（研究の方法）に述べる設計指針の下で、配置問題の中でも特に重要とされている2つの問題（長方形配置問題・多角形配置問題）に対する実用的な近似解法を提案する。また、製造業において配置問題と同時に現れるカッターパス計算問題に対する実用的なアルゴリズムの開発と、その性能評価も行う。

3. 研究の方法

本研究では、実用的アルゴリズムの構築を目的とするため、この目的に即した解法の評価指針が必要となる。従来の研究では、少数のベンチマーク問題に対する計算機実験の結果のみによって解法の実用性を評価することが多かったが、真の実用性を検証するには十分でないと考える。そこで本研究では、(1) 解法の汎用性、(2) 実現の容易さ、(3) 現実に即した実験、を意識することにより、真に実用的な解法の構築・解法の正当な評価を行う。

現実への応用を視野に入れた場合、制約条件や目的関数の微小な違いを吸収することができる、汎用性の高い解法の価値が高いことは明らかである。また、現実に現れる膨大な問題に対して、シンプルな解法の設計、多くの問題に共通して使える手法の共有が必須となる。さらに、少数のベンチマーク問題を用いた計算機実験にとどめるのではなく、さまざまなバリエーションを持つ問題例に対するアルゴリズムの適用を行うことで、提案手法の汎用性が評価できる。

アルゴリズムの枠組みとしては、実用的近似解法としての地位を確立している局所探索法を基本としながら、非常に規模の大きい問題に対処する際は欲張り法を、より精度の高い近似解が必要とされる場合はメタ戦略アルゴリズムの提案を行う。

4. 研究成果

本研究では、代表的な組合せ最適化問題の中から配置問題を取り上げ、この問題に対する様々な近似解法を設計し、その性能を理論的・数値的に評価することを目的として研究をすすめた。本研究によって得られた研究成果を以下に述べる。

(1) 長方形配置問題

長方形配置問題とは、長方形集合と配置空間（2次元平面）が与えられたとき、出来る限り充填率の高い配置を求める問題である。この問題は、2次元配置問題の中でこれまでに最も盛んに研究が進められ、国内外において数多くの近似解法が提案されてきた。（なお、本研究では直接扱わなかったが、精度保証付き近似解法や厳密解法の研究も盛んである。）これまでに提案された実用的近似解法の中には、効率的な実装手法や計算の複雑度が知られていないものがあり、工学的応用の場面で実際に利用するには不十分な状況であった。本研究では、特に実用性が高いと考えられている手法に対して、効率的な実装手法を提案した。さらに、この手法の理論的な精度保証に上界と下界から迫り、オーダ記

法の意味において両者を一致させることに成功した。本研究で取り扱ったアルゴリズムによって、長方形を配置した様子の一例を以下の図1に示す。

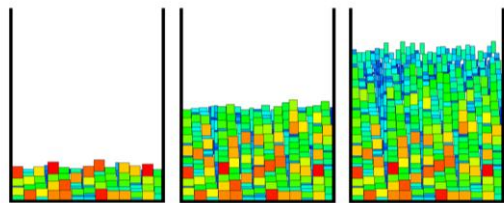


図1：長方形配置問題に対する構築型解法 Best-fit 法による長方形の配置

(2) 多角形配置問題

近年盛んに研究が行われている多角形配置問題に対しても、実用的な近似解法の構築というテーマで研究を進めた。この問題は様々な工学的・産業的な応用を持ち、実用的解法のニーズが高い問題と考えられている。本研究において提案した手法は、局所探索とメタ戦略に基づくアルゴリズムであり、近傍探索の効率化に主眼をおいたものである。広く用いられている複数のベンチマーク問題による数値的なアルゴリズム評価を行い、平均的に既存の最良手法と同等の性能を持つこと、さらに問題例によって、過去の最良解を上回る解を出力できることを確認した。提案手法によって得られた配置図の一例を以下の図2に示す。

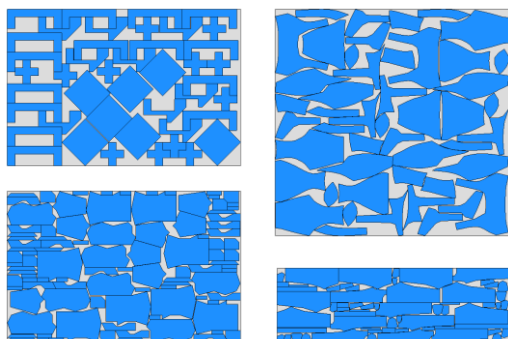


図2：多角形配置問題に対するメタ戦略アルゴリズムの適用（配置例）

(3) カッターパス計算問題

配置問題と関連の強い、カッターパス計算問題に関するアルゴリズム開発の研究も並行して行った。本問題では多角形の配置を問題の入力とし、与えられた配置図から各多角形を効率的に切り出すパスを見出すことを目的とする。産業分野で実際に現れる課題に対処するため、現実に現れる問題の忠実な数理モデル化を行い、高速な実用的解法の提案を行った。

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3件)

- ① S. Imahori, M. Yagiura: “The Best-Fit Heuristic for the Rectangular Strip Packing Problem: An Efficient Implementation and the Worst-Case Approximation Ratio,” *Computers and Operations Research* 37 (2010) 325-333
- ② S. Umetani, M. Yagiura, S. Imahori, T. Imamichi, K. Nonobe, T. Ibaraki: “Solving the Irregular Strip Packing Problem via Guided Local Search for Overlap Minimization,” *International Transactions in Operational Research* 16 (2009) 661-683
- ③ S. Imahori, M. Kushiya, T. Nakashima, K. Sugihara: “Generation of Cutter Paths for Hard Material in Wire EDM,” *Journal of Materials Processing Technology* 206 (2008) 453-461

[学会発表] (計12件)

- ① S. Imahori, M. Yagiura: “New Implementation of the Best-Fit Heuristic for Rectangle Packing and Tight Analysis on Approximation Ratio,” 6th ESICUP Meeting, 2009年3月 (Valencia, Spain)
- ② S. Imahori, M. Yagiura: “Improved Best-Fit Heuristics for Rectangular Strip Packing and Bin Packing Problems,” *International Symposium on Combinatorial Optimization 2008*, 2008年3月 (Coventry, UK)
- ③ 今堀慎治, 梅谷俊治, 柳浦睦憲: “資源の有効利用 —パッキング技法の貢献—,” *ミニシンポジウム 新世代計算限界と地球環境問題*, 2007年12月 (京都)
- ④ S. Imahori, M. Kushiya, T. Nakashima, K. Sugihara: “Generation of Cutter Paths for Hard Material,” *The First Hanyang-Tokyo Geometric Workshop*, 2007年11月 (Seoul, Korea)
- ⑤ 今堀慎治, 柳浦睦憲: “大規模な長方形詰込み問題に対する実用的解法,” *スケジューリング・シンポジウム 2007*, 2007年9月 (京都)
- ⑥ 今堀慎治, 柳浦睦憲: “長方形配置問題に対する best-fit 法の効率的な実現,” *情報処理学会 第114回 アルゴリズム研究会*, 2007年9月 (愛知)
- ⑦ S. Umetani, M. Yagiura, T. Imamichi, S. Imahori, K. Nonobe, T. Ibaraki: “A Local Search Algorithm based on Overlap Minimization for the Irregular Strip

Packing Problem,” Proceedings of the 7th Metaheuristics International Conference (MIC2007), 35/1-3, 2007年6月 (Montreal, Canada)

⑧ S. Imahori, M. Kushiya, T. Nakashima, K. Sugihara: “Generation of Cutter Paths for Hard Material,” Proceedings of the 5th Hungarian-Japanese Symposium on Discrete Mathematics and Its Applications (2007), 201-210, 2007年4月 (宮城)

⑨ S. Imahori, M. Yagiura: “Theoretical and Experimental Comparisons of Heuristic Algorithms for Rectangle Packing Problems,” 4th ESICUP Meeting, 2007年3月 (Tokyo, Japan)

⑩ S. Imahori, M. Yagiura: “Bottom Left Heuristics for Strip Packing Problem,” Dagstuhl Seminar 07112 (Cutting, Packing, Layout and Space Allocation), 2007年3月 (Dagstuhl, Germany)

⑪ S. Umetani, M. Yagiura, T. Imamichi, S. Imahori, K. Nonobe, T. Ibaraki: “A Guided Local Search Algorithm based on a Fast Neighborhood Search for the Irregular Strip Packing Problem,” Proceedings of International Symposium on Scheduling 2006 (ISS2006), 126-131, 2006年7月 (東京)

⑫ S. Imahori, M. Kushiya, T. Nakashima, K. Sugihara: “Cutter-Path Generation for Hard Material,” INFORMS 2006, 2006年6月 (Hong Kong, China)

[図書] (計2件)

① T. Ibaraki, S. Imahori, M. Yagiura: “Hybrid Metaheuristics for Packing Problems,” in: C. Blum, M. J. Blesa Aguilera, A. Roli, M. Sampels (eds.): Hybrid Metaheuristics: An Emerging Approach to Optimization, Studies in Computational Intelligence (SCI) 114, (Springer, Berlin), 2008, 185-219

② S. Imahori, M. Yagiura, H. Nagamochi: “Practical Algorithms for Two-dimensional Packing,” in: T.F. Gonzalez (ed.): Handbook of Approximation Algorithms and Metaheuristics (Chapman & Hall/CRC in the Computer & Information Science Series), 2007, 36 1-15

6. 研究組織

(1) 研究代表者

今堀 慎治 (IMAHORI SHINJI)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教
研究者番号：90396789