

ラベル配置における総交差数最小化問題

尾野航平・森口昌樹・今井桂子

Minimizing the Total Number of Intersections in Label Placement

Kohei ONO, Masaki MORIGUCHI and Keiko IMAI

Abstract: Node label placement (NLP) is the problem of placing labels for nodes on a map. The goal of this paper is to compute a label placement whose intersecting labels can be easily resolved by manual re-positioning. For this purpose, under the constraint that a unit-square label is placed for all nodes, we consider the problem of minimizing the total number of intersections between labels. We propose a greedy algorithm for this problem and present experimental results to evaluate its effectiveness.

Keywords: ラベル配置問題 (label placement problem), ラベル交差数 (label intersection number), 貪欲算法 (greedy algorithm)

1. はじめに

地図作成においては、描かれた対象物の説明をするために文字などによる注記が行なわれる。注記（ラベル）は長方形の中に書かれると考える。注記対象が点であり、適当な位置、大きさなどの制約を満たすようにラベルを配置する問題を点ラベル配置 (NLP) 問題といい、一般的に、NLP 問題は NP 困難である。

これまで、NLP 問題はラベルの交差がないことを前提に解かれてきたが、近年、ラベル同士の重なり（交差）を許す自動配置に関する研究がされている。de Berg と Gerrits (2012) は、ラベルを単位正方形とし、他のラベルと交差していないラベル（フリーラベル）数を最大化するフリーラベル最大化問題を提案し、近似アルゴリズムを与えた。また、動的な点に対し、フリーラベル最大化問題のアルゴリズムを離散的に使用し、その間

を補間するアルゴリズムを与えた (de Berg and Gerrits, 2013)。

動的な点に対するラベル配置問題の応用例として、航空管制システムにおける監視レーダーシステムが挙げられる。このシステムでは、すべての動く航空機に対し、航空機名などの情報をもつラベルを表示している。重なってしまっても、ラベルを削除することはせず、手動でラベルの位置を移動させることにより、知りたい情報を得ている。このシステムにおいて、フリーラベルを多くしようとする、多くのラベルが重なっている箇所が表れる傾向がある。そのような箇所では、それらのラベルの情報を得るためにラベルを移動する作業は手間がかかる。このような問題を解消するために、フリーラベル数とは異なる最適化基準を作る必要があると考えた。そこで、本稿では、交差しているラベル対の数（総交差数）と交差している面積の二乗和を新たな最適化基準として、用いることにより、手動処理に有効かどうかを検証する。

尾野航平 〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27

中央大学大学院理工学研究科 情報工学専攻

Phone: 03-3817-1680

E-mail: koono@imai-lab.ise.chuo-u.ac.jp

2. 問題設定

平面上に与えられた n 個の点の集合 P とし、各点は点の右上、右下、左上、左下に単位正方形の4つのラベル候補を与えたものを入力とする。指定された最適化基準により、全点に対し、4つの候補から必ず1つを選び、そのラベル位置を解として出力する。ここでは、ラベル同士が辺で接している場合を交差とみなさない。また、ラベル同士が重なることに加え、ラベルが他の点と重なることも許す。交差を手動で解消するための手間を考慮し、どのラベル候補を選ぶかを定める最適化基準として、以下の2つを提案する。

・総交差数最小化問題

この問題の目的関数は、交差しているラベル対の数（総交差数）であり、これを最小化することを考える。図-1 (a), (b) は、同じ点の配置に対して、フリーラベル最大化と総交差数最小化を行なった場合の最適解を示している。(a) のフリーラベル数は3、総交差数は10、(b) ではフリーラベル数0、総交差数4である。

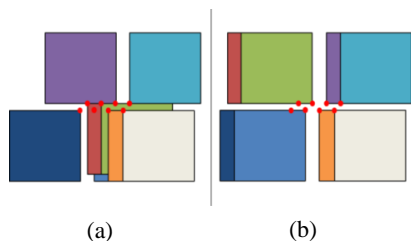


図-1 フリーラベル最大化と総交差数最小化

・総交差面積最小化問題

この問題の目的関数は、交差しているラベル対の交差面積の二乗和（総交差面積）であり、これを最小化することを考える。この目的関数は、大きな重なりを減らすということを表している。単純に面積の総和であると、大きな重なりによるものと少しの重なりが複数あるもので同じ総和になることがある。その場合、後者が適していると考え、交差面積の二乗を行なっている。図-2 は同じ点の配置に対して、交差数と面積で最小化を

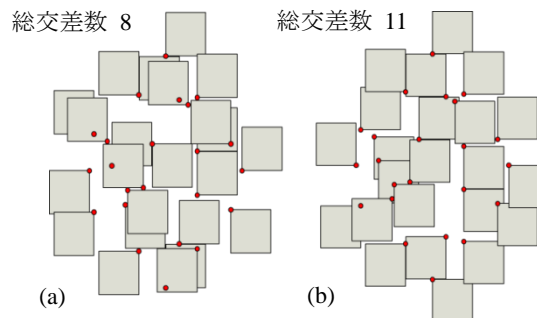


図-2 総交差数最小化(a)と総交差面積最小化(b)

行なった最適解を示している。

ラベルを交差せずに配置可能であるかという決定問題が NP 完全 (Formann and Wagner, 1991) であることから、総交差数最小化問題、総交差面積最小化問題はともに NP 困難である。したがって、本稿では、発見的手法によって、実用的な解を求めるアルゴリズムを提案することを考える。

3. アルゴリズム

提案する解法に共通して用いられる貪欲アルゴリズムに基づく基本アルゴリズムは以下の通りである。

基本アルゴリズム

1. 初期状態を求める。
2. P の各点を処理する順序の決定
3. 2 で求めた順に、各点の4つのラベル候補に対して交差数または交差面積を計算し、最も値が良いラベル候補を決定して配置を更新して行く。値の良いラベル候補が複数あった場合は候補ラベルの優先順位に従って選択する。

初期状態とは、点に処理を行なう前の各点に対するラベルの状態のことである。初期状態の求め方、点の処理順序、4つの候補ラベルの優先順位の決め方の組合せによって、異なるアルゴリズムを構成することができる。

また、上記の基本アルゴリズムの結果として得られた解を初期状態とし、基本アルゴリズムを反復し、実行する手法も考えられる。

3.1 初期状態の生成方法

初期状態の生成方法は次のもの考えた。

- (1) 配置なし：すべての点にラベルを配置しない状態のものを初期状態として扱う。
- (2) 大きな正方形の配置：各点において、4つの候補ラベルをすべて配置したラベルの2倍の辺長をもつ正方形（配置可能領域）を配置する。
- (3) 基本アルゴリズムの解による配置：基本アルゴリズムで各点に選ばれたラベル候補を配置する。

基本アルゴリズムのステップ2において、 i 番目の点を処理することを考える。 $i-1$ 番目までの点には、それまでに選択したラベルを配置し、 $i+1$ 番目以降の点には初期状態で決めた四角形（空集合の可能性もある）を配置する。これらに対して、 i 番目の点の4つのラベル候補それぞれに、交差数や交差面積を求め、同じ値であった場合には、優先順位に従って、 i 番目のラベルの位置を決定する。

開始時に、ラベルの交差や交差面積を計算するために(1)、(2)を用いる。(3)は反復の場合のみ使用する。

3.2 点の処理順序の決定方法

点の処理順序の決定方法は次のものを考えた。

- (1) x 座標の昇順
- (2) y 座標の昇順
- (3) 点の密集度の降順：ある点の近くに、その点のラベルと交差する可能性のあるラベルを持つ点がどのくらいあるかを次のようにして評価した。3.1で述べた配置可能領域を考える。総交差数最小化では、その点の配置可能領域と交差する他の点の配置可能領域の数を、総面積最小化問題では、その点の配置可能領域と交差する他の点の配置可能領域の面積の和を密集度とする。

4. 提案アルゴリズムと計算機実験

3.1, 3.2で述べたものを組み合わせた手法の有効性を計算機実験によって確かめた。組み合わせ

は他にもあるが、ここでは、その内のいくつかを紹介する。実験に用いたデータは、航空管制システムのある瞬間の78機の航空機の位置を元に作成したものと de Berg と Gerrits が用いた、23点から成るインスタンスである。

4.1 総交差数最小化問題

総交差数最小化問題に対し、航空機のインスタンスを用い、次の2つの手法で実験を行なった。

アルゴリズム 1. 開始時の初期状態はなし、反復を行なう際の初期状態は1つ前の反復で得られた解を初期配置とする。点の順序は x 座標の昇順である。ラベル候補の優先順位は、最初は左候補を優先して基本アルゴリズムを解が更新されなくなるまで反復する。これと同じ操作を、右優先、上優先、下優先と優先順位を変えて実行する。

アルゴリズム 2. 開始時の初期配置は大きな正方形、点の順序は密集度の降順である。反復以降の初期状態と優先順位はアルゴリズム1と同じにし、基本アルゴリズムを反復する。

アルゴリズム1, 2を実行した結果が図-3と図-4である。

また、入力点数が23であるインスタンスに対し、紹介していない複数の組み合わせも含めて実験を行なった結果、それらの解を最適解と比較すると最適解8に対し、平均で10程度の解が出力された。

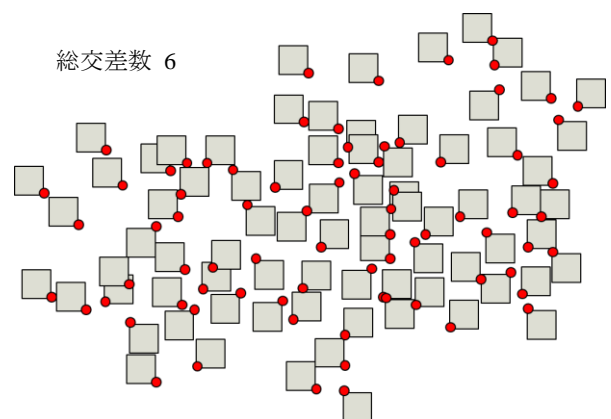


図-3 アルゴリズム1の出力

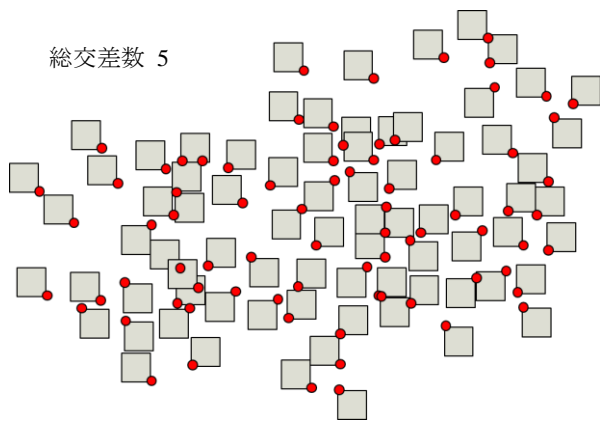


図-4 アルゴリズム 2 の出力

4.2 総交差面積最小化問題

総交差面積最小化問題に対し、アルゴリズム 1 と同じ条件で目的関数のみを変更し、航空機のインスタンスを用い、実行した結果が図-5 である。図-3 と図-5 を比較すると、総交差数はそれぞれ 6 と 13 であり、総交差面積は図-3 は図-5 の約 63 倍であった。

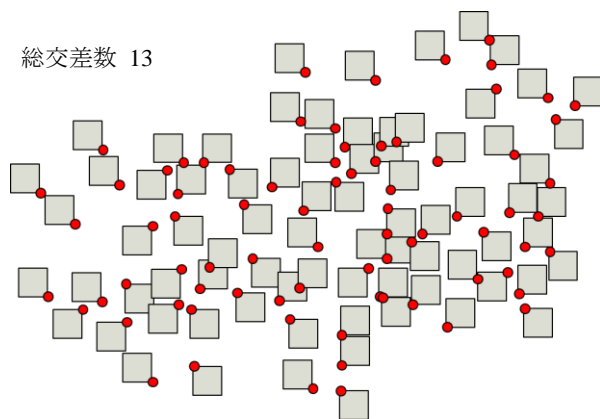


図-5 総交差面積最小化問題に対する出力

また、目的関数に総交差面積を用いるとラベル候補の選択の際に同じ値を取る候補が現れにくいいため、優先順位を変えて実行しても変化しないことが多い。

5. おわりに

ラベルの自動配置後に手で交差を解消させる手間を省くことを目的とした、総交差数最小化

問題と総交差面積最小化問題を提案した。これらの問題に対し、様々な条件で基本アルゴリズムを反復する発見的解法によって、計算機実験を行った。交差数最小化に対しては、同じ交差数でも解を更新することにより、その先で解を改善するための動作が起こることがわかった。また、交差面積を小さくしようとするとう交差数は増加するトレードオフの傾向が見られた。

今後の課題として、以下のことがあげられる。フリーラベル最大化問題には、単位正方形ラベルにおける近似アルゴリズムがあるため、総交差数最小化問題にも近似アルゴリズムを与えることがあげられる。また、交差を解消する手間を評価すること、長方形ラベルに拡張すること、動的な点に対し、補間のアルゴリズムを使用し、実際の航空機の動きにおいて実験を行なうことなどが考えられる。

謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金による。

参考文献

- M. de Burg and D. H. P. Gerrits, 2012. Approximation algorithms for free-label maximization, *Computational Geometry*, **45**(4), 153-168.
- M. de Burg and D. H. P. Gerrits, 2013. Labeling moving points with a trade-off between label speed and label overlap, In H. Bodlaender and G. Italiano, editors, *Proceedings of the 21th Annual European Symposium on Algorithms, Lecture Notes in Computer Science*, **8125**, 373-384.
- M. Formann and F. Wagner, 1991. A packing problem with applications to lettering of maps, *Proceedings of the 7th Annual ACM Symposium on Computational Geometry*, 281-288.