6T-02

2次元図形描画のための幾何制約ソルバー

大政 崇　酒井 健作　福井 幸男　西原 清一

筑波大学 電子・情報工学系

1 はじめに

これまで幾何制約を用いてユーザの設計意図を表現する描画システムの研究がなされてきた．それらのシステムでは，点や線分などの図形を構成する要素(これらを geom と呼ぶ)の配置を，付与された幾何制約を満たすように制約充足を行って決定することで，ユーザが意図した図形を保持することができる[1].

しかし，付与される幾何制約が不足している，すなわち under-constrained である場合，geom の配置を一意に決定できないため，提示する解の特定が困難となる．そのため，近年ではunder-constrained な状態にも対処できる幾何制約ソルバーの研究が行われている[2][3].

本報告では， geom に付与されている制約とユーザが行った編集動作(マウスドラッグによる geom の移動)との比較からユーザの編集意図を推定し，無数に存在する geom の配置から編集意図に適合する配置候補を生成することで，under-constrained な場合において geom の配置を決定するアルゴリズムを提案する．

2 基本方針

本報告では，geom として点，線分，円弧を扱う．制約充足は以下の基本方針に従って行う．

(1)ユーザの編集動作により図形に対して変形操作が施された際に作動し，付与された全ての制約を満たす geom の配置を求める．

(2)すでに配置が決定している geom に基づいて，各制約ごとに用意した充足関数を適用し，他の geom の配置を決定する．これを繰り返すことにより，全ての geom の配置を順次決定する．

(3)制約の不足などから充足関数によってそれ以上配置が決定できない場合は，3 章で述べる配置決定ルールに従って複数の候補を生成し，各候補ごとに制約充足を行う．

(4)ユーザには各候補から得られた複数の配置を提示する．

図 1 に制約充足の例を示す．まず Step1 のように長方形があるものとする．また，長方形であることを示すために，隣り合う各辺の組について「成す角度が直角」であり，「端点を共有」するという制約が付与されている．この図形に対して，ユーザがドラッグ操作を行い長方形の一辺$\{l_1\}$を平行移動した場合を考える(Step2). 幾何制約ソルバーは，まず l_1 の配置をドラッグ操作によって指定された位置に決定する(Step3). 次に，付与されている制約の充足関数を適用し，移動した線分と隣り合う二つの線分$\{l_2, l_4\}$の一端点および傾きを決定する(Step4). この段階では，l_2, l_4 の長さは制約されていないので，配置を一意に決定することができない．そこで，ユーザがどのような編集を意図したか推定し，それに適合する配置を行うことを考える．

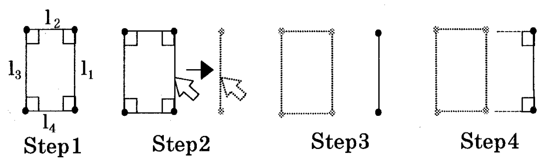

図 1: 制約充足の例

3 編集意図の推定による配置決定ルール

一般に，ユーザが編集動作によって図形に変形操作を施す場合，直接ドラッグした geom だけでなく，他の複数の geom に対しても同じ変形操作が施される．図 1 の例でいえば，ユーザが変形操作を施す対象はドラッグした l_1 を含む「長方形」であると考えられる．このように同じ変形操作が施される geom の集合を geom-set と定義する．提案する幾何制約ソルバーは，geom に付与されている制約から geom-set を推定し，それらに対して可能な変形操作と実際に行われた編集動作との比較から，ユーザが意図した編集を推定する．

本報告では，ユーザによる変形操作を移動，拡大縮小，回転の 3 種類によって表現する．また拡大縮小には，線分を基準とする単一方向への拡大縮小と，点を基準とする全方向への拡大縮小とを定義する．

3．1 geom-set の生成

geom-set は以下のようにして生成する．まず個々の制約に用意した geom-set 生成ルールに従って，基礎的な geom-set 群を生成する(表 1 に例を示す).

次に，生成した geom-set 群から表 2 に示すような geom-set 合成条件に適合する二つの geom-set を選択し，それらを合成して新たな geom-set を生成する．

図 1 の例では，長方形を構成する全ての線分について「成す角度が直角」を示す制約が付与されているため，回転角が同じに規定された geom-

---

Geometric Constraint Solver for a 2-Dimensional Drawing System

Takashi Ohmasa, Kensaku Sakai, Yukio Fukui, Seiichi Nishihara

Institute of Information Sciences and Electronics, University of Tsukuba

set を各線分(および両端点)ごとに生成する．また各線分同士は一端点を共通の geom として持つので，geom-set 合成条件(2)によって全ての geom-set を一つに合成し，長方形を構成する全ての geom を含む geom-set$\{l_1, l_2, l_3, l_4\}$を生成する．生成した geom-set には，任意の方向への移動，任意の点および長方形の各辺に対して平行または垂直な線分を基準とする拡大縮小，任意の点を基準とする回転が可能である．

表 1：geom-set 生成ルールの例

制約：「二線分 l_1, l_2 の成す角度を固定する」	
生成する geom-set	$\{l_1\}$，$\{l_2\}$
可能な移動	$\{l_1\}$…全方向　$\{l_2\}$…全方向
可能な拡大縮小	$\{l_1\}$…点基準，または l_1 に平行な方向か l_1 に垂直な方向への拡大縮小 $\{l_2\}$…点基準，または l_2 に平行な方向か l_2 に垂直な方向への拡大縮小
可能な回転	$\{l_1\}$，$\{l_2\}$ は同じ角度の回転が施される

表 2：geom-set 合成条件の例

No.	条件
(1)	一方の geom-set が他方の部分集合である
(2)	共通な geom を含み，変化量（拡大比率、回転角）が同じに規定されている

3．2 geom-set を用いた編集意図の推定

生成した geom-set を元に，以下のようにして編集意図を推定する．まず，編集動作によって配置が決定された geom を含む geom-set を選択する．次に，選択した geom-set に対して可能な変形操作と，実際に編集動作によって与えられた移動方向・距離とを比較し，適合する変形操作を抽出する．ユーザは抽出した変形操作のうちのいずれかを意図したと考えられるので，geom-set を構成する全ての geom に対してこれらの変形操作を施した結果を配置の候補とする．

例として図 1 の場合を考える．まずユーザがドラッグした線分を含む geom-set として$\{l_1, l_2, l_3, l_4\}$(3.1 節参照)を抽出する．またユーザは編集動作によって二点(l_1 の両端点)を同一方向へ移動しているが，一般に，これに適合する変形操作はドラッグされた方向への移動，およびその方向への拡大の二つである．これら二つの変形操作は，先に抽出した geom-set に対して可能である変形操作に含まれているので，どちらについてもユーザが施した可能性がある．このうち拡大については基準となる線分の座標が決まっていないが，このような場合，幾何制約ソルバーは geom-set に含まれる geom(編集動作によって移動された geom を除く)を基準とする．図 1 の場合では l_3 が拡大縮小の基準となる．

以上から，ユーザの編集意図に適合する変形操作が二通り推定され，それぞれの変形操作を施した結果を配置の候補とする(図 2)．

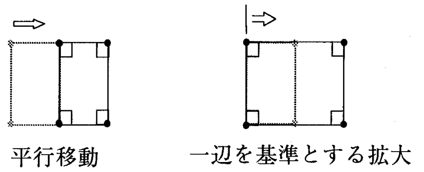

図 2：配置決定ルールによって生成される候補

4 実行例

図 3 に提案する幾何制約ソルバーを用いて制約充足を行った例を示す。図 3 の図形は二つの長方形からなり，長方形であることを示す制約のほかに，「点 p_1 の配置が固定」で「辺 l_1, l_2 の長さが固定」，かつ「点 p_2 において二つの長方形が接している」という制約が付与されている(Step1)．このとき，長方形の一頂点$\{p_3\}$をドラッグして移動し(Step2)制約充足を行った結果，配置の候補が二つ得られた(Step3)．これらは，p_3 を含む長方形に対して拡大と平行移動，および拡大と回転を同時に施した配置である．このように単独では適合する変形操作が存在しないような編集動作が行われた場合，異なった二つの種類の変形操作を同時に施した配置を候補とする．

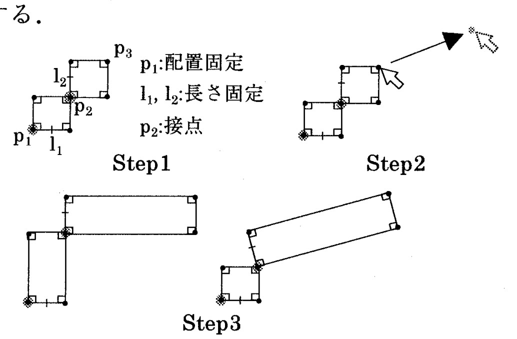

図 3：幾何制約ソルバーを用いた制約充足の例

5 おわりに

本報告では，制約が不足している場合に，ユーザの編集意図を推定するルールを用いて図形配置を決定するアルゴリズムを提案した．

今後は，生成した配置の候補を評価し，よりユーザの意図に近い配置を選択する方法について検討する予定である．

参考文献

[1] Glenn A. Kramer: A Geometric Constraint Engine, Artificial Intelligence, Vol.58 (1992).

[2] Sanjay Bhansali, Glenn A. Kramer, Tim J.Hoar: A Principled Approach Towards Symbolic Geometric Constraint Satisfaction, Journal of Artificial Intelligence Research, Vol.4 (1996).

[3] R S Latham, A E Middleditch: Connectivity Analysis: A Tool for Processing Geometric Constraints, Computer-Aided Design, Vol.28, No.11(1996).