

B-02

グラフの階層直交描画における頂点座標決定アルゴリズム

An Algorithm for Determining the Vertex Coordinates in an Orthogonal Drawing of a Hierarchical Graph

荒木 徹也[†] 山口 一章[†] 増田 澄男[†]
Tetsuya Araki Kazuaki Yamaguchi Sumio Masuda

1. まえがき

グラフの階層描画は、作業工程図、科目間関係図、有向グラフなどの描画に広く用いられている。階層描画を求める代表的な方法として、Sugiyama ら [1],[2] のアルゴリズムが知られている。この方法は、まず、連続していない階層の 2 頂点を結ぶ辺のそれぞれに対して、それがまたぐ階層ごとにダミー頂点を追加する。そして、ダミー頂点を含めて、各階層における頂点の配置順序を決定した後、各頂点の座標を決定し、各辺を描く。

階層描画のうち、各辺を直線で描いたものを直線描画と呼び、各辺を垂直・水平線分からなる経路として描いたものを直交描画と呼ぶ。文献 [3] は、ダミー頂点を複数の辺に共有させる処理を提案し、直線描画、直交描画のいずれを生成する場合でも、その処理が階層描画の描画幅を減らし、描画を簡潔なものにするために有効であることを示した。本研究でも、階層描画を求める際、まずこの処理を実行するものとする。

ダミー頂点の追加後の階層グラフに対し、各階層上の頂点の配置順序を決定するための方法が数多く提案されており [4]、代表的な発見的手法として重心法 [1],[2] が知られている。

頂点の座標決定方法もいくつか提案されている [1],[2],[5] ~ [9]。これらの方法は、直線描画を求めることを念頭に置いたものである。それらのうち、優先度法 [1],[2] は、各階層を上から下、下から上と順に見ていき、それぞれの階層上の頂点座標を、頂点に与えた優先度の順に改善していくという発見的手法である。また、文献 [8],[9] の方法は、描画中の辺長（厳密には、辺の端点の x 座標の差）の総和や重み付き辺長の 2 乗の総和を小さくすることを目的として、各階層の頂点座標を動的計画法を用いて決定していくものである。本稿では、この方法を DP 法と呼ぶことにする。

本研究では、階層グラフの直交描画を求めるものとして、頂点座標を決定することを考える。そして、優先度法、DP 法などにより頂点座標を求めた後、描画中の水平線分の長さの総和がより短くなるように、頂点座標を

改善するアルゴリズムを提案する。提案法は、DP 法と同様、動的計画法を用いるものである。なお、階層グラフの直交描画を求める方法もいくつか提案されている [10] ~ [14] が、本研究では文献 [14] の方法を改良したアルゴリズムを用いるものとする。この方法は、同一頂点に接続する辺が垂直・水平線分の一部を共有することを許しており、比較的簡潔な直交描画を求めることができる。

本稿の構成は以下のとおりである。まず 2. において、階層描画に関するいくつかの定義を示す。3. では提案法について述べ、4. において計算機実験の結果を示す。最後に 5. で本研究の結果をまとめる。

2. 諸定義

グラフ $G = (V, E)$ において、 V が部分集合 V_1, V_2, \dots, V_h に分割されており、任意の辺 $(u, v) \in E$ ($u \in V_i, v \in V_j$) に対して $i \neq j$ であるとき、 G を階層グラフと呼び、各集合 V_1, V_2, \dots, V_h を G の階層と呼ぶ。 $i = 1, 2, \dots, h$ について V_i を第 i 階層と呼び、 h を G の階層数と呼ぶ。階層グラフを描画する際には、平面上に等間隔に引いた h 本の水平線を考え、各 V_i の頂点を上から i 番目の水平線上に配置するものとする。また、各頂点の x 座標は整数値に限るものとする。

$i = 1, 2, \dots, h-1$ について、階層 V_i と V_{i+1} は隣接しているという。また、 V_i を V_{i+1} の上階層と呼び、 V_{i+1} を V_i の下階層と呼ぶ。

階層描画では、非隣接階層の頂点を結ぶ各辺上にダミー頂点を導入する。1. で述べたように、文献 [3] は、ダミー頂点を複数の辺に共有させる処理を示している。本研究でも、与えられた階層グラフに対してこの処理を実行するものとする。これ以降では、その処理によって得られる階層グラフを G と表し、その第 i 階層 ($i = 1, 2, \dots, h$) を V_i と表す。ダミー頂点に対して、元からある頂点のことを実頂点と呼ぶ。これ以降、特に断らない限り、頂点といえば実頂点とダミー頂点の両方を意味する。

ダミー頂点導入後のグラフ G においては、各辺は隣接階層上の頂点を結ぶことになる。そのような各辺を直線で描いた描画を直線描画と呼ぶ。図 1 に簡単な例を示す。同図 (b) は、同図 (a) のグラフに対し、ダミー頂点の共有処理を行い、その結果のグラフを直線描画したも

[†] 神戸大学, Kobe University

のである．図中，正方形で示した各頂点が実頂点，黒丸で示した頂点 a, b, c がダミー頂点である．

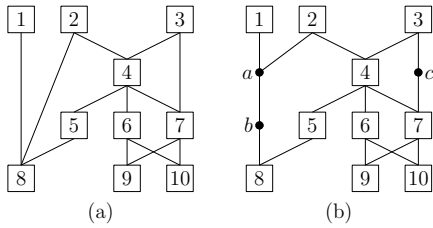


図1 直線描画の例

直交描画では，隣接する2階層 V_i, V_{i+1} の間で， V_i 上の頂点 \rightarrow 垂直線分 \rightarrow 水平線分 \rightarrow 垂直線分 \rightarrow 水平線分 \rightarrow 垂直線分 $\rightarrow V_{i+1}$ 上の頂点というように，垂直・水平線分を用いて辺を描く．その際， $S_1 \cup S_2$ から誘導される部分グラフが完全2部グラフであるようなある集合 $S_1 \subseteq V_i$ と $S_2 \subseteq V_{i+1}$ を考え， S_1, S_2 のそれぞれの頂点を1本の水平線分を用いてつなぎ，それら之间を垂直線分で接続する（ただし， $|S_1| = 1$ であれば S_1 に対する水平線分は設けない． $|S_2| = 1$ である場合も同様）．このような集合 S_1, S_2 を定めたとき， $S_1 \cup S_2$ を高階辺と考える．本研究で考える直交描画 \tilde{G} は，次の条件を満たすものである．

(描画条件) G において辺 (u, v) が存在するとき且つそのときに限り， \tilde{G} において，次の制約 (i), (ii) の下での u から v への経路が存在する．

- (i) 水平線分は左右どちらの方向にたどってもよい．
- (ii) 垂直線分は上から下の方向にのみたどってよい．

図2は，図1(b)のグラフに対する直交描画の例である．この図において，ダミー頂点より小さな黒丸は，高階辺の分岐点を示している．

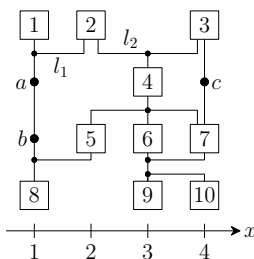


図2 直交描画の例

高階辺 $e = S_1 \cup S_2$ ($S_1 \subseteq V_i, S_2 \subseteq V_{i+1}$) に対して， S_1 の頂点をつなぎ水平線を e の上水平線分， S_2 の頂点をつなぎ水平線を e の下水平線分と呼ぶ．例えば，図2において， l_1 は高階辺 $\{1, 2\} \cup \{a\}$ の上水平線分であり，

l_2 は高階辺 $\{2, 3\} \cup \{4\}$ の上水平線分である．これらの水平線分の長さを，それがつなぐ頂点の x 座標の最大値と最小値の差と定義する．例えば，図2において， l_1 の長さは1であり， l_2 の長さは2である．高階辺 e に対して，それを構成する水平線分の長さの和を $hor(e)$ と表す．

図2において，水平線分 l_1 と l_2 は同一の y 座標をもっている．このように，同じ y 座標をもつ水平線分の集合のことを水平線分群と呼ぶことにする．図2の描画には，要素が一つだけのものを含めて，四つの水平線分群が存在する．

直交描画を簡潔なものにするためには，一般に以下の値のそれぞれを小さく抑えることが望ましい．本研究の計算機実験では，直交描画の評価値として，これらの3種類の値を用いることにする．

- 水平線分長和：描画中のすべての水平線分の長さの総和
- 水平線分群数：描画中の水平線分群の個数
- 辺交差数：異なる高階辺を構成する線分が交差する回数

3. 提案法

ダミー頂点の集合が決定された階層グラフ G に対し，各階層における頂点の配置順序が決まられており，また，直交描画をする際の高階辺の集合が定められているものとする．本章では，直交描画における頂点の座標を決定する方法を提案する．

優先度法 [1],[2] や DP 法 [8],[9] などによって，各階層における頂点の配置を一旦求めるものとする．提案法は，これらの方法による頂点配置を改善するための後処理として用いるものである．提案法は，優先度法や DP 法と同様，グラフの各階層 V_i に順に注目し，その階層上の頂点配置を改善していく．ただし，その際，隣接する階層 V_{i-1}, V_{i+1} の頂点座標を一旦固定し， V_i の頂点を含む高階辺の水平線分の長さの和が最小となるように，動的計画法を用いて， V_i の頂点配置の改善を行う．

提案法において，上の階層から順に， V_{i-1}, V_{i+1} ($i = 2, 3, \dots, h-1$) の頂点の座標を固定して V_i の頂点座標を改善し，最後に V_{h-1} の頂点の座標を固定して V_h の頂点座標を改善するという一連の処理を BDown 過程と呼ぶ．また，下の階層から順に， V_{i-1}, V_{i+1} ($i = h-1, h-2, \dots, 2$) の頂点の座標を固定して V_i の頂点座標を改善し，最後に V_2 の頂点の座標を固定して V_1 の頂点座標を改善するという一連の処理を BUp 過程と呼ぶ．BDown 過程，BUp 過程のいずれについても，その実行により水平線分長和が増加することはない．提案法では，BDown 過程と BUp 過程を交互に繰り返して実行し，得られた頂点配置を出力する．この繰り返しは，各

過程の実行回数があらかじめ定めた定数 N に到達するか、あるいは2回の連続した過程で水平線分長和の値が改善されなくなるまで行うものとする。

階層 V_i ($2 \leq i \leq h-1$) の頂点を左から順に v_1, v_2, \dots, v_n とする。以下では、 V_{i-1}, V_{i+1} の頂点座標を固定して V_i の頂点座標を改善する方法について説明する。BDown 過程において V_{h-1} の頂点座標を固定して V_h の頂点座標を改善する方法、及び、BUp 過程において V_2 の頂点座標を固定して V_1 の頂点座標を改善する方法については説明を省略する。

$i = 2, 3, \dots, h-1$ について、 V_i の頂点と V_{i-1} の頂点を結ぶ高階辺の集合を $E^U(i)$ と表し、 V_i の頂点と V_{i+1} の頂点を結ぶ高階辺の集合を $E^D(i)$ と表すことにする。まず、 $E^U(i)$ に属する高階辺 e について考える。前述のように、 e の水平線分には、上階層 V_{i-1} の頂点を結ぶ上水平線分と下階層 V_i の頂点を結ぶ下水平線分とがある。それぞれの長さは、上下階層の左端頂点と右端頂点の x 座標が決まれば一意に定まる。高階辺 e の上階層における左端頂点、右端頂点と、下階層における左端頂点、右端頂点の x 座標をそれぞれ $ul(e), ur(e), ll(e), lr(e)$ と表す。上水平線分の長さは少なくとも $ur(e) - ul(e)$ 必要であり、下水平線分の長さは少なくとも $lr(e) - ll(e)$ 必要である。それに加え、もし $ur(e) < ll(e)$ ならば $ll(e) - ur(e)$ だけ上水平線分が下水平線分を延長する必要がある。図3参照。また、 $lr(e) < ul(e)$ ならば $ul(e) - lr(e)$ だけ上水平線分が下水平線分を延長する必要がある。

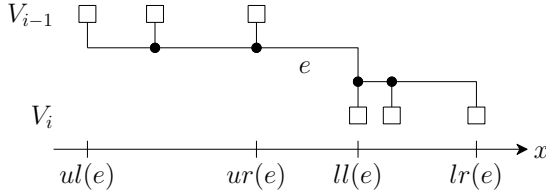


図3 高階辺 e の上下水平線分の例

以上より、高階辺 e の水平線分の長さの和 $hor(e)$ について、以下の式が成立する。

$$\begin{aligned} hor(e) &= (ur(e) - ul(e)) + (lr(e) - ll(e)) \\ &+ \max\{ll(e) - ur(e), 0\} \\ &+ \max\{ul(e) - lr(e), 0\}. \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、

$$\begin{aligned} len1(e) &= ur(e) - ul(e) - ll(e) \\ &+ \max\{ll(e) - ur(e), 0\}, \end{aligned} \quad (2)$$

$$len2(e) = lr(e) + \max\{ul(e) - lr(e), 0\} \quad (3)$$

と定めると、次式が成立する。

$$hor(e) = len1(e) + len2(e). \quad (4)$$

今、 V_{i-1} の頂点の座標を固定しているので、 V_i の頂点の座標を変化させても、 $ur(e), ul(e)$ の値は変化しない。 $len1(e)$ の値は、 $lr(e)$ の値に依存しないので、 $ll(e)$ の値が定まったときに計算できる。一方、 $len2(e)$ の値は、 $ll(e)$ の値に依存しないので、 $lr(e)$ の値が定まったときに計算できる。

$j = 1, 2, \dots, n$ に対し、頂点 v_j を V_i における左端頂点とする高階辺で $E^U(i)$ に属するものの集合を $EL^U(v_j)$ 、 V_i における右端頂点とする高階辺で $E^U(i)$ に属するものの集合を $ER^U(v_j)$ と表すことにする。そして、

$$f^U(j) = \sum_{e \in EL^U(v_j)} len1(e) + \sum_{e \in ER^U(v_j)} len2(e) \quad (5)$$

と定める。頂点 v_j の座標を $t \in Z$ (Z : 整数全体の集合) としたとき、任意の $e \in EL^U(v_j)$ について $ll(e) = t$ となり、任意の $e \in ER^U(v_j)$ について $lr(e) = t$ となるから、 $f^U(j)$ の値は一意に定まる。その値を $f^U(j, t)$ と表すことにする。

v_1, v_2, \dots, v_n の x 座標を定めたとき、 $E^U(i)$ のすべての高階辺の水平線分の長さの和は

$$\begin{aligned} &\sum_{e \in E^U(i)} hor(e) \\ &= \sum_{e \in E^U(i)} len1(e) + \sum_{e \in E^U(i)} len2(e) \\ &= \sum_{j=1}^n \left(\sum_{e \in EL^U(v_j)} len1(e) \right) \\ &+ \sum_{j=1}^n \left(\sum_{e \in ER^U(v_j)} len2(e) \right) \\ &= \sum_{j=1}^n \left(\sum_{e \in EL^U(v_j)} len1(e) + \sum_{e \in ER^U(v_j)} len2(e) \right) \\ &= \sum_{j=1}^n f^U(j) \end{aligned} \quad (6)$$

である。

次に、 $E^D(i)$ に属する高階辺 e について考える。この場合も、 V_i を上階層、 V_{i+1} を下階層とみなして、 $ul(e), ur(e), ll(e), lr(e)$ を前述のように定義すると、式(1)が成立する。さらに、

$$\begin{aligned} len3(e) &= lr(e) - ll(e) - ul(e) \\ &+ \max\{ul(e) - lr(e), 0\}, \end{aligned} \quad (7)$$

$$len4(e) = ur(e) + \max\{ll(e) - ur(e), 0\} \quad (8)$$

と定めると、次式が成立する。

$$hor(e) = len3(e) + len4(e). \quad (9)$$

今、 V_{i+1} の頂点の座標を固定しているので、 V_i の頂点の座標を変化させても、 $lr(e), ll(e)$ の値は変化しない。よって、 $len3(e)$ は $ul(e)$ の値が定まったときに、 $len4(e)$ は $ur(e)$ の値が定まったときに、それぞれ計算することができる。

$j = 1, 2, \dots, n$ に対し、頂点 v_j を V_i における左端頂点とする高階辺で $E^D(i)$ に属するものの集合を $EL^D(v_j)$ 、 V_i における右端頂点とする高階辺で $E^D(i)$ に属するものの集合を $ER^D(v_j)$ と表すことにする。そして、

$$f^D(j) = \sum_{e \in EL^D(v_j)} len3(e) + \sum_{e \in ER^D(v_j)} len4(e) \quad (10)$$

と定義する。頂点 v_j の座標を $t \in Z$ としたとき、任意の $e \in EL^D(v_j)$ について $ul(e) = t$ となり、任意の $e \in ER^D(v_j)$ について $ur(e) = t$ となるから、 $f^D(j)$ の値は一意に定まる。その値を $f^D(j, t)$ と表すことにする。

v_1, v_2, \dots, v_n の x 座標を定めたとき、式 (6) と同様に、次式が成立する。

$$\sum_{e \in E^D(i)} hor(e) = \sum_{j=1}^n f^D(j) \quad (11)$$

v_j の x 座標が t のとき、 $\sum_{u=1}^j (f^U(u) + f^D(u))$ の値ができるだけ小さくなるように v_1, v_2, \dots, v_{j-1} の座標を定めたときの $\sum_{u=1}^j (f^U(u) + f^D(u))$ の値を $g(j, t)$ と表す。このとき、

$$\min \left(\sum_{e \in E^U(i) \cup E^D(i)} hor(e) \right) = \min_{t \in Z} g(n, t) \quad (12)$$

が成立する。

ここで、 $V_{i-1} \cup V_{i+1}$ に属する頂点の x 座標の最小値を $xmin^B(i)$ 、最大値を $xmax^B(i)$ とおく。このとき、

$$\sum_{e \in E^U(i) \cup E^D(i)} hor(e)$$

を最小とするような V_i の頂点配置のうちに、各頂点 v_j ($j = 1, 2, \dots, n$) の x 座標が $xmin^B(i) - n + j$ 以上 $xmax^B(i) + j - 1$ 以下であるものが存在する (文献 [9] の補題 1 の証明と同様の議論による)。そこで、この範囲の整数すべてからなる集合を $R(v_i)$ と定義し、各頂点 v_j の x 座標は集合 $R(v_i)$ の要素に限定するものとする

任意の $t \in R(v_1)$ に対して

$$g(1, t) = f^U(1, t) + f^D(1, t) \quad (13)$$

であり、この値は一意に決まる。また、任意の $j > 1$ と $t \in R(v_j)$ に対して

$$g(j, t) = \min_{\substack{s < t \\ s \in R(v_{j-1})}} g(j-1, s) + f^U(j, t) + f^D(j, t) \quad (14)$$

が成り立つから、動的計画法によりすべての $g(j, \cdot)$ の値を計算することができる。

4. 計算機実験

以下の計算機実験を行った。

(実験 1) 階層数が 3、実頂点の個数が 20、辺の初期本数が 20, 40 あるいは 60 の連結グラフをランダムに 200 個ずつ作成し、文献 [3] のダミー頂点共有化アルゴリズムを実行して、ダミー頂点の集合を決定した。次に、そのような各グラフに対して重心法 [1],[2] と文献 [15] の辺交差削減法を実行して各階層上の頂点配置順序を決定した。そして、以下の 3 通りの方法で頂点の配置を求めた後、それぞれの配置に対して、文献 [14] の方法を改良した描画アルゴリズムで直交描画を求めた。

- 左詰め：各階層において、左から j 番目の頂点の x 座標を j とする。
- 優先度法 [1],[2]
- DP 法：直線描画における辺長の総和を目的関数とした文献 [8] の頂点座標決定法を改良した方法 (文献 [8] で示した動的計画法の解の探索範囲を、文献 [9] で述べたように制限し、さらに文献 [9] で示した後処理を実行する方法)

また、方法 (a) ~ (c) の実行後、高階辺の本数を少なくすることを目的とした貪欲算法により高階辺の集合を決定し [14], 3. で述べた提案法を後処理として実行した場合についても、同じ直交描画アルゴリズムにより直交描画を求めた (提案法における定数 N の値は 5 とした)。以上の方法で得られた直交描画に対し、後処理として提案法を実行していない場合とした場合とを、2. で述べた 3 種類の評価値 (水平線分長和、水平線分群数、辺交差数) 及び実行時間 (各階層における頂点の配置順序を決定した後、頂点座標の計算を完了するまでの時間) に関して比較した。

(実験 2) 実験 1 と同様の実験を、階層数が 4、実頂点の個数が 20、辺の初期本数が 20, 40 あるいは 60 の連結グラフ 200 個に対して行った。

(実験 3) 実験 1, 2 と同様の実験を、階層数が 8、実頂点の個数が 40、辺の初期本数が 40, 80 あるいは 120 の連結グラフ 200 個に対して行った。

実験に使用した計算機の CPU は Core i7 870, OS は Linux 2.6, プログラミング言語は Java 5.0 である。

実験結果を表 1 に示す。表中の各実験値は、200 個のグラフに対する平均値である。後処理ありの場合の水平線分長和の値の後にカッコ書きで示しているのは、200 個のグラフのうち、後処理によって水平線分長和を改善できたものの割合である。

表 1 より以下のことが分かる。

表 1 実験結果

(a) 実験 1 (階層数: 3, 実頂点の個数: 20)

初期辺数	手法	後処理	水平線分長和	水平線分群数	辺交差数	時間 [ms]	
20	左詰め	なし	34.59		6.28	7.64	0.00
		あり	18.40 (99.0%)	3.50	4.25	2.18	
	優先度法	なし	20.52		3.84	4.16	0.40
		あり	18.54 (71.0%)	3.47	4.20	2.67	
	DP 法	なし	18.60		3.46	4.12	1.85
		あり	18.33 (20.5%)	3.41	4.15	3.01	
40	左詰め	なし	71.02		10.98	36.38	0.00
		あり	57.86 (97.5%)	9.55	32.70	2.34	
	優先度法	なし	60.55		9.95	32.73	0.18
		あり	57.77 (88.0%)	9.58	32.51	2.44	
	DP 法	なし	60.15		9.73	32.18	2.91
		あり	57.77 (80.0%)	9.57	32.37	4.69	
60	左詰め	なし	97.78		14.66	66.58	0.00
		あり	84.62 (99.0%)	13.55	63.40	2.35	
	優先度法	なし	87.63		13.95	64.52	0.25
		あり	84.60 (88.0%)	13.52	62.96	2.61	
	DP 法	なし	87.84		13.89	62.90	3.21
		あり	84.60 (91.0%)	13.52	62.84	5.01	

(b) 実験 2 (階層数: 4, 実頂点の個数: 20)

初期辺数	手法	後処理	水平線分長和	水平線分群数	辺交差数	時間 [ms]	
20	左詰め	なし	35.62		7.51	6.89	0.00
		あり	19.06 (100.0%)	4.34	3.51	2.47	
	優先度法	なし	21.29		4.69	3.36	0.23
		あり	18.92 (74.5%)	4.23	3.46	2.27	
	DP 法	なし	18.98		4.13	3.47	1.75
		あり	18.67 (26.0%)	4.10	3.49	3.20	
40	左詰め	なし	73.15		13.10	34.02	0.00
		あり	58.37 (99.5%)	10.82	29.30	3.30	
	優先度法	なし	61.77		11.40	29.73	0.27
		あり	58.22 (85.0%)	10.81	29.09	3.00	
	DP 法	なし	59.72		11.01	28.78	2.71
		あり	58.22 (64.5%)	10.76	28.99	5.10	
60	左詰め	なし	102.66		16.90	61.28	0.00
		あり	88.51 (99.5%)	15.18	56.99	3.82	
	優先度法	なし	93.12		15.87	58.31	0.24
		あり	88.42 (92.0%)	15.19	56.75	3.54	
	DP 法	なし	90.92		15.62	56.79	3.59
		あり	88.39 (86.5%)	15.16	56.69	6.03	

(c) 実験 3 (階層数: 8, 実頂点の個数: 40)

初期辺数	手法	後処理	水平線分長和	水平線分群数	辺交差数	時間 [ms]	
40	左詰め	なし	128.25		20.14	33.06	0.00
		あり	56.93 (100.0%)	10.53	14.11	18.92	
	優先度法	なし	65.29		11.45	15.91	1.00
		あり	53.48 (97.0%)	10.10	13.31	19.14	
	DP 法	なし	51.48		9.56	13.10	6.34
		あり	50.86 (36.5%)	9.47	13.13	17.77	
80	左詰め	なし	281.14		33.08	151.67	0.00
		あり	208.73 (100.0%)	24.97	118.76	33.17	
	優先度法	なし	229.48		26.57	125.63	1.44
		あり	207.06 (100.0%)	24.70	116.95	31.25	
	DP 法	なし	208.29		24.37	114.96	13.31
		あり	205.12 (85.5%)	24.24	115.16	34.94	
120	左詰め	なし	430.09		44.02	290.16	0.00
		あり	358.57 (100.0%)	36.74	251.93	45.69	
	優先度法	なし	390.79		38.55	264.02	1.65
		あり	357.62 (100.0%)	36.55	250.29	42.52	
	DP 法	なし	361.06		36.58	246.79	18.84
		あり	355.38 (95.0%)	36.33	248.18	50.35	

- 提案法を後処理として用いることによって, (a) ~ (c) のいずれの方法を用いた場合についても, 水平線分長和と水平線分群数を改善することができている. 特に, 実験 1 で初期辺数が 40, 60 の場合, 実験 2 で初期辺数が 60 の場合, 及び, 実験 3 で初期辺数が 80, 120 の場合には, 水平線分長和を改善できたデータの割合が非常に高い. ただし, DP 法を用いた場合には, 後処理による改善の度は小さい.
- 後処理の実行前では, 水平線分長和と水平線分群数に関して, 三つの方法で評価値に大きな差がみられる. しかし, どの方法の実行結果に対して提案法を実行した場合でも, 得られた結果の評価値は比較的近いものになっている.
- 直線描画をする場合, ダミー頂点の集合と各階層における頂点の配置順序を決定すれば, 辺交差数は頂点の座標によらず決まる. それに対し, 直交描画をする場合, 頂点の座標によって辺交差数が左右されている. しかし, 優先度法あるいは DP 法を用いた場合には, 後処理の実行の有無に関わらず, 値に大きな差は見られない.
- 後処理として提案法を実行することにより実行時間が増加するが, 提案法そのものにかかっている時間は, 最も長い実験 3 の辺の初期本数 120, 左詰めの場合でも 46ms 程度である.

5. あとがき

各階層上の頂点順序が指定された階層グラフを直交描画する際に, 既存の方法で頂点の座標を定めた後, それを改善するためのアルゴリズムを提案した.

さらに質の高い解を求め得るよう提案法を改善することが今後の課題である.

謝辞 本研究の一部は科学研究費補助金(課題番号: 21500037)の援助を受けて行ったものである.

参考文献

- [1] K. Sugiyama, S. Tagawa, and M. Toda, "Methods for visual understanding of hierarchical system structures," IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, vol.SMC-11, no.2, pp.109-125, 1981.
- [2] K. Sugiyama, Graph Drawing and Applications - For Software and Knowledge Engineering, World Scientific, Singapore, 2002.
- [3] 荒木徹也, 増田澄男, 山口一章, "階層グラフ描画におけるダミー頂点の共有," 電子情報通信学会論文誌 (A), 採録決定.
- [4] O. Bastert and C. Matuszewski, "Layered drawings of digraphs," Drawing Graphs (M. Kaufman and D. Wagner eds.), Lecture Notes in Computer Science, vol.2025, pp.87-120, Springer, Berlin, 2001.
- [5] E.R. Gansner, E. Koutsofios, S.C. North and K.-P. Vo, "A technique for drawing directed graphs," IEEE Trans. Software Engineering, vol.19, no.3, pp.214-230, 1993.
- [6] C. Buchheim, M. Jünger and S. Leipert, "A fast layout algorithm for k -level graphs," Proc. 8th Int'l Symp. on Graph Drawing (GD2000), Lecture Notes in Computer Science, vol.1984, pp.229-240, Springer, Berlin, 2001.
- [7] U. Brandes and B. Köpf, "Fast and simple horizontal coordinate assignment," Proc. 9th Int'l Symp. on Graph Drawing (GD2001), Lecture Notes in Computer Science, vol.2265, pp.31-44, Springer, Berlin, 2002.
- [8] 荒木徹也, 山口一章, 増田澄男, 村田将太, "階層グラフ描画における頂点座標決定アルゴリズム," 平成 22 年度情報処理学会関西支部支部大会講演論文集, B-01, 2010.
- [9] 荒木徹也, 増田澄男, 山口一章, 村田将太, "階層グラフ描画における頂点座標決定アルゴリズム," 電子情報通信学会論文誌 (A), 採録決定.
- [10] G. Sander, "A fast heuristic for hierarchical Manhattan layout," Proc. Symp. on Graph Drawing (GD'95), Lecture Notes in Computer Science, vol.1027, pp.447-458, Springer, Berlin, 1996.
- [11] G. Sander, "Layout of directed hypergraphs with orthogonal hyperedges," Proc. 11th Int'l Symp. on Graph Drawing (GD2003), Lecture Notes in Computer Science, vol.2912, pp.381-386, Springer, Berlin, 2004.
- [12] T. Eschbach, W. Gunther, and B. Becker, "Orthogonal hypergraph drawing for improved visibility," J. Graph Algorithms and Applications, vol.10, no.2, pp.141-157, 2006.
- [13] M. Spönemann, H. Fuhrmann, R. Hanxleden, and P. Mutzel, "Port constraints in hierarchical layout of data flow diagrams," Proc. 17th Int'l Symp. on Graph Drawing (GD2009), Lecture Notes in Computer Science, vol.5849, pp.135-146, Springer, Berlin, 2010.
- [14] 荒木徹也, 増田澄男, 山口一章, "階層グラフ描画アルゴリズムにおける辺の形状の決定法," 平成 20 年電気関係学会関西支部連合大会講演論文集, G10-9, 2008.
- [15] 田守健太郎, 山口一章, 増田澄男, "局所探索法による階層的描画の辺交差数削減," 電子情報通信学会論文誌 (A), vol.J92-A, no.1, pp.55-61, 2009.