

Title	16次格子モデルによる不均一型多層矩形分割の層の操作 (理論計算機科学の新展開)
Author(s)	高加, 晋司; 穴田, 浩一; 夜久, 竹夫
Citation	数理解析研究所講究録 (2013), 1849: 83-87
Issue Date	2013-08
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2433/195105">http://hdl.handle.net/2433/195105</a>
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	publisher

# 16 次格子モデルによる不均一型多層矩形分割の層の操作 Layer Operation in the Heterogeneous Tabular Forms with a Hexadecimal Grid Graph Model

日本大学 高加 晋司 (Shinji Koka)  
Nihon University

早稲田大学高等学院 穴田 浩一 (Koichi Anada)  
Waseda University Senior High School

日本大学 夜久 竹夫 (Takeo Yaku)  
Nihon University

## 概要

不均一多層矩形分割のための 16 次格子グラフモデルに基づく層の挿入操作について述べる。

## 1 はじめに

従来の研究では、単層表形式のためのいくつかのデータ構造が知られている。Finkel と Bentley[1]は、1974 年に矩形分割の表現と探索のための 4 分木を導入し、Kozminsky と Kinnen[2]は、1985 年に矩形双対グラフの性質を解説した。

Yaku[4]は、8 次格子グラフモデルの一種である Octgrid と呼ばれるデータ構造について議論した。Octgrid は罫線を維持する変形問題に関して、矩形双対グラフのような良く知られた構造を使うよりも計算時間が少ないアルゴリズムを与える。

呉羽等[5]は、Octgrid の一般化として複数ページのスプレッドシート (例えば, [3]) のような多層表形式のための Hexadeci-grid と呼ばれるデータ構造を導入した。Hexadeci-grid は Octgrid の利点を継承するため、同様に計算時間が少ないと考える。[5, 6]では、複数ページの表形式の編集のための Hexadeci-grid に基づいた 1 行削除、層削除アルゴリズムを提案した。しかし、複数ページの表編集に対する変形アルゴリズムの一部が構築されていない。

そこで、本論文では、複数ページの表編集アルゴリズムの解説する[7]。

本稿は、2 節で準備として、Octgrid, Hexadeci-grid について解説し、Hexadeci-grid を用いた複数ページの表編集アルゴリズムの既存の方法として層削除アルゴリズムについて解説する。3 節で、複数ページの表編集アルゴリズムとして層挿入アルゴリズムを提案し、4 節で複数ページの表処理への応用について示す。

## 2 準備

### 2.1 矩形分割

共通部分のない幾つかの矩形による平面上の矩形分割を、不均一型単層矩形分割という。分割されていない矩形をセルと呼び、行もしくは列を表すための周辺の補助的な矩形を周辺セルと呼ぶ。また、セルの境界を形成している線を罫線 (壁) という。1 つのセルに対して、上下左右に位置する壁をそれぞれ北壁 (nw)、南壁 (sw)、東壁 (ew)、西壁 (ww) という。

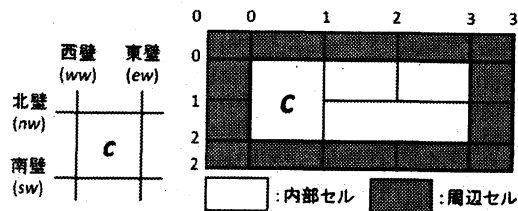


図 1: 不均一型単層矩形分割の図。

図 1 は、不均一型単層矩形分割の例である。白い矩形 1 つ 1 つが内部セルであり、白い矩形の周りに存在する矩形が行や列を表す周辺

セルである. 図1の数値は“座標値”である. 例えば, セル $c$ の北壁, 南壁, 東壁, 西壁は, それぞれ0, 2, 1, 0である.

また, 不均一型単層矩形分割を多層に一般化した矩形分割を, 不均一型多層矩形分割という. 層は2種類に分類され, 内部セルを持つ層を内部層と呼び, 全てのセルを表すために用意される最上層, 最下層に位置する補助的な層を周辺層と呼ぶ. また, あるセルの4つの角が異なる層のセルを繋ぐ線を野線(角辺)という. 1つのセルに対して, 上下の層に位置する角をそれぞれ北東角( $nec$ ), 北西角( $nwc$ ), 南東角( $sec$ ), 南西角( $swc$ )という.

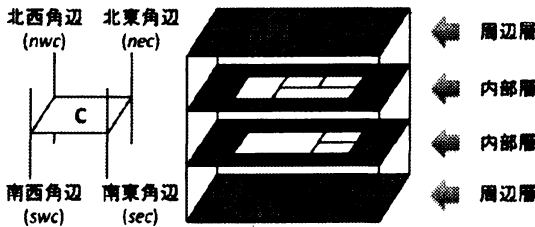


図2: 不均一型多層矩形分割の図.

図2は, 不均一型多層矩形分割の例である.

## 2.2 Octgrid

[4]では, YakuがOctgridと呼ばれる8次格子グラフに基づいた不均一型単層矩形分割のためのデータ構造を導入した.

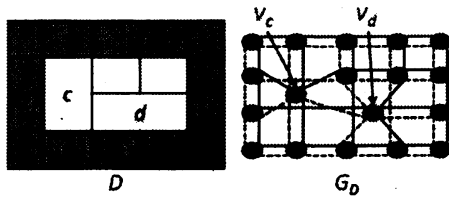


図3: 不均一型単層矩形分割(左)に対するOctgrid(右).

また, いくつかの変形操作で, Octgridが矩形双対グラフのような良く知られたデータ構造より計算時間が少ないアルゴリズムを与えることができる(例えば, [9, 11]). 図3は, 不均一型多層矩形分割に対するOctgridを示し, 以下で定義する.

**定義 2.2.1**  $D$ を不均一型単層矩形分割とする.  $D$ に対するOctgridは, 多重無向グラフ

$G_D = (V_D, E_D, L, \lambda_D, A_D, \alpha_D)$ である. ただし,  $V_D$ は不均一型単層矩形分割 $D$ に対する頂点の集合,  $E_D$ は無向辺の集合である.  $L$ は, 辺のラベル集合として,  $L = \{enw, esw, eew, eww\}$ とする.  $\lambda_D: E_D \rightarrow L$ は, ラベル関数である. ただし頂点 $v_c$ と $v_d$ に対して,  $\lambda_D[v_c, v_d]$ を, 次のルール1~4(図4)によって定義する.  $A_D$ は属性集合 $\subseteq \mathbb{R}^4$ であり,  $\alpha_D$ を頂点に属性を持たせる写像とし,  $\alpha_D(v_c) = (nw(c), sw(c), ew(c), ww(c))$ とする.

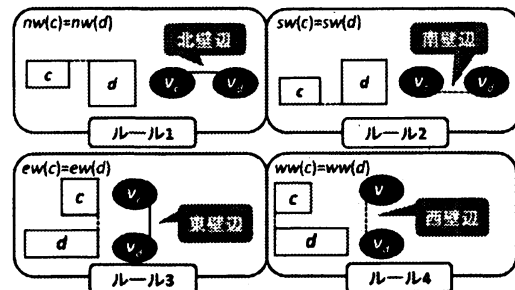


図4: ルール1~4の図.

ルール1  $nw(c) = nw(d)$  (同じ層のセル $c, d$ の北壁が共通)で, セル $c, d$ が最も近い位置にあり,  $[v_c, v_d] \in E_D$ のとき,  $\lambda_D[v_c, v_d] = enw$ となり, 北壁辺と呼ぶ.

ルール2  $sw(c) = sw(d)$  (同じ層のセル $c, d$ の南壁が共通)で, セル $c, d$ が最も近い位置にあり,  $[v_c, v_d] \in E_D$ のとき,  $\lambda_D[v_c, v_d] = esw$ となり, 南壁辺と呼ぶ.

ルール3  $ew(c) = ew(d)$  (同じ層のセル $c, d$ の東壁が共通)で, セル $c, d$ が最も近い位置にあり,  $[v_c, v_d] \in E_D$ のとき,  $\lambda_D[v_c, v_d] = eew$ となり, 東壁辺と呼ぶ.

ルール4  $ww(c) = ww(d)$  (同じ層のセル $c, d$ の西壁が共通)で, セル $c, d$ が最も近い位置にあり,  $[v_c, v_d] \in E_D$ のとき,  $\lambda_D[v_c, v_d] = eww$ となり, 西壁辺と呼ぶ.

**定義 2.2.2** グラフ $G$ がOctgridであるとは,  $G$ に対応する不均一型単層矩形分割が存在する.

Octgridの頂点の次数は最大で8であることに注意する.

## 2.3 Hexadeci-grid

呉羽等[5]は, Hexadeci-gridと呼ばれる多層表形式のための立体型16次格子グラフ(超格

子グラフ)に基づいたデータ構造を導入した。このデータ構造は Octgrid を一般化したもので、罫線を維持するアルゴリズムに適している。図5は、不均一型多層矩形分割に対応する Hexadeci-grid を示し、Hexadeci-grid は以下のように定義する。

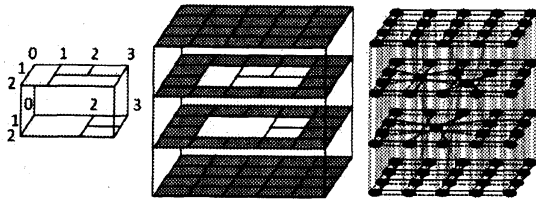


図5: 対象の2層の内部セル(左), 不均一型多層矩形分割(中央)に対する Hexadeci-grid(右)。

**定義 2.3.1**  $D$ を不均一型多層矩形分割とする。 $D$ に対する Hexadeci-grid は、多重無向グラフ  $G_D = (V_D, E_D, L, \lambda_D, A_D, \alpha_D)$  である。ただし、 $V_D$  は不均一型多層矩形分割  $D$  に対する頂点の集合、 $E_D$  は無向辺の集合である。 $L$  は、辺のラベル集合として、 $L = \{enw, esw, eww, enec, enwc, esec, eswc\}$  とする。 $\lambda_D: E_D \rightarrow L$  は、ラベル関数である。ただし頂点  $v_c$  と  $v_d$  に対して、 $\lambda_D[v_c, v_d]$  を、次のルール1~4(図4)及びルール5~8(図6)によって定義する。 $A_D$  は属性集合  $\subseteq \mathbf{R}^5$  であり、 $\alpha_D$  を頂点に属性を持たせる写像とし、 $\alpha_D(v_c) = (nw(c), sw(c), ew(c), ww(c), layer(c))$  とする。

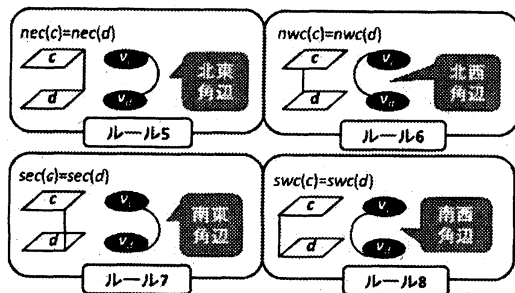


図6: ルール5~8の図。

ルール1~4 Octgrid と同様である。  
 ルール5  $nec(c) = nec(d)$  (異なる層のセル  $c, d$  の北東角が共通) で、セル  $c, d$  が最も近い位置にあり、 $[v_c, v_d] \in E_D$  のとき、 $\lambda_D[v_c, v_d] = enec$  となり、北東角辺と呼ぶ。  
 ルール6  $nwc(c) = nwc(d)$  (異なる層のセル  $c, d$  の北西角が共通) で、セル  $c, d$  が最も近い位置にあり、 $[v_c, v_d] \in E_D$  のとき、

$\lambda_D[v_c, v_d] = enwc$  となり、北西角辺と呼ぶ。  
 ルール7  $sec(c) = sec(d)$  (異なる層のセル  $c, d$  の南東角が共通) で、セル  $c, d$  が最も近い位置にあり、 $[v_c, v_d] \in E_D$  のとき、 $\lambda_D[v_c, v_d] = esec$  となり、南東角辺と呼ぶ。

ルール8  $swc(c) = swc(d)$  (異なる層のセル  $c, d$  の南西角が共通) で、セル  $c, d$  が最も近い位置にあり、 $[v_c, v_d] \in E_D$  のとき、 $\lambda_D[v_c, v_d] = eswc$  となり、南西角辺と呼ぶ。

**定義 2.3.2** グラフ  $G$  が Hexadeci-grid であるとは、 $G$  に対応する不均一型多層矩形分割が存在する。

Hexadeci-grid の頂点の次数は最大で16であることに注意する。

## 2.4 既存の変形操作

ここでは、先行研究である Hexadeci-grid での変形操作として焦点のセルの層を削除するアルゴリズムを示す。図7がその入力例と出力例である。

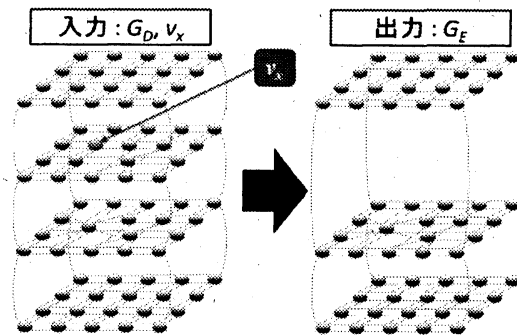


図7: 1層削除アルゴリズムの入力例と出力例。

アルゴリズム:  $LayerDeletion16(G_D, v_x, G_E)$

入力

$G_D$ :  $s$ -層の不均一型多層  $n \times m$  矩形分割  $D$  に対する Hexadeci-grid ( $n \geq 1, m \geq 1, s \geq 2$ ),  
 $v_x$ : 焦点のセル  $x$  ( $G_D$  の内部セル) に対応する頂点。

出力

$G_E$ :  $(s-1)$ -層の不均一型多層  $n \times m$  矩形分割  $D$  に対する Hexadeci-grid.

方法

Step 1. 初期化  $G_E \leftarrow G_D$ .

- Step 2.  $v_x$ の上下層のリンクを繋ぎ直す.
- Step 3.  $v_x$ の層の全ての頂点で Step 2. を繰り返す.
- Step 4.  $v_x$ の層の全ての頂点を削除する.

### 3 層の挿入操作

この節では, Hexadeci-rid の変形操作として, 層挿入アルゴリズムを提案する. ここでは, 焦点のセルの上に 1 層挿入するアルゴリズムを示す. 図 8 がその例である.

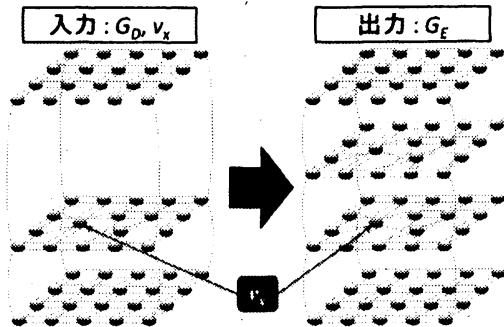


図 8 : 1 層挿入アルゴリズムの入力例と出力例.

アルゴリズム :  $LayerInsertion16(G_D, v_x, G_E)$

入力

$G_D$  :  $s$ -層の不均一型多層  $n \times m$  矩形分割  $D$  に対する Hexadeci-grid ( $n \geq 1, m \geq 1, s \geq 1$ ),  
 $v_x$  : 焦点のセル  $x$  に対応する頂点.

出力

$G_E$  :  $(s + 1)$ -層の不均一型多層  $n \times m$  矩形分割  $D$  に対する Hexadeci-grid.

方法

- Step 1. 初期化  $G_E \leftarrow G_D$ . (図 9)
- Step 2.  $v_x$ の上に新しい頂点  $v_0$ を加える. (図 9)

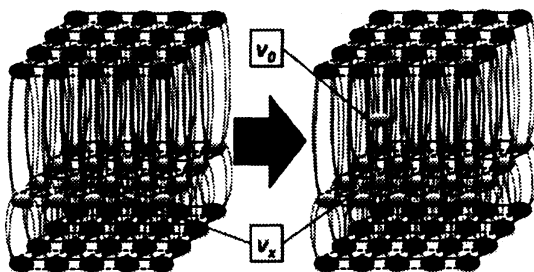


図 9 :  $LayerInsertion16$ のStep 1 - 2.

- Step 3.  $v_0$ の上方向のリンクの行き先を  $v_x$ の

上方向のリンクの行き先と同じにする. (図 10)

- Step 4.  $v_x$ から上方向のリンクを削除し,  $v_0$ から  $v_x$ に向かって下方向のリンク 4 本を繋ぐ. (図 10)

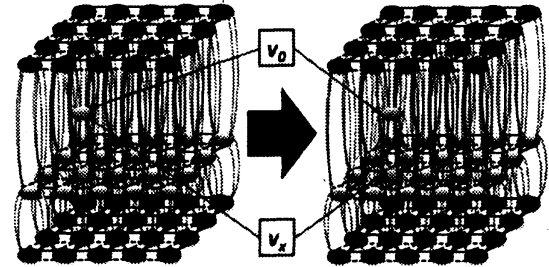


図 10 :  $LayerInsertion16$ のStep 3 - 4.

- Step 5. 新しい層に全ての頂点を加えるために,  $v_x$ の層の全ての頂点でStep 2 - 4 を繰り返す. (図 11)
- Step 6.  $v_0$ を含む新しい層の水平方向のリンクを  $v_x$ の層と同様に繋げる. (図 11)

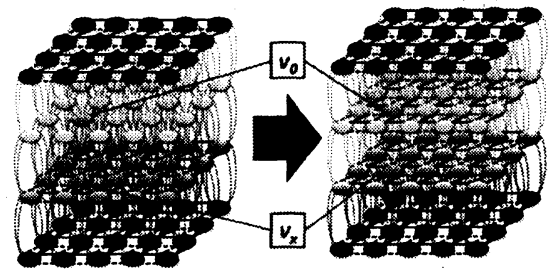


図 11 :  $LayerInsertion16$ のStep 5 - 6.

1 つの頂点の次数が最大で 16, 1 つの頂点の周辺のリンクの繋ぎ替えが 16 本以下なので, 全体としての計算時間は矩形双対グラフより少ないことが期待される.

### 4 表処理への応用

この節では, Hexadeci-grid の表処理への応用の為の概念を示す. (図 12)

複数ページの表処理の中の操作として以下の操作が考えられる.

- セルの合併/分割
- 行, 列の挿入/削除
- 層の挿入/削除

以上の操作を行う場合, Hexadeci-grid を用

いると少ない計算時間で他のシートに結果を同期させることができる。

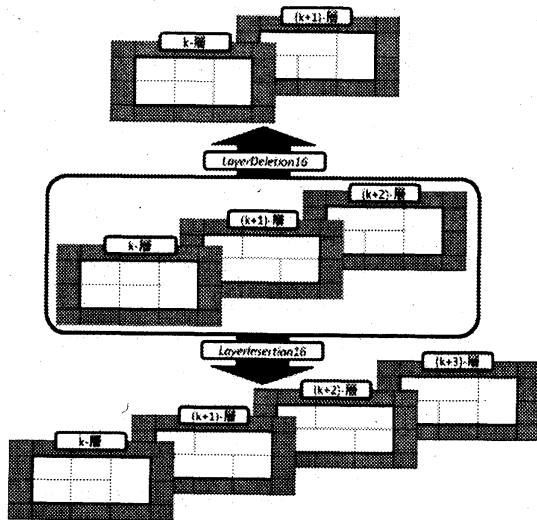


図 12: LayerDeletion16とLayerInsertion16の応用。

## 5 おわりに

本論文では、複数ページの表編集のための変形アルゴリズムとして、層挿入アルゴリズムについて提案し、それらの表処理への応用について述べた。

今後の課題として、計算時間の評価やアルゴリズムの実装、他の変形アルゴリズムの構築（例えば、[10]）、Hexadeci-grid を特徴付けるグラフ文法の構成（例えば、[8]）などがあげられる。

## 謝辞

貴重なコメントを頂いた日本大学の野牧賢志氏、神藤悠希氏、久保田彬仁氏に深く感謝いたします。

## 参考文献

- [1] R. A. Finkel and J. L. Bentley, Quad Trees: A Data Structure for Retrieval on Composite Keys, *Acta Informatica*, Vol. 4, No. 1, 1974, pp.1-9.
- [2] K. Kozminsky and E. Kinnen, Rectangular Duals of Planar Graphs, *Networks 16*, 1985, pp.145-157.
- [3] M. M. Burnett, A. Sheretov, and G. Rothermel, Scaling Up a “What You See Is What You Test” Methodology to Spreadsheet Grids, *Proc. IEEE VL 1999*, pp.30-37, 1999.
- [4] T. Yaku, Representation of Heterogeneous Tessellation Structures by Graphs, *Memoir of WAAP Meetings 108*, 6p, Dec., 2001. URL:<http://www.waap.gr.jp/waap-rr/waap-rr-01-013.pdf>
- [5] 吳羽彬, 土田賢省, 夜久竹夫, 不均一型多層矩形分割に対する 16 分格子グラフ表現, *数理解析研究所講究録*, Vol.1599, pp.176-181, 2008.
- [6] K. Nomaki, T. Arita, S. Koka, K. Tsuchida, and T. Yaku, A Hexadecimal Grid Graph Model for the Multiply Layered Tabular Forms, *Proc. ICCSM 2010*, pp.40-44, 2010.
- [7] S. Koka, K. Anada, K. Nomaki, and T. Yaku, Tabular Form Editing with a Hexadecimal Grid Graph Model, *Proc. IEEE VL/HCC 2011*, pp.253-254, 2011.
- [8] Y. Shindo, K. Anada, K. Anzai, S. Koka, and T. Yaku, A Graph Grammar Model for Syntaxes of Financial Statements, *Proc. IEEE VL/HCC 2011*, pp.265-266, 2011.
- [9] T. Yaku, K. Anada, S. Koka, Y. Shindo, and K. Tsuchida, Row Manipulation in the Heterogeneous Tabular Forms with an Octal Grid Model, *Proc. IEEE VL/HCC 2011*, pp.269-270, 2011.
- [10] S. Koka, K. Anada, K. Nomaki, Y. Shindo, and T. Yaku, Row Manipulation in the Heterogeneous Tabular Forms with a Hexadecimal Grid Graph Model, *Proc. ACM SAC 2012*, pp.792-793, 2012.
- [11] G. Akagi, K. Anada, S. Koka, Y. Nakayama, K. Nomaki, and T. Yaku, A Resolution Reduction Method for Multi-Resolution Terrain Maps, *Poster Proc. SIGGRAPH 2012*, DOI=10.1145/2342896.2342998, 2012