

## 時間変化する仮想都市のための建物配置手法

山岸 寛典 本田 真望 水野 一徳 福井 幸男 西原 清一

筑波大学 電子・情報工学系

### 1. はじめに

仮想都市は、人の生活空間である都市を、映画やゲームの舞台、またインターネット上の情報サービスやコミュニティとして、仮想空間上に再現したものである。近年の仮想都市の需要に伴い、実際の都市の画像やGISデータを用いて仮想空間上に都市を再現する手法が研究されてきている<sup>[1]</sup>。一方で、都市のよりよい住環境の提供を目的とする都市計画の分野においても、仮想空間上に都市を再現し試行錯誤する需要が高まっている。しかしながら従来手法では、仮想空間上での時間変化に伴って生じる非実在の都市を表現することはできない。

それに対し我々は、時間変化を伴う仮想都市を生成する手法の研究を行っている<sup>[2]</sup>。我々の手法では、都市の特徴を表すパラメータを定め、それらを自律的に相互変化させることにより都市の時間変化を表現する。本稿ではそのうち、都市の特徴パラメータの変化に応じて建物の削除および追加を行い、特徴に合った仮想都市を構築する手法を提案する。

### 2. 基本概要

#### 2.1 都市の構成

本稿では、都市を構成する要素として道路と建物のみを取り上げる。都市の道路網において、道路により構成される最小閉領域をブロックと定義する。また、建物についてはその用途から以下のように分類し、各特徴を表1に示す。

居住施設：人が居住するための建物  
商業施設：消費活動を行うための建物  
労働施設：生産活動を行うための建物

#### 2.2 都市の特徴

都市は多数のブロックの集合であり、各ブロックが相互に作用し合いながら発展衰退することで時間変化を起こす<sup>[3]</sup>。本手法では、都市の発展・衰退により各ブロックの状態が変化し、その結果、状態に見合った建物がブロック内に存在するものとする。都市およびブロックの状態を表す特徴として、以下のようなパラメータを定義する。

表1：建物の分類

| 用途   | 構造 | 種類     | 階数(フロア数) | 底面積[m <sup>2</sup> ] |
|------|----|--------|----------|----------------------|
| 居住施設 | 低層 | 一戸建て   | 1~3      | 50~150               |
|      | 中層 | アパート   | 2~5      | 100~300              |
|      | 高層 | マンション  | 5~       | 200~1000             |
| 商業施設 | 低層 | 小店舗    | 1~3      | 50~200               |
|      | 中層 | デパート   | 2~5      | 150~2000             |
|      | 高層 | デパート   | 5~       | 500~2000             |
| 労働施設 | 低層 | 工場     | 1~4      | 200~5000             |
|      | 中層 | オフィスビル | 2~10     | 150~2000             |
|      | 高層 | オフィスビル | 10~      | 500~2000             |

A building layout method for automatic generation of time-varying virtual cities  
Hironori Yamagishi, Masanobu Honda,  
Kazunori Mizuno, Yukio Fukui, Seiichi Nishihara  
Institute of Information Sciences and Electronics,  
University of Tsukuba

$\varepsilon$ (経済指標): 都市全体の経済力

$V_i^t = (v_1, v_2, v_3, d)$ : 時刻 $t$ におけるブロック番号 $i$ の環境ベクトル

$v_1$ (生活度): 生活環境として適している度合い  
住居施設の立地を促す

$v_2$ (消費度): 消費活動に適している度合い  
商業施設の立地を促す

$v_3$ (生産度): 生産活動に適している度合い  
労働施設の立地を促す

$d$ (開発度) =  $\frac{\text{ブロック内全建物の延べ床面積}}{\text{ブロックの総面積}}$

ただし、 $0 \leq v_1 \leq 1.0$ ,  $0 \leq v_2 \leq 1.0$ ,  $0 \leq v_3 \leq 1.0$

かつ  $v_1 + v_2 + v_3 = 1.0$

### 3. 処理手順

#### 3.1 全体の流れ

本手法では、都市の持つ特徴に応じて建物を配置しながら都市の時間変化を表現するために、全てのブロックに対して以下の(i)~(iii)の処理を1ステップとし、繰り返す。ただし、現ステップにおけるブロック内の開発度を $d$ とする。

(i) 目標とする開発度 $d'$ を設定する。

(ii) 建物の廃棄、建て替えを表現するため、削除の目標となる値 $d_{\min}$ を定め、 $d$ が $d_{\min}$ 以下になるまで建物を削除する。

(iii) ブロック内の開発度 $d$ が、 $d'$ に達するまで建物を確率的に選択し、ブロック内に追加する。

#### 3.2 建物削除

本手法では、建物の老朽化による廃棄、および建物建て替えの際の空きスペースの確保を表現するため、建物の削除を行う。まず、 $\delta = d' - d$ として削除の目標となる値 $d_{\min}$ を次式により計算する。

$$d_{\min} = \{\min(d, d') - f(d) \times g(\delta)\} \times \{0.9 + 0.1 \times (1 - \varepsilon)\}$$

$$f(d) = \begin{cases} d & (d \leq 1.0) \\ 1.0 & (d > 1.0) \end{cases} \quad g(\delta) = \begin{cases} -1/5 \times \delta & (\delta \leq 1.0) \\ -1/2 \times \delta & (\delta > 1.0) \end{cases}$$

次に、 $d < d_{\min}$ になるまで建物を確率的に削除する。築経過時間が長く、面積が小さい建物ほど削除されやすい確率になっている。

#### 3.3 建物追加

##### (1) 建物の分類とその決定

建物削除を行ったブロック(図1)に対して、建物の追加を行う。追加する建物の用途、構造、種類は環境ベクトルをもとに確率的に決定する。底面積および階数には表1に示した特徴から制限が与えられており、制限の範囲内で乱数を用いて決定する。

##### (2) 配置位置の決定1

追加する対象の建物の配置位置を決定するために以下の処理を行う。

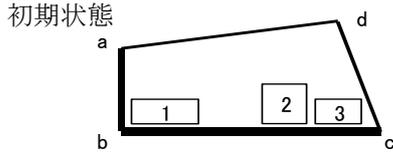


図1：建物追加前のブロックの状態

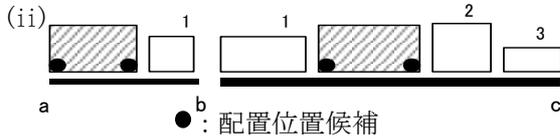


図2：配置位置候補の探索1

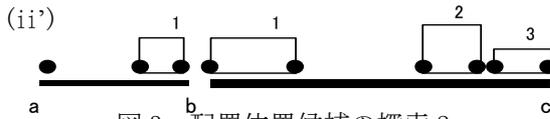


図3：配置位置候補の探索2

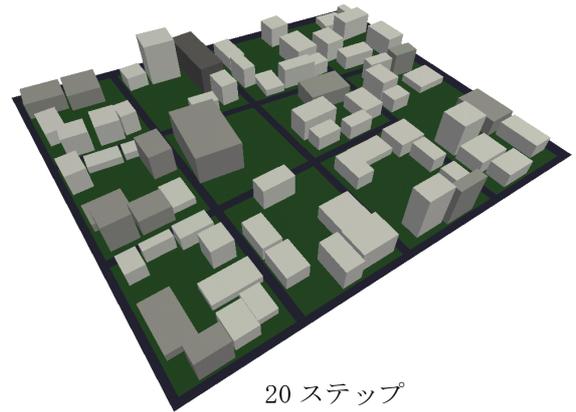
- (i) ブロックを形成する道路を展開し直線化する
- (ii) 展開された道路沿いの建物の建っていない領域を探索し、その両端に基準点を打ち、配置位置候補点とする(図2)。
- (iii) 配置位置候補点のうち、対象の建物を配置することができるものに対して重みを付ける
- (iii) 確率を用いて重みのある配置位置候補点から一つを選択する
- (iv) 選択された配置位置の領域の大きさに合わせて対象の建物の幅と奥行きを計算し、選択された候補点の位置に配置する。
- (v) 配置する際に道路および既存の建物と衝突する場合は、建物の奥行きを調整する。ただし、奥行き調整の結果、設定した底面積を大幅に下回る場合は配置を行わない

### (3) 配置位置の決定2

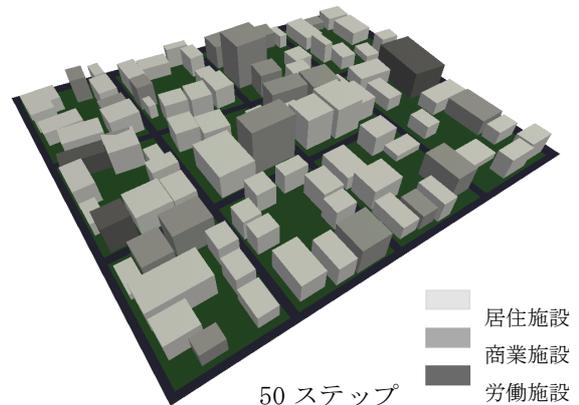
- (2)の処理の結果、ブロック内に対象の建物を配置するための十分な領域がなくなったとき、確率的に既存の建物を新たに削除して配置を行う。新規に配置位置を決定するため、配置位置の決定1における(ii), (v)を以下のように置き換える。
- (ii') 現ステップで新規に配置される建物がない道路沿いの領域を探索し、その両端に基準点を打ち、配置位置候補点とする(図3)。
- (v') 配置する際に道路および既存の建物と衝突する場合は、建物の奥行きを調整する。既存の建物との衝突がある場合は、追加する対象の建物と衝突した建物の底面積および高さを比較し確率的にいずれかを削除する

## 4. 実行例

本手法を用いて生成した都市の例を示す。図4には1ステップを1年とし、初期状態から20, 50ステップ後の都市を表示したものである。生成範囲は150m×160m、環境ベクトルは全てのブロックで同値とした。1ステップ毎に開発度の値のみ0.03ずつ単調増加させる、また、仮想都市が居住地域となることを想定して、初期状態の環境ベクトルを表2のように設定した。図4より、50ステップにおいて、20ステップと比較して、建物数が増加している。設定した環境ベクトルに合わせて、このブロック群は居住施設が多くなっている。



20 ステップ



50 ステップ

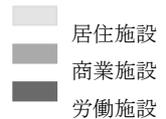


図4：建物配置の時間変化

表2：初期状態の環境ベクトル

| $v_1$ | $v_2$ | $v_3$ | $d$ |
|-------|-------|-------|-----|
| 0.7   | 0.25  | 0.05  | 0   |

以上より、都市の特徴に環境ベクトルというパラメータを用いることで、その都市の特徴を有効に表すことができるとともに、時間変化も表現できた。

## 5. まとめ

本稿では、実際の都市に近い特徴を持ちつつ、時間変化を伴う仮想都市を生成するために、ブロックの状態を表す特徴を定義し、その特徴をもとに建物を建て替える手法を提案した。

今後は、都市の特徴パラメータを増やし、建物の効率的な配置手法を考え、より実在の都市に近い仮想都市を生成していきたい。

### 参考文献

- [1] 村田雅彦：「3次元地図の製作と利用技術」, 日本 VR 学会サイバースペースと仮想都市研究会第6回シンポジウム, pp.25-31(2003)
- [2] 池内他：「全方位画像による仮想都市空間の生成」, 情報処理学会論文誌：コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol. 42, No. SIG 13, pp. 49-58(2001)
- [3] 大谷洋平：「時間変化を伴う仮想都市の自動生成における建物配置」, 情報処理学会第62回全国大会, 6b-02(2002)
- [4] 秋山政敬：「図説都市構造」, 鹿島出版(1990)。