

都市景観再構成のための家屋構造記述言語の拡張

Improvement of House Structure Description Language for Reconstruction of Urban Landscape

佐久間昭夫† 勝村大† 谷村知洋† 安ベヌア友章† 高橋時市郎†

Akio Sakuma Dai Katsumura Tomohiro Tanimura Tomoaki Benua Yasu Tokiichiro Takahashi

1. まえがき

3次元CGで都市の町並みを再構築する、都市景観シミュレーションの研究が活発に行われている[1],[2]。実写画像から建物を再構成する場合、現代の都市部のビルは密集して建ち並んでいるため、様々な困難が伴う。

一方、我々は江戸時代の町並みを復元するプロジェクトを推進している[3]。そこでは、家屋を構成する部品を書き連ねた言語的記述から自動的に歴史的な建物を作成するシステムを研究開発している。この家屋構造を記述する言語を拡張して、現代の都市部の建物を再構成できるように改良することにより、都市景観再構成の問題を解決することを目指す。いくつかのビル群を再構成したところ、良好な結果が得られたので、報告する。

2. ビルの再構成手法と問題点

実写画像を基に都市景観を再構成するために、次のアプローチを採用することにした。すなわち、実写画像を逆透視投影変換した後、画像処理によって、建物を構成する窓や壁などの部品に分けて切り出す。切り出した部品を並べて建物を再構成する(図1)。

このアプローチには以下のような多くの利点がある。

- 実写画像に建物以外の物体が写ることは避けられない(図2左図)。しかし、建物以外の物体が写り込んでいる部品を別の部品画像で置き換えてはめ込むことにより、写っている物体を消去することができる[4]。この手法による結果を図2に示す。
- また、撮影時の画角が広く、仰角が大きい。そのため、画像歪みも大きくなる(図3左図参照)。こうした画像でも、逆透視投影変換された画像から、比較的画像歪みの少ない部品を選び、さらに建物の陰に隠れて暗くなっている輝度を補正することにより、図3右図のように良好な復元結果を得ることができる。
- 撮影する位置から建物までの距離が近く、高層建築物の側壁全体を1枚の画像として撮影できなくとも、パノラマ画像を作成する必要がない。各画像から建物を構成する部品を切り出せばよく、処理が簡単である。

このようにして得られた部品の記号列を、例えば、形状文法のひとつである、家屋構造記述言語[3]で記述すれば、現代の都市部に多いビルを復元できる。しかし、近年多くなりつつある高層ビルを記述するために、解決しなければならない大きな問題が3つある。

- (1) 高層ビルの場合、1階、最上階、それ以外の階(中間階と呼ぶ)で構造が大きく異なる。一方、中間階の各階を構成する部品とその配置はほぼ同じである。これを逐一記述するのは、煩雑で非効率である。中間階の繰り返し構造を簡単に記述する機能が望まれる。
- (2) 現代の都市部のビルの外壁にはガラスが使われているものが多く、ビルの内部の様子が外から見える。そこに周辺のビルが写り込むので、ビルを構成する部品ごとに微妙に写り込みが異なる。また、視点の移動に伴って写り込みも変化する。こうした微妙に質感の異

なる部品を効率よく記述する機能も望まれる。

- (3) さらに、現代都市部には、優雅な曲面で構成される建物が少ない。それらへの対応も必要である。

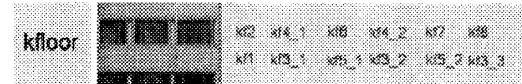


図1. 実写画像から切り出した部品の例

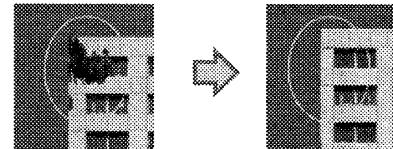


図2. 写り込んだ物体を消去した例

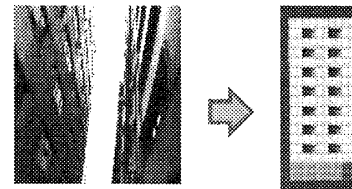


図3. 広画角・大仰角での撮影画像からの復元例

3. 家屋構造記述言語の拡張

我々は歴史的町並み復元のために、家屋を簡単に記述できる家屋構造記述言語[3]と、その言語記述から3次元CGで家屋を再構成するシステムを研究開発してきた。このシステムでは、家屋を構成する戸や壁などの部品IDを書き連ねることにより、家屋の構造を記述するものである。

家屋構造記述言語は歴史的建物を再構成するためだけに開発された言語ではない。板壁をアルミ壁材に、板戸をアルミサッシに置き換えれば、現代の建物も再構成できる記述能力を備えている。しかしながら、前章で述べた課題に対処するには機能が不足している。そこで、以下に述べるように言語を拡張する。同時に、XMLによる記述法に変更する。これまでは、家屋を構成する部品を書き連ねる記述形式だったが、記述を柔軟にし、かつ可読性を高めるためにXMLにより記述することにする。

- (1) 中間階の繰り返し構造を簡単に記述する機能
中間階の構造を1フロア分記述したものを繰り返して複数階を記述するために、次のXMLタグによる記述を可能とする。

```
<repeat num="x">~</repeat>
```

すなわち、繰り返して記述する1フロア分の構造をrepeatタグで囲み、x階分記述することができる。これによって、中間階の構造が同じであれば、高層ビルの構造をコンパクトに記述できる。同じフロア内の繰り返し構造もrepeatタグで記述できる。

- (2) 部品を構成する小さな部品を記述する機能

図1に示すように、中間階を構成する部品には、上下に分離している複数の部品から構成されていることもある。これらを記述する機能として、split, upper, lowerタグを導入する。

```
<split>
```

†東京電機大学 大学院 工学研究科

Graduate School of Engineering, Tokyo Denki University

```
<upper>~</upper>
<lower>~</lower>
```

```
</split>
```

split タグは同一階で構造が上下に分離していることを記述する。upper タグ内に上部に配置される部品を記述し、lower タグ内に下部に配置する部品を記述する。この機能により、テクスチャや質感、周辺のビルの写り込み率などが微妙に異なる部品を効率よく記述できる。また、再帰的記述も可能である。

(3) 部品配置をランダム化する機能

前項で述べた部品は、同じ部品でありながら、異なる階や同じ階であっても、経年変化等によって微妙にテクスチャや質感、写り込み率などが異なる。これを逐一記述したのでは非効率的である。そこで、同じ部品で質感が異なる部品を乱数によって自動配置する機能を設ける。すなわち、

```
<random code="x, y, z">
```

という random タグを用意した。部品を配置する際、x, y, zの中から1つがランダムに選択される。

(4) 特定の部品を指定する機能

中間階で、特定の部品が異なるときに、その部品を入れ替えられるように replace タグを用意した。

```
<replace code="x y" with="z"/>
```

replace タグは、部品 x, y を部品 z に置き換える。

(5) 曲面で構成される建物

曲面を有する建物を多角形近似して記述する。そのために、壁面を表す Facade タグの属性として、2つの壁面同士のなす角度を記述する機能を付加する。

```
<Facade angle="x"/>
```

(6) ガラスでできた部品の指定

都市部のビルに多い、ガラスでできている部品の属性を陽に記述し、周辺ビルが写り込む様子を実時間でレンダリングする。Texture タグの属性として、テクスチャコードと写り込む割合を設定する。

```
<Texture texturecode="x" reflection="y"/>
```

また、壁面ごとに写り込みを行うかどうかを、Facade タグの属性として、次のように記述する。

```
<Facade reflection="enable">
```

4. 実験結果

拡張された家屋構造記述言語を用いて、様々なビルを再構成したところ、良好な結果を得た。

(1) 繰り返し構造の記述

図1に示した9階建てのビルの壁面1面だけを、これまでの家屋構造記述言語で記述すると40行を要した。一方、拡張した家屋構造記述言語では17行で済んだ。その言語記述を図4に示す。中間階を repeat 機能でコンパクトに記述しているので、記述も容易で、可読性も高い。

(2) 多様な部品の記述

前出の図2は、同図左図のように壁面に写り込んだ街路樹の枝を別の部品で置き換えた例である。replace 機能により、ビル以外のものが写っている部品を別の部品で置き換えた結果を図2右図に示す。また、狭隘なビルの谷間から撮影した画像(図3左図)から、窓や壁などの部品を切り出し、図3右図のような再構成結果を得ることができた。

このように、逆透視投影変換された実写画像から、建物を構成する窓や壁などの部品を切り出し、切り出した部品を並べて建物を再構成するアプローチは、撮影条件が厳しい現代都市部の建物の再構成に有効である。

(3) ガラス面で構成されるビルの写り込み処理

側壁がガラスでできているビルに周辺ビルが写り込んでいる様子をリアルタイムレンダリングするシステムを開発した。写り込みは Beam Tracing[5]を用いてリアルタイムでレンダリングすることが出来る(図5)。

```
<!--壁面構造情報-->
<Structure size="100">
  <Facades>
    <!--比率と角度を立面に与える。-->
    <Facade id="1" ratio="1" angle="0" reflection="enable">
      <Floor id="1"/>
      <repeat num="8">
        <Floor id="k">
          <random texturecode="f1fkf1,f1fkf3"/>
          <random
            texturecode="f1fkf2u1,f1fkf2u3,f1fkf4u1,f1fkf4u3"/>
        </Floor>
      </repeat>
      <Floor id="top">
        <replace texturecode="f1ftf1" with="f1ftf3"/>
        <replace texturecode="f1ftf2" with="f1ftf4"/>
      </Floor>
    </Facade>
  </Facades>
</Structure>
```

図4. 拡張した家屋構造記述言語による記述例

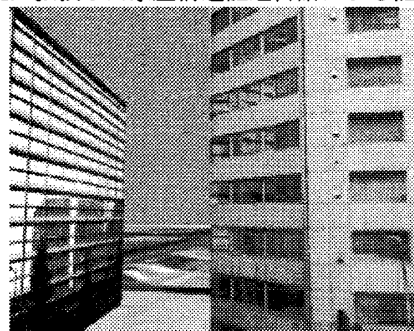


図5. 写り込みを再現した建物の例

5. むすび

家屋構造記述言語を拡張し、実写画像から切り出した部品を配置して、高層ビルなどの都市部の建物を再構成するシステムを構築した。実写画像に写った建物以外の物体を取り除き、ガラスでできた壁面に周辺ビルなどが写り込む様子をリアルタイムでレンダリングできる。また、高層ビルなど、同じ構造をした階が繰り返されるビルを効率よく記述できる。このシステムは、撮影条件が厳しい現代都市部の建物の再構成に有効である。

参考文献

- [1] Pascal, et al.: "Procedural Modeling of Buildings", ACM Transactions on Graphics (Proc. ACM SIGGRAPH 2006), 25, 3, pp.614-623 (2006)
- [2] 杉原: "建物境界線の一般化ポリゴン分割法に基づく3次元建物モデルの自動生成", FIT2006, 3, pp.205-206
- [3] 勝村他: "3DCGによる歴史的町並み復元のための家屋生成手法", 画電学誌, 36, 4, (2007掲載予定)
- [4] 塩田他: "イメージベースレンダリングのための建築物テクスチャの対話的修正", 情処研報. グラフィクスとCAD研究会報告, 2006, 91, pp.1-6 (2006)
- [5] P. Heckbert, et al.: "Beam Tracing Polygonal Objects", Computer Graphics (Proc. ACM SIGGRAPH '84), 18, 3, pp.119-127 (1984)