

# The Importance of Retrieval in Creative Design Analogies

Paulo Gomes, Nuno Seco, Francisco C. Pereira, Paulo Paiva, Paulo Carreiro, José L. Ferreira, Carlos Bento:  
The Importance of Retrieval in Creative Design Analogies, Proceedings of the International Joint Conference on  
Artificial Intelligence (2003f).

類推は創造的デザインにおける重要な推論プロセスである。それは新しいデザイン物の生成が、意味的には遠い領域からのアイデアを使うことを可能にする。創造的な類推の生成には検索段階が重要で、良い候補の情報源がなければ、その後の段階は妥協することもできる。検索は、意味に基づく検索と構造に基づく検索の、2タイプに分けられる。本稿では、ソフトウェアデザインの領域で類推検索方略の重要性における実験的研究を示す。我々は、どちらのタイプの検索が重要であるが、プロセスにおいて異なる役割を果たすことを議論する。

## 1 Introduction

### 創造的なプロダクト

- 創造性
  - ある規準を満たす・創造的と呼ばれるモノを生成する認知プロセス [Dasgupta 1994]
  - 4つの構成要素 [Brown 1989]
    - :創造的な... プロセス・プロダクト・人や実体・状況
    - :創造性評価において重要なのはプロダクト
  - 創造的な推論手法に関する調査 [Gero 1994a]
    - :領域をまたがるアイデアの転移(類推)・アイデアの組み合わせ・概念空間の探索と変形
- 創造的デザイン
  - 新しいデザインのクラスを生成する認知プロセス [Gero 1994a]
  - プロダクトがある特徴・属性を満たすと創造的 [Dasgupta 1994]
    - :特徴:新奇性・有用性
  - 新奇性
    - :評価者の知らない・予想外のモノ
  - 有用性
    - :パフォーマンス測定・問題要件を満たすか

### 類推

- 類推 [Gentner 1983; Hall 1989; Holyoak, Thagard 1989; Thagard et al. 1990]
  - 一般的な問題解決手法
  - 過去の問題と新しい問題間の類似度に基づく知識の転移
  - 異なる領域間の転移 創造的アイデアの可能性
- 類推プロセス
  - 類推候補の見極め・ターゲットと候補の情報源のマッピング・情報源からターゲットへの知識転移
  - 第一ステップ:良い候補がない場合の問題
    - :意味に基づく検索・構造に基づく検索
- MAC/FAC (Many Are called, Few Are Chosen) [Gentner, Forbus 1991]
  - 2段階の検索モデル
    - MAC 段階:記憶から広範な事例を粗く検索
    - FAC 段階:構造的な類似度による事例選別
- Holographic Reduced Representations [Plate 1994]
  - 意味(素オブジェクト)と構造(オブジェクトの役割)
- 制約充足 (ARCS: Analogical Retrieval by Constraint Satisfaction) [Thagard et al. 1990]
  - 語彙の類似性・構造の類似性・目標の類似性
- RADAR [Crean, O'Donoghue]
  - 構造的類似性に基づく(意味的に遠い)類推検索手法
  - 遠い類推でも意味的類似性からリジェクトされない

## 本研究のアプローチ

- REBUILDER
  - 類推を統合した CASE(Computer Aided Software Engineering) ツール
  - 事例に基づく推論 [Kolodner 1993]・WordNet[Miller et al. 1990]
  - 類推の検索段階に注目
    - :プロダクトの新奇性・有用性に対する検索方略の影響を検討
    - :意味的・構造的検索の4つの組み合わせ
- 本稿の構成
  - 2 節: REBUILDER
  - 4 節: REBUILDER における類推
  - 5 節: 実験と結果考察
  - 6 節: デザインにおける類推の関連研究
  - 7 節: まとめ

## 2 REBUILDER

システムのアーキテクチャ( Figure 1)

- 主構成要素
  - UML エディタ・知識ベースマネージャ・知識ベース・CBR エンジン
- 2 種類のユーザ
  - 知識ベース管理者
    - :知識ベースマネージャを使用:知識ベースの更新・一貫性維持
  - ソフトウェアデザイナー
    - :UML エディタを利用:CASE ツールとして利用
- 知識ベースの構成
  - 事例ライブラリ:過去のソフトウェアデザインの事例蓄積
  - 特徴メモリ:事例検索に使用
  - データ型分類:本システムのオントロジー
  - WordNet[Miller et al. 1990]:汎用オントロジー
- CBR エンジンのモジュール
  - 検索:事例ライブラリの検索
  - 類推:クエリ(検索時のユーザ入力)と事例デザイン間のマッピング 転移
  - 組み立て:過去の事例を現在のデザインの組み立てに利用
  - 検証:現在のデザインの矛盾点をチェック
  - 学習:ユーザとのインタラクション・システムの推論から知識獲得

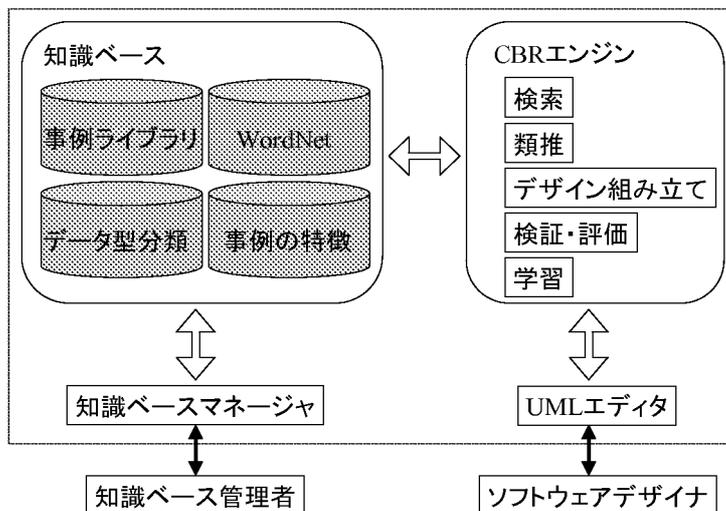


Figure 1: REBUILDER のアーキテクチャ

### 3 Knowledge Base

本システムの知識ベース

- 事例ライブラリ
  - 事例：ソフトウェアデザインのUMLクラス図（ Figure 2）
  - パッケージ・クラス（オブジェクトの構造・振る舞い）・インタフェース・関係（リンク）

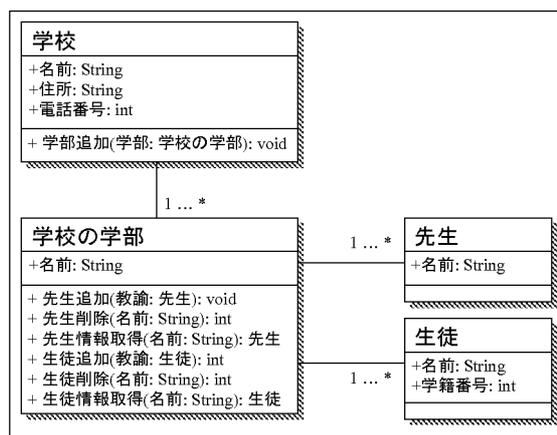
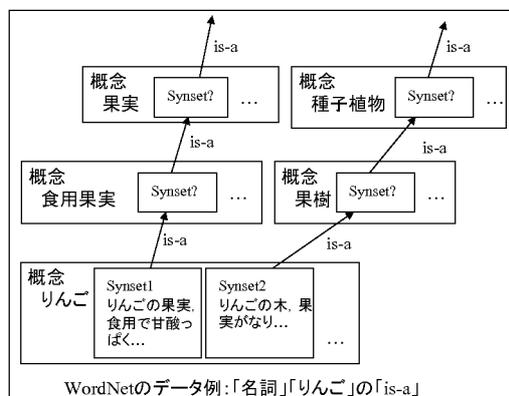


Figure 2: UML クラス図の例（事例1）、パッケージ学校

- WordNet
  - 一般常識オントロジーとして利用
  - WordNet のデータ
    - : 単語の意味概念 (synset)
    - : 概念間の関係 (is-a, part-of, substance-of, member-of)
    - : 品詞 (名詞・動詞・形容詞・副詞)

- オブジェクトの特徴に synset 使用  
:意味表現・類似度算出



- 事例検索のパフォーマンスチューニング
  - 事例ライブラリファイルから特徴のみ読み出し・検索
  - 検索された事例データのみファイルから読み出し
  - WordNet と事例の関係 ( Figure 3 )
- データ型分類
  - システムの属性・パラメータデータ型を定義
  - データ型間の類似度

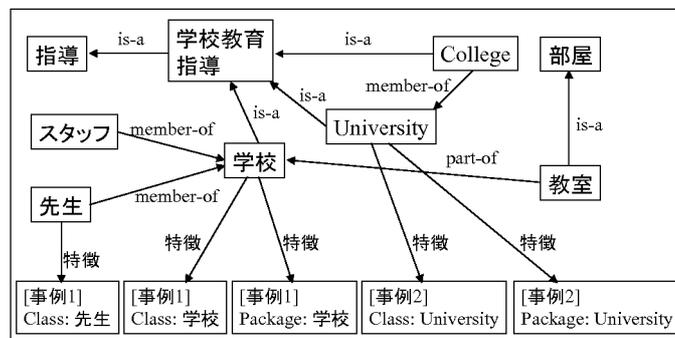


Figure 3: WordNet の構造と事例の特徴の小さな例

## 4 Analogical Reasoning

- 類推：ユーザへの事例提示に使用
  1. 類推候補の事例の見極め
  2. クエリと候補事例間のマッピング
  3. クエリと候補事例間の知識転移から新事例生成

## 4.1 Candidate Selection

- ライブラリからの事例選択
  - 適切な候補選択の必要性
  - 4つの代替候補選択方略を使用
  - 選択のサブタスク
    - : 検索・ランク付け
- 検索
  - 低コスト・高速の候補の取り出し
  - WordNetの構造 (= 特徴の構造) を使用
- ランク付け
  - メトリクスを用いた候補事例のランク付け
  - 3種類のメトリクス: 意味的・構造的類似性
    1. 意味・構造の同時評価
    2. 構造の独立評価
    3. 構造の特性評価
- メトリクス1 [Gomes et al. 2002a]
  - パッケージの synset (意味)
  - 図の構造: オブジェクトの構造と synset を同時評価
- メトリクス2 [引用略]
  - UML固有の手法
  - オブジェクト間の関係に基づく各オブジェクトの重要度評価
- メトリクス3
  - 図の構造的な特性
  - 類推における構造の重要性 [O'onoghue, Crean 2002]
    - : 構造は意味より重要
    - : 構造的類似性は計算コスト高
  - 構造的な特性
    - : 図中のループの数
    - : ループの平均長
    - : クラス数
    - : インタフェース数
    - : 汎化の数
    - : 実現関係の数
    - : 依存関係の数
    - : 独立メトリクス
- 4つの検索方略 ( Table 1 )
  - 意味検索を { する / しない } × ランク付けの 3メトリクス

Table 1: REBUILDER に実装された検索方略

方略	検索	ランク付け
1	意味	意味・構造
2	意味	構造 (独立)
3	意味	構造
4	なし	意味・構造
5	なし	構造 (独立)
6	なし	構造

メトリクス 1: 意味・構造, 2: 構造 (独立), 3: 構造

## 4.2 Mapping Process

- クエリと候補事例間のマッピング
  - 各候補に共通のオブジェクトリストから
  - 2つの代替アルゴリズム
    - : 関係に基づくマッピング・オブジェクトに基づくマッピング
    - : 双方オブジェクト間のマッピングリストを作成

- 関係に基づくマッピング
  - UML の関係を使用
  - 独立評価 (メトリクス 2?) によりオブジェクトの重要度算出
  - 重要度からマッチするクエリ・候補事例の関係を割り出し
  - 割り出された関係からオブジェクトのマッピング作成
- オブジェクトに基づくマッピング
  - クエリ・候補のオブジェクトを独立評価により選択
  - クエリ・候補間でマッチするオブジェクトを発見
  - 発見したオブジェクトのマッピング 周囲のオブジェクトのマッピング
- マッピングの決定
  - どちらも構造に基づく
  - マッチしたオブジェクト数でマッピングをランク付け
  - マッピング候補選択メトリクス
    - :synset と WordNet 上の関係を使用 [Gomes et al. 2002b]

### 4.3 Knowledge Transfer

- マッピングを用いた新しい図の生成
  - 新しい図の生成: クエリの図をコピー
  - マッピングを用いて候補事例から新しい図に転移
  - 転移のステップ
    1. オブジェクト内転移: 属性とメソッドを取得
    2. オブジェクト外転移: 周囲のオブジェクトと関係を取得

## 5 Experiments

- 目的: 検索方略と出力の創造性評価の関係
- 創造性評価: 有用性と新奇性

### 5.1 Setup

- 事例数: 60
  - パッケージ数 1・オブジェクト数 5~20
  - 応用領域 4
    - :金融・健康・教育機関・店舗情報管理システム
- クエリとして使用する図の数:20
  - 平均 4 オブジェクト
  - 応用領域は事例に同じ

### 5.2 Method

- 6つの検索方略を使用 (Table 1)
  - 意味検索使用時は候補を類似度上位 10 事例に
  - 未使用時は候補を全事例
- 類推 (マッピング・転移)
  - ランク最上位の 1 事例のみ使用
  - オブジェクトに基づくマッピングを使用 (こっちのがよかった [引用略])
- 新奇性の評価
  - 生成された図と事例ライブラリの事例との類似度 (検索のメトリクス)
    - N1: 全事例との平均類似度
    - N2: 全事例との類似度で最も高い値
    - N3: 類推に使用した事例との類似度
  - 類似度: 0~1, 1は完全一致

- 有用性の評価
  - 2人の人間による評価
    - U1: 事例から転移された属性・メソッドのうち不適切・無意味なものの割合
    - U2: 事例から転移されたオブジェクト中のうち不適切な情報を含むものの割合
    - U3: 事例から転移された無意味なオブジェクトの数
- 誠実な評価は現実的なソフトウェア制作環境で行うことだけだと感じながらもこの評価結果を示します

### 5.3 Result

- 新奇性 ( Table 2 )
  - どの方略でも N1 ( 全事例との平均類似度 ) は同程度
    - :事例ライブラリが疎・4領域が存在するため
  - N2 ( 全事例との類似度で最も高い値 ) が最も高いのは 1 と 4
    - :1・4のみマッピングに意味的な類似度を使用するため
  - 5 と 6 は N3 ( 類推に使用した事例との類似度 ) が低い
    - :予想通り・一切意味的な類似度を使用しないため
    - 新奇な生成が可能な方略

Table 2: 生成された図の新奇性評価

方略	N1	N2	N3
1	0.277	0.693	0.693
2	0.275	0.654	0.544
3	0.275	0.655	0.505
4	0.277	0.690	0.689
5	0.276	0.646	0.432
6	0.274	0.649	0.304

- 有用性 ( Table 3, 注: 値が低いほど良い評価値 )
  - 総じて 5 と 6 が悪い結果
    - :転移で転移しないため, 異なる領域間の類推が不適切
- 結果から
  - 意味的な類似性は有用性に必要・新奇性を下げる
  - 双方の側面を組み合わせた方略の必要性

Table 3: 生成された図の有用性評価

方略	U1	U2	U3
1	14%	1%	0.600
2	14%	3%	1.640
3	15%	40%	1.400
4	9%	2%	0.600
5	20%	20%	3.560
6	21%	36%	2.720

## 6 Related Work

- 類推を用いたデザイン
- 機能・振る舞い・構造モデルの使用 (FBS:Function-Behavior-Structure)[Qian,Gero 1996]
  - 機能 振る舞い・振る舞い 構造のパスが類推に重要
  - 機能と振る舞いを検索キーに ( 表層的特徴に相当? )
- KDSA [Wolverton,Hayes-Roth 1994]
  - 意味ネットワークの検索制御
  - 機能が類似, 振る舞い・構造が異なるが異なるもの同士が良い類推
- モデルに基づく類推 [Bhatta,Goel 1997]
  - デザインの構造・振る舞い・機能の表現モデル
  - 汎用的なデザインパターンを学習して使用

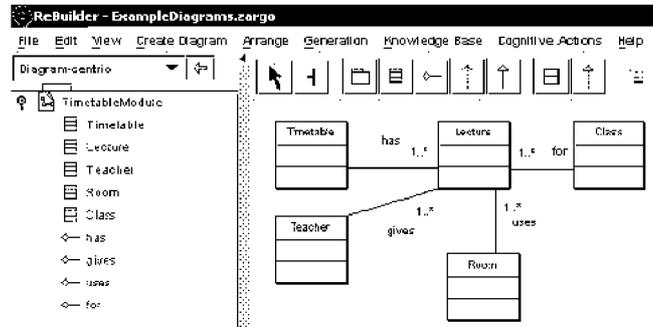
- CADET [Sycara,Navinchandra 1991]
  - 装置の振る舞いを表現するテーマを使用
- Ira [Maiden,Sut-cliffe 1992]
  - 類推に基づくソフトウェア設計仕様書の再利用
  - 仕様設計を支援する CASE ツール
    - :問題のカテゴリ分け - ユーザによる問題記述
    - :仕様書の候補選択 - ユーザとのインタラクション
    - :選択された仕様書の適用 - 重要な特徴の推論
- ソフトウェア再利用の類似性モデル [Spanoudakis,Constantopoulos 1994]
  - 概念記述の意味的な類似性

## 7 Conclusions and Future Work

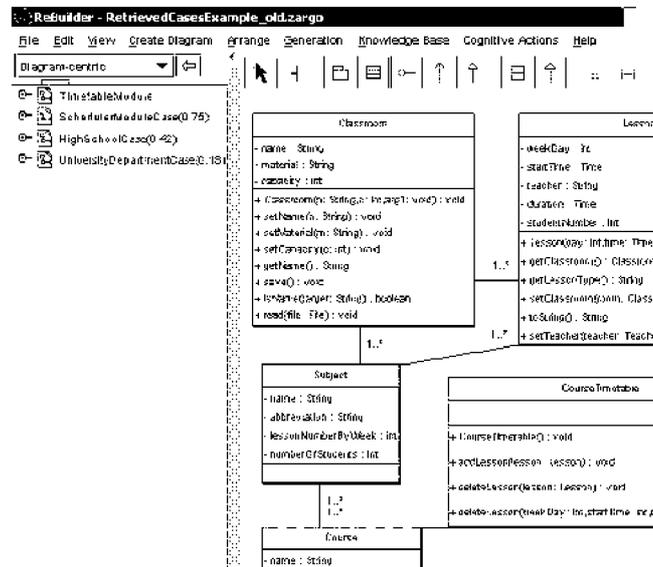
- REBUILDER の類推モジュールを説明
- 検索方略の影響を検討
- 意味的類似性は有用性に必要だが新奇性を下げる
- さらなる検索方略の実現と現場評価

## REBUILDER の実行イメージ

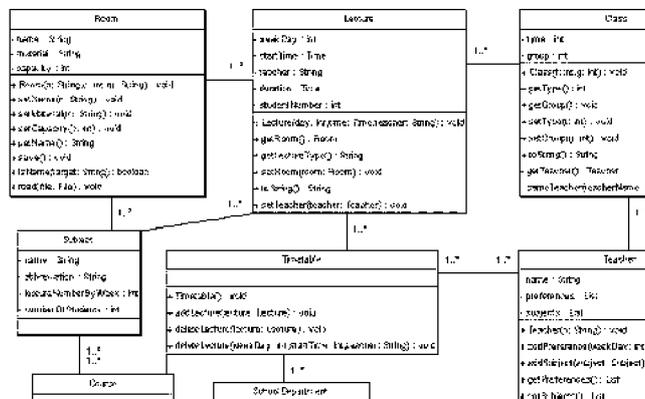
Paulo Gomes, Nuno Seco, Francisco C. Pereira, Paulo Paiva, Paulo Carreiro, José L. Ferreira, Carlos Bento: Management and Reuse of Software Design Knowledge Using a CBR Approach, Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence (2003h).



現在作成中の図 = クエリ



システムが提示する最類似事例の図



新しく生成された図