

Creative Design: Reasoning and Understanding

Marin Simina, Janet L. Kolodner: Creative Design: Reasoning and Understanding, Case-based Reasoning Research and Development, ICCBR97 (1997).

本稿では、事例に基づく推論 (Case-Based Reasoning: CBR) の立場を取って、長期的な創造的問題解決とデザイン活動に影響する記憶の問題について調査する。これは、詳細に記録された例・Alexander Graham Bell による電話の発明に基づき、長期の創造的デザインにおいて繰り返し現れた、Bell のメカニズムの推論と理解について要約する。事例に基づくデザインに対し、メカニズムを理解することは、デザインの制約と類推的評価の類推的予想の元であるとみなされる。しかし、既に理解されたデザインは、背後ではアクティブであり、ある機会に保留されたデザインの問題を満たす。新しいメカニズムは、計算機モデル ALEC¹ で統合される。これは、事例に基づくデザインにおいて、ある創造的な振る舞いを説明する。

1. ALEC は Alexander G. Bell のニックネームだったが、偶然にも Analogical Learning by Explaining Cases の頭文字を取った略語でもある

1 INTRODUCTION

長期の創造的問題解決・デザイン活動に影響する記憶メカニズム

- CBR[Kolodner 1993], MBR[Goel 1992] を統合
- 調査事例：電話の発明 [Notebooks²; US v. Bell 1908; Gorman 1992]
 2. Bell のノート <http://jefferson.village.virginia.edu/~meg3c/id/albell/homepage.html>

「どのような認知的問題が電話の発明を 1876 年まで遅らせたのか？」

- 電話の原理（電磁誘導）は 1831 年発見
- 発明の失敗：乏しい CBR
 - (1) 一般的な電信の習慣に依存
 - 針式電信機は 1831 年，モールス電信機は 1837 年に発明．これらによる conformity?
 - (2) 電磁石の基礎原理を無視
 - (3) すぐあきらめた
 - 問題の再評価に至らず，既存の電信機の小さな適用
- ベルの発明成功
 - 電話の問題を再評価，音響的実験による分析

Bell の学習目標生成

- 装置の意外な機能の理解に失敗 学習目標を生成 [Ram, Hunter 1992]
- 音声学の知識で電信機を分析・仮説生成
 - 音の伝達の類推 波状電流仮説 Bell の専門分野は音声生理学，電気・電信ではない
- 他の問題から一度中断した問題を解く機会
 - 多重電信問題からの着想
 - Bell は 1874 年，1 回線に 12 信号を送信するモールス電信機の実験に成功している
- 同時進行していた問題から無意識に転移
 - Phonautograph (Bell が挑んでいた，音声を映像化する装置．発明には失敗)

創造的デザインの説明 [Kolodner,Wills 1993; Simina,Kolodner 1995]

- 推論を説明する CBR のフレームワーク (Fig.1)
 - 設計者は設計仕様・改変を同時に発展
 - 改変した発明品を (主に) 現在の目標に基づき評価
 - : 中断した目標に関する情報が偶発することも (serendipitously generate)
 - 機会を見出す・中断した目標を活性するメカニズム

- Bell の方略
 - ある問題から新しい問題への切替，問題を新たな面で修正
 - 間に挟んだ問題は前の問題に使われる新しい学習目標・手がかりを生成
古典的のモデルの事例検索では対応不可
- ベルの理解・解釈
 - 事例検索に失敗すると類推
 - 類推に失敗すると検索された代替案から仮説生成 波状電流仮説

2 CREATIVE DESIGN

2.1 Issues

- 設計タスク：機能を提供・制約を充足するものの構造を決定 [Chandrasekaran 1990]
- 創造的設計に加わる 2 制約：新奇・有用
 - 新奇な発明品は設計仕様も新奇
 - 設計仕様は不完全で矛盾する仕様を改良する，ひとつのデザインプロセス [Tong 1988]

初期の設計仕様獲得

- 有用さを認識する機会
 - 設計仕様なし（例：tinkering）では新奇なアイデアを出しても無用と評価可能？
- 機会主義的行動 (opportunistic behavior) 経済：特定の相手としか利益の生じる行動をしないこと
 - 中断した（現状では追求できない，延期した）目標の存在
 - Bell の例：波状電流を知らなかったが，多重電信機から思いつくことができた
- 目標のソース
 - 科学的好奇心
 - 推論中に気付く異例の状況（[Ram 1991; Schank 1986] の物語理解）
：「興味深い異例」 「異例を理解する」目標を記憶中に設定
異例を理解する機会（がいつか来るかも）
 - Bell の例：Helmholtz の装置（母音合成用の電磁気装置）
：装置の詳細は理解してなかったが，後の電気的実験でその装置の詳細に立ち戻った
長期的デザインでは（複数の同時進行問題から）tinkering が統合される機会がある
- デザインのサブタスク
 - 提案・批評・修正 [Chandrasekaran 1990]
 - 既存のデザインをどう新奇に使うか，領域間の転移はどう行われるか

2.2 Case Representation

- 事例
 - 目標達成の経験を表現した，文脈を持つ知識片 [Kolodner 1993]
 - 構造・振舞いの関係を表現，因果モデルにおいて理解可能 [Goel 1992]
- 振舞いの関係
 - 設計仕様の表現に重要，検索・推論に使用
- 構造の関係
 - 既知の事例と関連づけ，重要な特徴を表現 [Hinrichs]
（Fig.2 Helmholtz の装置と Bell の発声モデルの事例表現）

新事例：Helmholtz の装置 (HA)

旧事例：ARTIFACT: Bell の発声モデル (BSM)

<p>機能：合成母音発声 構造： 出力器 機能：断続電流出力器 パラメータ：ピッチ=f 基本受信器（音叉） 機能：音声共鳴器 パラメータ：ピッチ=f 振幅=高 受信器（音叉） 機能：音声共鳴器 パラメータ：ピッチ=$n_1 * f$; $n_1 > 1$ 振幅=低 受信器（音叉） 機能：音声共鳴器 パラメータ：ピッチ=$n_2 * f$; $n_2 > 1$ 振幅=低 振舞い： 断続電流を出力器から受信器に送信 合成母音を出力</p>	<p>機能：母音の発声 構造： 声帯 機能：音声出力・共鳴器 パラメータ：ピッチ=f 振幅=高 後の口腔？(larynx?) 機能：音声共鳴器 パラメータ：ピッチ $> f$ 振幅=低 前の口腔？ 機能：音声共鳴器 パラメータ：ピッチ $> f$ 振幅=低 振舞い： 音波を声帯から口腔に送る 母音を出力</p>
--	---

図：Fig.2 の直訳

2.3 Reasoning

3つのプロセス：各プロセスとも事例利用（ Fig.1 参照）

- 設計仕様 (Design Specification)
 - 状況の評価 (アセスメント)
 - 不完全・矛盾のある制約から開始
 - 事例の想起 事例に基づき制約修正 (反復)
- 設計改変 (Design Alternatives)
 - 検索・適用
 - 制約を充足する事例の検索
 - 事例に基づく適用 [Bhatta, Goel 1993]
- 評価 (Evaluation)
 - 批評・評価
 - 知識に基づく or 経験に基づくデザインの妥当性検証
 - 前プロセスに新しい制約を提案する場合も

2.4 Understanding

- 先行経験に基づくプロセス
 - 検索・類推含めた理解のサブプロセス [Moorman, Ram 1994]
 - 旧来：類推は設計改変だけで起こる
 本研究：類推は他のプロセスでも起こる
- 設計仕様における理解・転移
 - 異なる領域からの想起，類推的な制約の予測
- 評価における理解
 - 評価は類推に依存，設計改変における類推的写像を用いた理解
 :Bell の多重電信からの発想 電信機を音声学の知識で評価

3 COMPUTATIONAL MODEL

計算機モデル ALEC

- 創造的デザインフレームワーク (Fig.1) の構築
- 検索アルゴリズム (Fig.4)
 - 現在の状況理解のための経験想起
- 学習目標の生成
 - 理解失敗時

3.1 Memory Architecture

作業記憶の主構成要素 (Fig.3)

- 作業記憶 (Working Memory)
 - 長期記憶・知覚プロセスと通信
 - 長期記憶の活性部を表現
 - 最近推論した内容を保持 [Shimima,Kolodner 1995]
 - (1) 現在の問題, (2) 中断している問題・背景の発明品, (3) 次の活動選択のための予定表

内容

- 中断している問題
 - 作りこまれていない設計仕様 (スケッチ), ALEC が理解前のもの
 - マッチングアルゴリズム [Forbus,Ferguson,Gentner 1994] による機会の検出
- 背景の発明品 (Background Artifacts)
 - LTM 中に特徴づけして格納 これがいわゆる事例
 - 問題のための代替案として構造・振舞いの特徴によりアクセス
 - Bell の例: 声か空気を動かすように鉄片を動かすには? Phonotograph の経験を想起
 - :振舞い (例: 薄い膜で重い骨を動かす方法) による想起
- 予定表
 - 各プロセス (Fig.3 中の灰色ボックス) から参照
 - 各内部プロセス / 外部認識 (External Recognizer) から作成

3.2 Processing Algorithms

インクリメンタルな創造的設計

- ALEC は古い問題を処理, 副問題の発生 (Fig.4(a))
- 創造的デザインに同時発生する 2 プロセス
 - 設計仕様の発展
 - 設計変更の発展
 - 第 3 プロセス・評価の制御下で進行
 - : 変更の良悪, 仕様の矛盾・曖昧な点
- 評価からの改良
 - あるセッションの出力 次セッションの入力
 - 入力 / 出力の構造が同様: 問題文脈 (problem context)
- 先行経験への依存
 - 各プロセスは検索アルゴリズムを用いて状況理解 (Fig.4(b))
 - (1) 作業記憶検索
 - : 発展中の仕様-背景の発明品間の徹底的なマッチング
 - : 作業記憶の検索は副次的に目標を活性
 - (1) に失敗
 - (2) 長期記憶検索 (古典的な CBR の事例検索に相当)
 - (1) / (2) に成功
 - (3) 検索された事例-現在の仕様間で類推的転移
 - (2) に失敗
 - (4) 類推促進のため, 特殊なデザイン制約を緩和 [Forbus,Ferguson,Gentner1994], (1) に戻る
 - その他の場合
 - (5) 現在の問題文脈を中断, 予測可能なコード付け [Hammond et al. 1993]

タスク：インクリメンタルな創造的デザイン

入力： - 機会の予定表 - 不完全，矛盾する，構築中の設計仕様（目標），制約集合 (C-current) として表現 - 発明品のための設計改変の集合，C-current を満足
出力： - 更新された予定表 - 発展させた制約集合 (C-next)，発展させた設計仕様を表現 - C-current のために更新された設計改変 (DA-next) の集合

メソッド：

機会 = 最も関連する機会を取り出す 受け取った機会について 評価：C-current に関する発明品 (DA) を評価 改変：改変 (DA-next) をデザイン 決定：仕様 (C-next) を決定

評価・改変・仕様は理解のサブタスクを仕様

図：Fig.4(a) の直訳

サブタスク：理解

入力： - スケッチとして表現された発明品 C-current
出力： - 更新された C-current - 設計改変 (DA) - 類推的マッピング

メソッド：検索

1. 作業記憶を検索 2. 1 に失敗したら長期記憶を検索 3. マッチングに成功したら類推的転移，終了 4. マッチングに失敗したら，制約を緩和，1 へ 5. その他の場合，C-current で特徴づけした記憶中のスケッチを中断， 他の問題に切替
--

図：Fig.4(b) の直訳

Bell の例（ Fig.2 の例）

- - 電子装置（Helmholtz のものなど）の理解を知識なしで試みる
 - 記憶からの古典的事例検索に失敗
 - 制約緩和，音声学的機能が同じ（類推）事例の検索に切替
- 「空気を通じた発声」- 「電線を通じた音声間」の類推
 - 標準的な類推では失敗する対応づけ（電線はピッチを伝えても振幅を伝えない）
 - ベース/ターゲット領域に熟知していれば動的生成で対応可能
- ベースを構築する類推 [Moorman,Ram 1994]
 - 事例に基づく適用
 - 発声・音響装置の特徴をミックス，波状電流仮説を生成

4 CONCLUSIONS

創造的デザインの計算機モデル ALEC の提案

- 機会主義・類推の側面から
- 機会主義：中断した問題を解くメカニズム
- 類推：予想・評価
- 様々な例におけるテストが必要

資料：Bell と電話の発明

Alexander G. Bell: Reserches in Telephony, Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences, vol.12 (1877).

Alexander Graham Bell (1847-1922)

スコットランド生まれ。父がエジンバラ大学で聾話教育の研究者をしていたため、その影響を受ける。1870年に家族でカナダに移住後、ベルは1871年にアメリカへ移住し、1873年にボストン大学の音声生理学教授となるが、電磁石による電信の研究に打ち込むために大学を辞める。

当初 Bell が行っていたのは、現在でいうならば多重通信の実験であった。1本の電線に周波数の違った複数の信号を送り、受信側ではそれぞれの周波数に同調する継電器を動作させ、多数のモールス符号を受信するというもので、一度に12個のモールス符号を送ることが出来るようになった。

この頃彼は、Helmholtzの音響理論に触れて、機械的に音声を再現する事に興味を持っていた。そのため、多重通信の発想から発展して

「音の変化が電流の変化に変換し、さらにその逆を行う事が出来れば、電線を通じて電流で会話が伝達できるのではないか」

と考えるようになる。実験はなかなか成功しなかったが、ある時の実験の失敗から偶然(?)、電磁誘導によって音声信号の振動を誘導電流に変えることが出来る原理を発見する。そして、電磁石の前に振動板を置き、その振動によって電磁誘導電流を発生させる電磁型送受話型の有線電話器の製作に成功した。

Bell自身は電気の専門知識を持っていなかったため、助手として専門家のWatosonという人物を雇って実験を行っていた。で、「もし私に音声学の知識がなく、また電気に関する知識が豊富だったら、電話は発明できなかったらう」と後に語っている。どうでもいいことだが、最初の通話は、うっかり薬品を服にこぼしてしまった彼が助手のWatosonを呼んだ「Mr. Watoson, come here I want you.」で、電信の世界では有名ならしい。