

Lebiere, Christian, John R. Anderson, and Daniel Bothell. "Multi-tasking and cognitive workload in an ACT-R model of a simplified air traffic control task." (2001).

Introduction

- 認知モデルの分野で多くの進展があったが、そこで作られたモデルはある特定の現象だけに適用できるもので、そのモデルを別の分野で試そうとされていない。
- AMBR(Agent-based Modeling and Behavior Representation Program)のモデル比較は、モデルで複雑な人間の行動パターンを説明しようとする。
- 複雑なマルチタスキングの行動を引き出すタスクには、航空管制コントロール課題を用いた。
- 我々が今回使用したモデルは、ACT-Rを用いた。
 - ▶モデルはシンプルだったが、集合のパフォーマンスや個人のパフォーマンス・反応時間・選択割合・エラー率とエラーの種類割合の差異など、参加者データの幅広い範囲を説明できた。

ACT-R

- ACT-R は状況と記憶からの情報を検索し、発火するプロダクションルールの順番によって認知のステップをモデル化しようと試みるプロダクションシステムのことである。

- ▶これまでに、記憶検索、視覚探索、心理学実験の設計に使用されてきた。
- ▶課題のパフォーマンスに対して、何が起きているかを100ミリ秒単位で予測することができる。
- ▶最新のバージョンでは、時間的プレッシャーや多くの情報処理が要求される状態下で行われる課題に対して、より詳細に反映できるように設計されている。

- Figure1: ACT-Rにおける情報の流れを示す

- ▶3種類の記憶
- ▶目標スタック(Goal Stack): 行動を決定する意志の集合を保存
- ▶手続き記憶(Procedural Memory): プロダクションルールを保存する。

◇プロダクションルールとは、「もし～なら、～する」というルール

- ▶宣言的記憶(Declarative Memory): チャンクの記憶場所

◇チャンクとは、知識構造のこと。(ex. $3+4=7$)

- ▶これらの記憶へのアクセスは、その時に注意を向けている現在の目標(Current Goal)によって調整される。
- ▶プロダクションルールは、現在の目標に適合するプロダクションルールの中から、1つを選ぶ Conflict Resolution Process を経て、発火させられる。
- ▶選択されたプロダクションルールは、外的世界(Outside World)に作用し、現在の目標を変化させる。

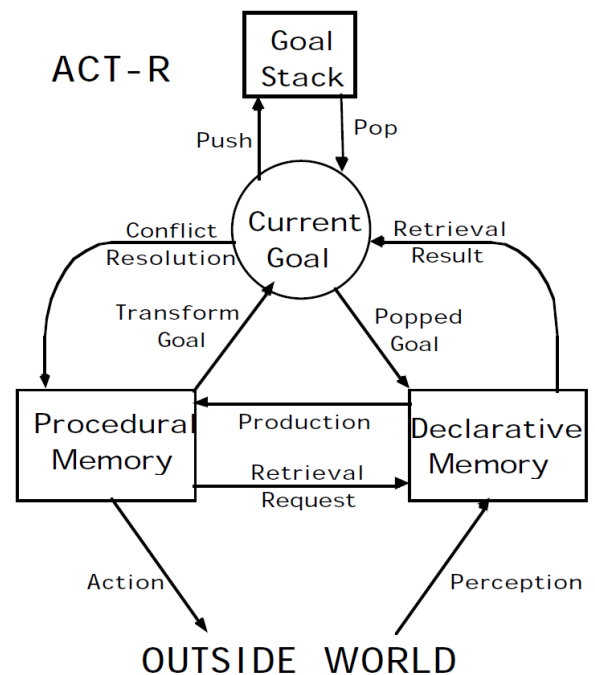


Figure 1: Overall flow of control in ACT-R.

- ▶チャンクを検索しようとする、ACT-R は、チャンクを強く活性化させ、チャンクを選択する。この検索時間が、記憶の探索時間となる。

MODEL

●既存のモデルを用いる設計上の利点は、知識の記述の作業量や開発におけるトライ・アンド・エラーの回数を減らし、時間と作業量を減らすだけでなく、モデルの予測性能を向上させられる。それゆえ、ACT-Rを用いて認知モデルの設計を行った。

●5つの目標・36のプロダクションルール

▶目標: Color-Goal, Text-Goal, Scan-Text, Scan-Screen, Process

▶目標は、いくつかの要素を持つ。

▶要素とは、航空機の位置や次に行うべき行動のような情報と関連して処理されるべき航空機の情報など

▶2つの条件が設定

◇カラー条件: レーダー画面に映った航空機の色が変化すると、その色に応じて行動を行う条件

◇テキスト条件: 操作者は行動を必要とするイベントを見つけるために、コンピュータ画面に表示されるテキストを用いる条件(=mental workloadは高い)

▶それぞれの条件には3種類のスピードがある。(low medium high)。スピードが速いほど、設定された制限時間が厳しく、mental workloadが高い(10分 7.5分 5分)。

カラー条件の目標

▶Color-Goal:

◇カラー条件の最終目標。5つのプロダクションルールが定義される。

◇継続的にレーダースクリーンを監視し、色が変わった航空機を見つけ、5つのプロダクションルールにしたがって必要な行動を行い、その航空機に対する行動を行う目標を設定する

▶Scan-Screen:

◇8つのプロダクションルールが定義されている。

◇レーダー画面をスキャンし、航空機に色の変化を探す。

▶Process:

◇12のプロダクションルールが定義されている。

◇行動を行うために、マウスクリックをする。

テキスト条件の目標

▶Text-Goal:

◇テキスト条件の最終目標。4つのプロダクションルールが定義されている。

◇プロダクションルールに従って、scan-text 目標を設定する。

▶Scan-Text:

◇行動を要求する他のコントローラーからの新しいメッセージがテキスト形式で表示されているウィンドウを監視する。

◇行動が要求された状況になったら、別のプロダクションルールが発火し、その要求に応えるために記憶を検索する。もし対応する記憶がなかったら、さらにテキストを検索する。

▶Process:

◇カラー条件と同じ

- 集団のデータを作成するだけでなく、モンテカルロ法を用いて個人の分散のデータも作成した。
 - ACT-R のそれぞれの部分(チャンクの活性レベル/プロダクションルールの使用可能性/プロダクションエフォート)をランダムに設定して実行した

Result

- 12 の異なるシナリオで計 48 回、モデルを実行した。
- Figure2:ペナルティーポイントのモデル実行結果と実験参加者の比較
 - モデルは実際のデータと非常に一致した。特にカラー条件とテキスト条件の関係と、テキスト条件における負荷の関係において一致した。
- Figure3:高いエラー率を記録した条件(テキスト条件の Mid と High)についての、個人ごとの参加者とモデルの結果をプロット
 - Mid 群では、ほぼ完全にモデルは参加者の結果を再現した。
 - High 群の分散も、参加者の結果を再現した。
- Figure4: エラーを 8 種類のカテゴリーに分類すると、実験結果と一致した。
 - モデルは、参加者のパフォーマンスを再現するだけでなく、詳細なエラーの種類まで予測することができた。
- 課題の反応への遅延時間も、条件間で一致した。
 - イベントの発生を特定し、次の目標を設定するモデルの能力からマルチタスキングの能力がわかる。
- モデルは、それぞれの試行後に調査した参加者の認知負荷(workload)も再現することができた。
 - ACT-R には、workload への概念がないが、全体の時間に対する処理の時間の割合を workload と考え、算出した(Figure5)。
 - Process Goal の処理の時間と Scan-text の処理時間を workload とした
 - モデルが「時間的プレッシャーを感じる」「忙しい」と感じることは、Process 目標に定義された。

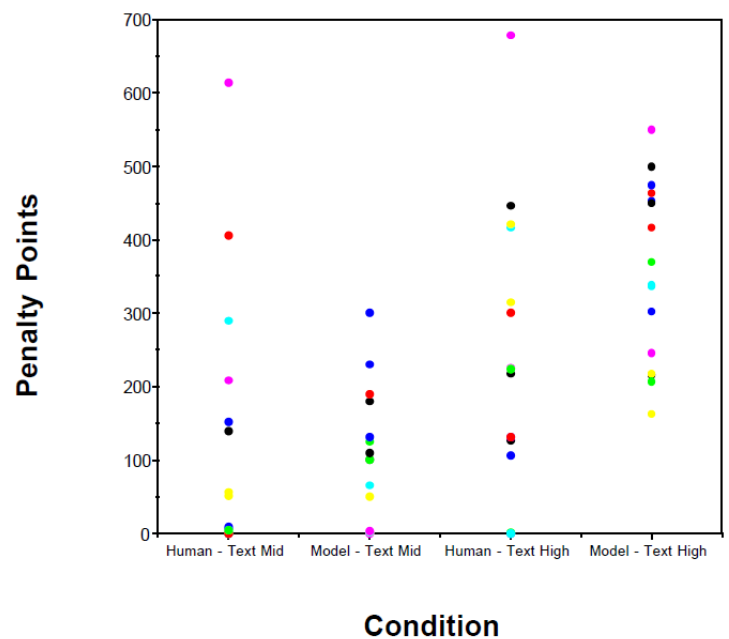
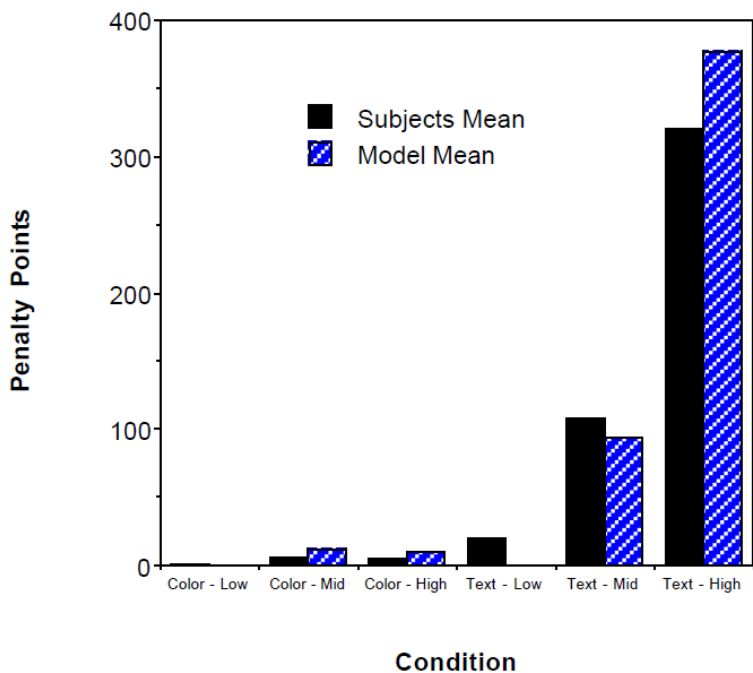


Figure 2: Mean performance for subjects vs. model Figure 3: Performance for each subject vs. model run

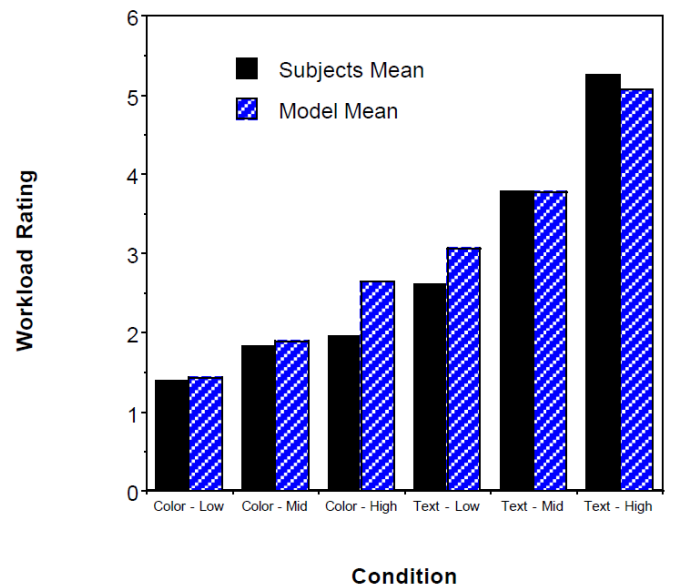
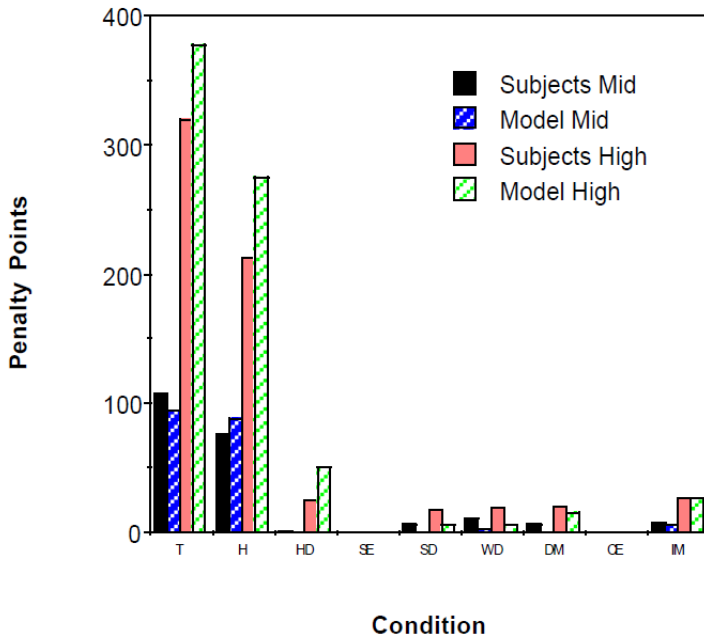


Figure 4: Penalty points for subjects vs. model runs

Figure 6: Mean workload for subjects vs. model

- まとめると、このモデルの利点は、比較的シンプルであり、パラメーターの設定や知識の設定がほとんど必要でないこと、認知負荷を計測でき、マルチタスキングの振る舞いを簡単に説明できることである。

HLA(High Level Architecture)の分析に関する今後の展望

- この ACT-R モデルをより複雑なレベルの設計に転換することは、比較的単純である。
 - ▶シミュレーションとモデルのコードレイヤーの管理だけが必要である。
 - ▶状況に関する情報のコードとモデルが実行する行動をアップデートすることだけが必要である。
- しかしながら、シミュレーションのスピードに関して気をつけなければならない。
 - ▶実行時間は、実際の時間の半分ほどかかる。
- 我々は、認知モデルを開発するときに最大の効率を求めていることを強調することである。
 - ▶人間のパフォーマンスは、試行ごとに予測不可能に異なるので、多くのモデルは確率的なモデルを構築し、そのパフォーマンスは何回も繰り返し実行して測定している。
 - ▶実際の実験では、12 種類のシナリオを設定した。実際の実験で行えば、8 時間はかかる。これが、モデル構築をとっても複雑なものにしている。
- よりよい効率でモデル構築ができれば、モデル構築のサイクルを削減でき、認知モデルを作るのがより有用な方法となるだろう。

結論

- 航空管制課題において、人間のパフォーマンスのモデルを開発した。
- このモデルは、実験における参加者のパフォーマンスの平均や分散を再現することができた。
- このモデルによって、マルチタスキングの行動や認知負荷の基礎が説明することができる。