**操作ログ情報の総合的解析によるCAD教育のDXに関する研究**

[**背景]**

大きな課題が二つ存在する。

・指導者が学習者個々の習熟度を把握できていない

・学習者間で習熟度に差が生じている

**[研究目的]**

情報技術の活用により、CAD教育の効果・効率を向上させること

・CADシステムの問題点の発見と改善

・操作者の操作スキル評価と教育最適化

**[手法]**

操作情報（コマンドログ＋操作画面の記録）→ 誤操作の原因等の推定 → 操作スキル評価

・コマンドシーケンスを出現頻度のばらつき＋Undo前or後で分類（4つに大別）

・Undo前後のコマンドを比較（関数の一致/不一致＋パラメータの一致/不一致）

**[新規性]**

・操作内容までを解析対象として含んでいる点

　コマンドログからだけではわからない情報を操作画面情報から取得

・プロセスまでを評価に含めた操作スキル評価

　4つのCAD操作スキルを評価

・詳細な操作スキル評価に基づいた教育最適化

　細かい評価に基づくことで、より効果・効率の良い課題内容・提示順序を設定

* 解析方法のアイデア
  + コマンド操作の時間

コマンド実行間の時間と操作スキル（宣言的知識）に相関があるかも

* + カーソルの位置から迷ったコマンドを推定

カーソルがコマンドのアイコン上に位置しているが、実行はしていないパターンを検出

* + カーソル軌道

x,yを画面におけるカーソル座標、zをフレーム数として軌道を3次元で描画

* + 操作内容の割合

メニュー・プロパティ・チュートリアル・モデルのどれを操作しているか

2024/04/02

* コマンドシーケンスを見られる学生の偏り・正誤で分類
  + 問題点
    - 人間が見ると内容が異なると感じるコマンドシーケンスが同じクラスタに含まれている
    - 人間が見ると内容が似ていると感じるコマンドシーケンスが異なるクラスタに含まれている
  + 原因
    - コマンドシーケンス内で、 “SelectByRay”, “SelectByID”などのコマンドが連続あるいは複数存在しているために、適切にコマンドシーケンスどうしの類似度を評価できていない
  + 解決策
    - コマンドシーケンス内に含まれるコマンドの重複をなくした（集合に変換）
  + 結果
    - Undo前コマンドシーケンスの数（種類）：161→109
    - クラスタ数：81→59（クラスタ間の距離：0.6）
    - 人間が見ると内容が異なると感じるコマンドシーケンスが同じクラスタに含まれている（依然、問題点）
  + 改善策
    - “SelectByRay”などに比べてモデルに対して変形を行うような操作の重さをつけるべき？

2024/04/03

* 重みをつけたLevenshtein距離によるクラスタリング（コマンド重複なし）
  + “SelectByID”など以外のモデルに対して操作を行なっているものの重みを重くした
  + 結果
    - データ数：107
    - Undo前コマンドシーケンスの種類：106
    - クラスタ数：58（距離0.45）
  + 考察
    - 重みの値は対して重要ではなさそう
    - ある程度適切にクラスタリングはできていると考えられる
  + 確認事項
    - ばらつき具合を変動係数で評価することの妥当性
    - 変動係数：大 → 珍しい誤り、変動係数：小 → よくある間違いになっているかどうかを確認する必要あり
    - Levenshtein距離を用いた理由

2024/04/05

* 重みづけ・重複なしクラスタリング
  + コードの誤りを修正
  + 変動係数の妥当性を確認
* 結果
  + データ数：107
  + Undo前コマンドシーケンスの種類：106
  + クラスタ数：58（距離0.45）
  + 変動係数が2.8のとき107人中12人の学生で見られる（目安）
  + 変動係数が下位（変動係数の値が2.3以下など）の中には
    - 辺や線を選択するコマンド
    - 円をスケッチするコマンド
    - 長方形をスケッチするコマンド

が含まれている。

* + 変動係数が上位（変動係数の値が10など）の中には
    - Tutor1で使うコマンドだが、組み合わせが珍しいもの（←期待しているもの）・・・①
    - 本来Tutor1で使うはずがないコマンド・・・②
    - シーケンスの長さが大きいもの・・・③

が含まれている

* 考察
  + Tutor1以外のコマンドログが一定含まれてしまっている
  + 変動係数はコマンドシーケンスの偏りを表していると考えられる
  + 変動係数が小さいものに関しては、多くの学生が行う誤りであると考えられるようなコマンドシーケンスであったので仮説と合致していると考えられる
  + 変動係数が上位のものに関しては①のみを抽出したいので
    - コマンドログデータの中から、Tutorialごとのコマンドログを抽出する
    - ①と②、③の一般的な違いを見出して①だけを抽出する

2024/04/08　個別ミーティング

* コマンドシーケンスを学生ごとの出現頻度の偏り・正誤で分類
  + 仮説
    - 偏り大：少数の学生のみが行なった誤り→操作者に原因あり
    - 偏り小：多くの学生が行なった誤り→CAD側に問題あり
  + 手順
    - コマンドシーケンスをレーベンシュタイン距離でクラスタリングし、出現頻度の偏りを変動係数で評価
  + 問題点
    - 人間が見ると内容が異なると感じるコマンドシーケンスが同じクラスタに含まれている
    - 人間が見ると内容が似ていると感じるコマンドシーケンスが異なるクラスタに含まれている
  + 原因
    - コマンドシーケンス内で、 “SelectByRay”, “SelectByID”などのコマンドが連続あるいは複数存在しており、シーケンスの長さが大きいものが含まれているので、適切にコマンドシーケンスどうしの類似度を評価できていない
    - ①“SelectByRay”, “SelectByID”などの辺や線を選ぶコマンド操作と、②モデルに対して変形などを行うコマンド操作を同列に扱っている

②が異なる場合に異なるクラスタに分類されてほしい

* + 解決策
    - コマンドシーケンス内に含まれるコマンドの重複をなくした（集合に変換）
    - レーベンシュタイン距離を計算する際に、重みづけを行なった
* **重みづけ・重複なしクラスタリング**
* 結果
  + データ数：106
  + Undo前コマンドシーケンスの種類：104
  + クラスタ数：76（距離0.30）
  + 変動係数が2.8のとき106人中12人の学生で見られる（目安）
  + 変動係数が下位（変動係数の値が2.3以下など）の中には
    - 辺や線を選択するコマンド
    - 円をスケッチするコマンド
    - 長方形をスケッチするコマンド

が含まれている。

* + 変動係数が上位（変動係数の値が10など）の中には
    - Tutor1で使うコマンド・・・①
    - 本来Tutor1で使うはずがないコマンド・・・②
    - シーケンスの長さが大きいもの・・・③

が含まれている

* 考察
  + 変動係数はコマンドシーケンスの偏りを表していると考えられる
  + Tutor1以外のコマンドログが一定含まれてしまっている
  + 変動係数が小さいものに関しては、多くの学生が行う誤りであると考えられるようなコマンドシーケンスであったので仮説と合致していると考えられる
  + 変動係数が大きいものに関して、②の中には
    - Tutor1を行う中で、誤って必要でないコマンドを実施した
    - そもそもTutor1以外を行なっていた

→集めたコマンドログデータの中からTutor1の範囲のみを抽出したい

[メモ]

* コマンドシーケンスを多重集合に変換し
  + 出現頻度で重みづけ＆類似度評価
  + コマンドの内容で重みづけ＆類似度評価

を行い、クラスタリング＆変動係数での評価を行う

2024/04/09

[進捗]

・Undo前コマンドシーケンスをbag-of-commandsに変換

・bocを、Jaccard係数を用いた距離によりクラスタリング

・それぞれのクラスタの偏りを変動係数で評価

[今後]

・bocどうしの距離の評価の仕方をいろいろ変えてみる

・結果を比較

2024/04/12

[進捗]

* Jaccard係数でクラスタリングした結果を確認
  + “SelectByID2”や“SelectByRay”などの面や辺、線分を選択するコマンドは一つのシーケンス内に多数含まれることが多い→これらが異なるBag-of-commandsの共通要素になることが多いので、モデルに対して異なる操作を行なっているコマンドシーケンスが同じクラスタに含まれてしまっている（クラスタがうまくできない）

[解決策]

* コマンドシーケンスに含まれるコマンドの出現頻度までを考慮する場合
  + Bag-of-commandsに変形
  + コマンドに重みをつけて距離を計算しクラスタリング
* コマンドシーケンスに含まれるコマンドの出現頻度を考慮しない場合
  + コマンドシーケンスを集合に変換する
  + コマンドに重みをつけてクラスタリング

[方針]

* 学生全体の傾向を掴む→モデルに対する操作を行うコマンドがUndo前コマンドシーケンスに含まれることはあまり多くないので、出現頻度を考慮する必要はない

（例：{“SelecyByRay”:5, “CreateCircle”:1}と{“SelecyByRay”:1, “CreateCircle”:1}を同じものとして扱う）

* 学生個々人の詳細な特徴を掴む→各コマンドの出現頻度までを考慮すべき

2024/04/16

[解決策]

* tf-idfで重みづけを行う

2024/04/18

[進捗]

Undo前コマンドシーケンスを多重集合に変換し、クラスタリング

* Jaccard係数でクラスタリングした結果を確認
  + “SelectByID2”や“SelectByRay”などの面や辺、線分を選択するコマンドは一つのシーケンス内に多数含まれることが多い→これらが異なるBag-of-commandsの共通要素になることが多いので、モデルに対して異なる操作を行なっているコマンドシーケンスが同じクラスタに含まれてしまっている（クラスタがうまくできない）

Undo前コマンドシーケンスを集合に変換し、クラスタリング

* Jaccard係数（重みづけあり）でクラスタリングした結果を確認
  + 上記の結果よりも改善された

[方針]

* 学生全体の傾向を掴む→モデルに対する操作を行うコマンドがUndo前コマンドシーケンスに含まれることはあまり多くないので、出現頻度を考慮する必要はない

（例：{“SelecyByRay”:5, “CreateCircle”:1}と{“SelecyByRay”:1, “CreateCircle”:1}を同じものとして扱う）

* 学生個々人の詳細な特徴を掴む→各コマンドの出現頻度までを考慮すべき
* 重みづけを行う際は、tfなどのコンピュータで計算可能な指標を用いるべき

[確認事項]

* 2024年度のSolidworksの学生用ライセンスの取得方法
* “SelecyByRay”などのUndoの際の扱い

[コマンドログ]

・・・・・・

“SelecyByRay”

“SelecyByRay”

“SelecyByRay”

“SelecyByRay”

“CreateCircle”（モデルに対して操作を行うコマンド）

“EditUndo2 1”

“EditUndo2 1”

・・・・・・

[メモ]

* Undoでキャンセルされるコマンド抽出のアルゴリズム修正
* 集合、多重集合に変換した結果の比較（重みあり・なし）

2024/04/22

[進捗]

* Undoによって削除されるコマンドの抽出のアルゴリズムの修正
* 集合・多重集合に変換しクラスタリング（重みづけなし）を行なった際の結果比較
  + 両方うまくいっていない
  + 集合に変換した場合のほうがまし
    - 原因：アルゴリズムの修正により”SelectByID2”などのコマンドの数が増え、重みづけを行う必要性がさらに増したため
* 各コマンドの合計出現回数とidf算出
  + ”SelectByID2”などのコマンドに関して

合計出現回数は大きく、idfは小さい

* + ただし、”CreateCircle”などのよく使われる、かつ、間違いやすいコマンドに関しても、上記と同じような値になる傾向がある
* 重みづけは一旦idfの値を利用するのがいい？

2024/04/23

* tf：大、idf：小のコマンドの重要性は低いと考えられる。
  + “SelectByID2”、”SelectByRay”
  + ただし、よく使われる&よく間違われるコマンドも同じ傾向
* 総Undo前コマンド数：1747
* Undo前に出現するコマンドの種類数：41
* 平均すると一つのコマンドは40ちょっとのはず
* tfの上位3つは出現頻度が80以上
* 平均の倍、出現しているものはイレギュラーとする？

2024/04/25

* 集合・多重集合に変換し、クラスタリングした結果を確認
  + 同じクラスタに含まれていてもおかしくないものも少し見られるが、同じクラスタに全く異なるものが含まれているということは少ないので、両方ある程度うまくいっている
  + 多重集合に変換した場合のほうが、モデルに対する操作を行う前の「辺や面を選ぶような操作」の回数が多いことを区別できていると考えられる
* 多重集合に変換し、学生間でのばらつき（偏り）を評価
  + 偏りが小さいコマンド（多くの学生で見られる誤り）
    - 辺や面を選ぶコマンド
    - 円のスケッチ
    - 長方形のスケッチ
    - 部品追加（Add Component5）
    - モデルから一部を削除（Feature Cut）
    - フィレットの作成など（Create Feature）
  + 偏りが大きいコマンド（少数の学生でしか見られない誤り）
    - Create Point
    - Reorder Feature
    - Get Configuration By Name
    - Ser Component Transparent
    - Add Component \*4, Select By ID \*4 など（一人の学生でしか見られない）
* Undo後のコマンドを抽出するアルゴリズムを修正

2024/04/26

[進捗]

* Undoによって削除されるコマンドの抽出のアルゴリズムの修正
  + “SelectByID2”などは、一つのUndoで複数キャンセルされるように変更
* Undo前コマンドシーケンスを集合・多重集合に変換しクラスタリング（重みづけなし）を行い、結果を比較
  + Jaccard係数 = |A∩B| / |A∪B|
  + 両方うまくいっていない
  + 集合に変換した場合のほうがまし
    - 原因：アルゴリズムの修正により”SelectByID2”などのコマンドの数が増え、重みづけを行う必要性がさらに増したため
* 各コマンドの総出現回数とidfを算出
  + 総出現回数：全学生のUndo前コマンドシーケンスの中で、あるコマンドが出現している回数
  + データ数だと紛らわしい(底は e?)
  + 結果
    - ”SelectByID2”（idf = 0.5）などのコマンド：総出現回数は大きく、idfは小さい
    - ただし、”CreateCircle”（idf = 1）などのよく使われる、かつ、間違いやすいコマンドに関しても、上記と同じような値になる傾向がある
  + 考察
    - 総出現回数に関しては、”SelectByID2”などの値の方が非常に大きいので、重みづけを利用するなら出現回数か
    - ただし、「モデルに対する操作であるコマンド」の出現回数にもばらつきがあるので、出現回数上位のコマンドの重みを下げるやり方を取る
* Undo前での出現頻度を利用した重みづけを行い、クラスタリング
  + Undo前に出現するコマンドの種類は41種類
  + 出現回数の上位1割のコマンドの重みを下げて、Jaccard係数を算出し、クラスタリング
  + 結果
    - 同じクラスタに含まれていてもおかしくないものも少し見られるが、同じクラスタに全く異なるものが含まれているということは少ないので、両方ある程度うまくいっている
    - 多重集合に変換した場合のほうが、モデルに対する操作を行う前の「辺や面を選ぶような操作」の回数が多いことを区別できていると考えられる
    - 偏りが小さいコマンド（多くの学生で見られる誤り）
      * 辺や面を選ぶコマンド
      * 円のスケッチ
      * 長方形のスケッチ
      * 部品追加（Add Component5）
      * モデルから一部を削除（Feature Cut）
      * フィレットの作成など（Create Feature）
    - 偏りが大きいコマンド（少数の学生でしか見られない誤り）
      * Create Point
      * Reorder Feature
      * Get Configuration By Name
      * Ser Component Transparent
      * Add Component \*4, Select By ID \*4 など（一人の学生でしか見られない）
* メモ
  + 集合（重みづけなし）の場合に、あまりうまくいっていない理由を考える
  + tf（出現回数）, idfなどの値は定量的に評価する
  + Levenshtein距離で計算した場合、集合・多重集合に変換してJaccard係数で変換した場合の3通り×2通りで6通りの結果が出てくる
  + クラスタリング結果の評価を行うために、Undo前コマンドシーケンス間の距離が、人間が評価した際の結果と似ているかどうかで判断する
  + 評価方法
    - シーケンスどうしの距離を計算し、ソートしたものを用意する
    - そのデータをランダムに並び替え、人間に判断してもらう
    - 並び替えられた結果を比較する