
一般口演

一般口演22

標準化・EHR・PHR

2018年11月25日(日) 13:40 ～ 15:40 B会場 (4F 409+410)

[4-B-3-5] 自己組織化ソフトウェアによる医療データ処理と電子カルテへの応用の検討

○中島 義和（東京医科歯科大学 生体材料工学研究所）

Introduction 電子カルテシステムの使いやすい仕様・デザインは、運営している病院の規模、運営方法あるいは医師の好み依存しており、多様である。現在は、いくつかの開発・提供されているシステムから許容できるものを選ぶしか方法がなく、導入されたシステム内のデータ構造や内部処理は必ずしも各病院に最適化されていない。 **Method** 自己と他の種類を識別し、自身で結合を選択するソフトウェア・エージェントを開発した。エージェントは、各医療データを保持して要求に応じて供給するもの（データプロバイダ）と、他のエージェントからのデータを処理して新しいデータに変換するもの（プロセッサ）がある。これらのエージェントを複数個準備し、ネットワーク上に配置する。電子カルテからクエリ（データの要求）が出力されると、要求データがネットワーク上に存在する場合にはそのデータプロバイダが応答する。要求データがネットワーク上に存在しない場合には、要求データを別のデータから作る可能性を持つプロセッサが応答し、そのために必要とするデータをクエリとして要求する。これらの処理を、エージェントが自律的かつ再帰的に行い、自己組織化して処理することで、フレキシブルに要求データを供給する。 **Experiments** さまざまな構造を持つ医療データに対してデータ自動生成能力を確かめた。クエリはXML言語を用いて記述し、50例のクエリを試行した。全てにおいて、複数のエージェントが適切に自己結合し、必要な箇所にデータを埋め込んだのち、適切な構造化データを返した。また、手術ナビゲーションで記録されたデータを自動で処理できることを確認した。提案したシステムを使い、簡易に電子カルテをカスタマイズできることを確認した。 **Conclusion** 要求されたデータ種に応じて、多数のデータ処理ソフトウェア・エージェントを適切に自己結合させ、データを処理するシステムを開発した。さらに、電子カルテシステムへの適用可能性を確認した。

自己組織化ソフトウェアによる医療データ処理と電子カルテへの応用の検討

中島 義和^{*1}

^{*1} 東京医科歯科大学 生体材料工学研究所

Medical-data processing and record with self-organizing software agents

Yoshikazu Nakajima^{*1}

^{*1} Institute of Biomaterials and Bioengineering, Tokyo Medical and Dental University

Conversion among electric medical records is a concern of medical data systems due to the diversity of data structure. Some systems use HL7 CDA and its application with XML schema to convert them, however there would be no standard way yet to convert medical records. We propose a system to process medical data automatically with self-organizing software agents. The system was tested on its feasibility to provide multimedia medical reports. Conversion performance among medical reports was also tested. The prototype system worked well and showed acceptable performance to process medical data and generate multimedia medical records.

Keywords: Electric medical report conversion, Multimedia medical report, Autonomous networking agents

1. 緒論・目的

電子カルテシステムの使いやすい仕様やデザインは、運営している病院の規模、運営方法あるいは医師の好み依存しており、多様である。現在は、いくつかの開発・提供されているシステムから許容できるものを選ぶしか方法がなく、導入されたシステム内のデータ構造や内部処理は必ずしも各病院に最適化されていない。病院間の情報共有を目的とした医療情報変換に関する標準化ならびに実用化の取り組みとして、HL7 CDA[1][2]や XML スキーマなどを使った研究が精力的に進められ、よくまとめられている。しかしながら、それらがサポートする範囲の広さ、汎用性確保ならびに記述体系最適化の困難さより、その仕様は複雑になり、すべてのシステムを準拠させるには時間を必要とする。また、人工知能診断、3次元治療計画や手術ナビゲーションなど最新の医療をサポートするためには、マルチメディアデータに対応する必要があるが、これらに対して簡便に対応できない。

本稿では、さまざまな体系・構造を有する多種多様なデータの管理と処理について、異種システム間のデータ変換と、データ処理[3]の自動化を行う一手法を提案する。データ種の体系付けは HL7 CDA や各医療オントロジーなどを基にししながら他のシステムとの連携実現と拡張性確保の両立を目指す。

2. 方法

開発した複数のデータエージェントと処理エージェントをネットワーク上で待機させる。ユーザがネットワークへクエリ(要求)を出した時、各エージェントはそのクエリと自身との整合を判断し、お互いに自律結合して、処理フローツリーを形成する。最終的に、データエージェントから供給されるデータを、処理エージェントが処理ならびに結合し、ユーザに対してクエリに合致したデータを返す。各エージェントには、ファセットと呼ばれる識別子領域を持たせる。エージェントの識別と結合は、ファセットの複雑な意味解析を行うことなく、ファセットの比較、交換ならびに置換で行う。

データエージェントは、データ領域と識別部を持つ。データ領域には、データ本体のほか、記述フォーマット、データの単位ならびにデータの分解能などの属性が指定される。識別部は、複数のファセットで構成され、ファセットに index や symbol など適切な記述がなされる。ファセットは、そのデータに合致した 2 つのタイプに大別できる。ひとつは、データがなにかし

ら実体の任意の特徴を表すものであるとして、ひとつの ENTITY 識別子と ROLE 識別子で記述される。もうひとつは、データがなにかしらの実体ともうひとつ別の実体との関係性を表すものであるとして Subjective ENTITY と Objective ENTITY を持ち、それらの関係性を表す ROLE 識別子を持つ。また、データの領域固有性を考慮するため、必要があれば空間と時間を限定するための空間識別子ならびに時間識別子を追加で指定できる。ユーザあるいは処理エージェントから要求されたクエリに対して、自身がデータを供給できる場合に、データエージェントはその要求に応え、要求先にデータを供給する。

処理エージェントは、実行プログラムを内蔵し、また処理の種類を判別するための識別部を有する。識別部には、その処理系がどのような入力データのセットを必要とし、処理の結果としてどのようなデータを出力するかが記述される。具体的には、データエージェントで述べた識別子と同様なファセットのセットが入力データの数だけ用意され、それぞれの入力データの種類を表し、また出力データについても同様なファセットが用意され、記述される。処理エージェントの識別ファセットには any 記述が許され、これはその識別子の種類は特に指定しないことを示す。ネットワーク上にクエリが出された時、処理エージェントはそのクエリと出力データの識別部を比較し、自身が要求に応えられる可能性を持つ場合には、そのクエリを識別部の記述に従って入力データ識別ファセットのセットに変換し、入力データを得るためにそれらの識別ファセットをクエリとしてネットワークに発信する。他のデータエージェントあるいは処理エージェントから応答があり、入力データを確保できた場合には、それらを処理し、次の(そのエージェントにデータを要求してきた)エージェントに処理データを返す。処理エージェントが複数のデータを出力できる場合でも、処理エージェントは場合に依ってどれかひとつの出力に特化し、それぞれの出力データを提供できるエージェントが複数存在するかのよう振る舞う。また、処理の無限繰り返しを回避するため、フローの後方を担う処理エージェントが前方のエージェントと同じクエリを発信してしまうことを防ぐ。そのため、次の処理エージェントの応答とともに、処理エージェントの出力データ識別ファセットをそれらに伝え、クエリの繰り返しを判定する。

ユーザのクエリに対して、処理エージェントが自律的に結合して、データ処理フローのツリーあるいはネットワークを構成し、最終段でデータエージェントからのデータ供給がなされた時点で、処理を逆方向に変え、データを処理しながらフローの前方へデータを順次返す。これは、クエリに対して出力

側から検索する backward reasoning と、入力側からデータを処理していく forward processing の組合せになる。

エージェント識別部のファセットには、index や symbol などが記述される。それらは、複数の部署や組織で共有するものであってもよいし、組織毎に定義されてもよい。ファセットは、URL ならびに期間などで宣言されたスコープでその使用範囲を限定され、組織内において表で管理される。また、他の組織とのデータ変換のため、各ファセットはセンサーラステラルならびにオントロジーネットワークと対応付けされており、この情報は組織間のデータ変換時に使われる。

3. 実験

512 のエージェントを、デスクトップ PC の GPU 上ならびに 256 台の Raspberry Pi 上に分散して実装した。データエージェントは 64 用意され、デスクトップ PC 上に実装された。これらはオブジェクト指向データベース(Cache', Intersystem Inc.)と通信し、必要なデータをデータベースで検索して取得、他のエージェントに供給する。データベースに記録保管されたデータはすべて、フォーマットなどのデータ属性ならびに識別部を付帯して記録した。データベース検索を内処理するデータエージェントでは、同時に複数のデータエージェントが応答する場合がある。データエージェントの競合を防ぐため、処理エージェントの入力側におけるデータエージェントの接続数は 1 に限定した。また、リアルタイムデータを提供するデータエージェントは Raspberry Pi 上に実装された。センサで計測された値は Raspberry Pi の I/O と内部ソフトウェアを介してディジタルデータに変換され、エージェントプロセスによりネットワークに提供された。別の 32 のエージェントは Raspberry Pi 上に Deep learning AI エージェントとして実装された。これらのいくつかは、医用画像を処理するときその画像に写っている体部位を特定するため、それぞれ画像種ならびに部位専用として実装された。また、他のいくつかは、画像処理エージェントとして実装された。これらは、臓器領域抽出など処理毎に用意され、画像種と部位が特定された(それらが入力データとして提供され得た)ときに、閾値など適切な画像処理パラメータを返す。その他、画像位置合わせ、座標系変換行列の積算や逆演算、データのフォーマットならびに単位変換、任意種類データの時系列データ生成、グラフ描画、ならびに CG 描画の各種処理エージェントが用意された。さらに、電子カルテ共有化のためのエージェントとして、データ構造変換エージェントが用意された。これは、各電子カルテのデータ構造を簡単に記述したデータを受け取って、データ箇所に記述されたクエリを具体的なデータに置き換える。

クエリの種類や、ネットワーク上に配置するエージェントの数などいくつかの条件を変更し、システムが要求に応じて処理フローを適切に構築すること、要求データを生成することを確認し、また処理時間など性能を評価した。

3.1 座標系変換

データ処理の例として、座標系変換行列の処理を試みた。座標系変換行列演算には、4x4 同次座標系行列を扱う積算ならびに逆行列演算のエージェントをそれぞれ複数用意した。また、3x3 回転行列と平行移動ベクトルを統合して 4x4 同次座標系行列に変換するエージェント、ならびに逆に同次座標系行列を 2 つに分解するエージェントを複数用意した。データエージェントとして座標系変換行列データを複数用意した。システムに対して任意の座標系間の座標系変換行列を要求し、性能を確認した。

クエリに対してそれを生成するためのオリジナルデータがデータセットに揃っている場合において、処理エージェントは相互に結合して適切な処理フローを形成し、正解とする座標系変換行列を返した。逆行列や積算が入り組んだ場合でも処理フローは正しく、かつ冗長性なく構築され、処理フロー構築の成功率は 100%であった。また、クエリに対して十分なオリジ

ナルデータが揃っていなかった場合には、システムはデータ取得不能との結果を正しく返した。

3.2 データのフォーマット変換、グラフ描画ならびに CG 描画

手術ナビゲーションならびにロボティック手術において、術前に準備した計画データ、ならびに術中に計測したデータを処理し、手術レポートの生成を試みた。対象とした手術は、椎体アライメント矯正ならびに椎体間固定術における手術ナビゲーションのデータ、および大腿骨転子間骨折整復術におけるロボティック支援手術とした。データは、術前あるいは術中に取得されたもので、X 線 CT 画像、X 線フルオロ撮影画像、術具 CAD データ、光学式位置センサに対する光学マーカの位置姿勢を表す座標系変換行列群、術シーンを撮影した動画、いくつかの術具にかかる力(負荷)であった。術中において、光学マーカは点座標計測スタイラス、患者身体(術野)、術具、手術ロボットなどに取り付けられており、データには、それらの位置姿勢(座標系変換行列)に加えて、スタイラスなどによる臓器表面形状データや臓器のメルクマール位置を計測したデータが含まれる。全てのデータは事前に施行された手術において記録されたデータを用い、試験は後ろ向きで実施された。

結果の例を図 1 に示す。マルチメディア手術レポートの作成を模擬して、術シーンの動画とそれに同期した手術ナビゲーション画面を CG 描画で再現した。複数のシーンに対してクエリを生成し試験したが、システムはレジストレーションなどの複雑な演算も適切に処理し、すべてにおいて同期がとれた CG 画面を描画し結果を返した。処理フロー構築は平均で 2.2 秒であった。しかしながら、動画生成処理ならびにそれに必要なオブジェクト形状データの転送に時間を要した。

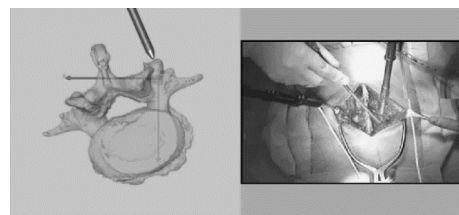


図1 手術ナビゲーション画面生成の例

3.3 データ構造変換

異なる構造を有する電子カルテのフォーマットを 20 例用意し、データ変換を試みた。

電子カルテは XML スキーマで記述され、その階層構造内にデータが埋め込まれた。まず、XML をたどってデータの属性と識別子を生成してデータに付帯し、エージェントを介してデータベースに保存した。すべての電子カルテデータは、正しくデータベースに記録された。属性ならびに識別子に該当しない XML タグは、オプションとして識別子のその他の領域にまとめて記録された。

次に、データ構造を指定して、それに合致したデータを取得できるかを確認した。電子カルテのデータ構造は階層化した XML スキーマで記述され、それぞれのデータ部にどのようなデータを埋め込むかをエージェントに対するクエリとして記述した。データ構造変換エージェントは、クエリとともに構造データを受け取って、データ部に記述されたクエリを具体的なデータに置き換えた。データ置き換えの際、このエージェントはクエリをネットワークに発信し、他のエージェントからの応答によってデータの有無と処理フロー生成の可否を確認しながら処理済みデータを受け取り、要求された構造をもつ電子カルテを生成した。データ変換において、電子カルテ間で種類の

異なるデータを記録している場合もみられたが、システムは前述したデータ種類変換やデータ統合を行い、適切なデータを埋め込んだ。また、データのフォーマットや単位などの属性も適切に処理された。

フォーマット変換など、適切な処理エージェント(変換プロセス)が存在しない場合には、システムはデータが取得できないとの結果を返した。この場合の対処として、該当するフォーマット変換プロセスをエージェントとして追加するだけで、個々のケースに合わせた処理の組み合わせ手順を指定しなくとも、エージェントはフローの適切な箇所に組み込まれて動作し、全ての組み合わせ手順においてフォーマット変換などの処理を適切に行った。

20 例すべてにおいて、電子カルテの相互変換が可能であった。

3.4 データ処理時間

上述したデータ変換など 50 例のクエリからクエリを乱数的に選択し、またネットワーク上に配置するエージェント数を変更して、それに対する処理時間を評価した。結果を図 2 に示す。計算時間は、処理フローを構築するための時間と、エージェント間でデータを転送しながら処理するための時間に分けることができる。エージェント数を n としたとき、処理フローを構築するための時間は $O(n^2)$ かつ $O(n \log(n))$ であった。フロー構築時間は、最終層のデータエージェントにたどり着くまでの階層の深さ(検索再帰数)に依存した。検索再帰数が同じ場合には、エージェント数の増加による影響は見られなかった。

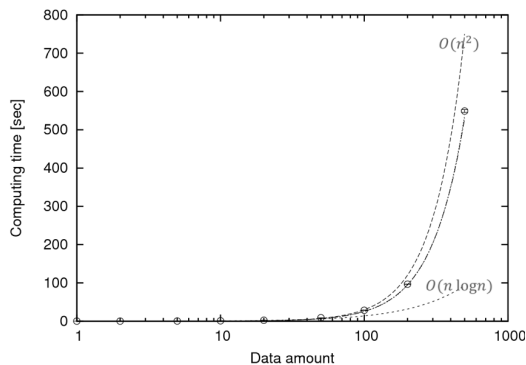


図2 エージェント数に対する処理時間

4. 考察・結語

多種多様なデータの異種システム間のデータ変換とデータ処理の自動化に関する手法を提案した。識別子とその変換手法の提案、ならびにデータ処理への実装を行い、有用性を確認した。

提案した手法は、データ変換処理手順の自動計算を行うため、様々なシステムに適用可能であり、広い汎用性を有した。また、必要なデータをあらかじめ処理して用意しておく方針と比べ、提案手法は中間データを記録することなくその場で生成するため、ディスク容量など記憶リソースを節約できた。一方、提案手法はその都度で処理が発生するため、動画生成など要求データを取得するまでに時間を要するケースがみられた。実用的な運営のためには、データの予測処理や至適なデータキャッシュを行うなど、既存手法とのバランスを考慮しなければならない。

大きなフォーマットを持つ記述形式と比べ、提案した方式はコンパクトである。また、データをまとめず、細かい情報に分割したものを暗号化して保存する。提案手法は、セキュリティ

の面でも有利と考えるが、これについては今後も十分な検討が必要である。

提案手法は医療データの構造や種類の自動変換処理にあり、そのみで医療データを管理し連携させるものではない。HL7 CDA や医療オントロジーなどの記述体系と連携させ、有効なシステムを検討し構築を推し進める必要がある。

参考文献

- 1) R.H. Dolin, L. Alschuler, S. Boyer et al.: HL7 Clinical Document Architecture -Release 2, J Am Med Inform Assoc, 2006, 13(1), 30-39.
- 2) HL7 CDA の概要. 日本 HL7 協会, 2018.
- 3) 櫻木太, 中本将彦, 笹間俊彦, 中島義和, 佐藤嘉伸, 田村進一: 異種3次元データ統合システムの構造記述と誤差解析のためのシステムシミュレータ, 信学論(D-II), 2004, J87-DII, 325-338.

