

“デジタル寺院”：モデルと基盤技術

藤田 茂¹ 樋地 正浩² 滝 雄太郎³ 宮西 洋太郎⁴ 角田 篤泰⁵ 菅原 研次¹ 白鳥 則郎⁶

概要：

本稿では、ヒト、モノ、コトに対応するデジタル識別子 (Digital Identifier: DI) を永続的に管理する仕組みである“デジタル寺院”のモデルを提案し、これを実現するための基盤技術について述べる。IoT, CPSのみならず、多くの場面でのサービスの根幹でDIが利用されている。サービスが継続し、利用者がサービスを利用し続けている間は、DIが管理されているが、サービスが終了あるいは利用者やサービスに紐づいたモノが変わる/消失するとDIが失われ、その関係を追跡することが困難になる。デジタル寺院は、デジタル機器、データ(モノ)に付与された識別子(DI)を始めとして、人(ヒト)の識別子(DI)、事(コト)の識別子(DI)を永続的に保存する。また、デジタル寺院を介して保存された識別子の利用が行われる。デジタル寺院はこれまでの情報システム以上に永続性を担保する必要がある。本稿では、分散環境上にデジタル寺院を構築し、これを維持するためのモデルを提案し、その基盤技術について述べる。

1. はじめに

Internet of Things:IoT や Cyber-Physical System: CPSにより、現実空間のデータや履歴が相互につながりをもって活用されている。一方で、機器故障あるいはデータ喪失によってそのつながりが維持できない場合が生じたり、つながりの維持が困難になる場合がある。我々は、このつながりを維持するための仕組みとして、“デジタル寺院” [1] 構想を発表した。本稿で提案するデジタル寺院は、実世界で補修・改修を加えながら永続的に存在する宗教施設である神社・仏閣を範にした、ヒト、モノ、コトに対応するデジタル識別子 (Digital Identifier: DI) を永続的に管理する総合的な情報システムである。

実世界では、人が亡くなった時にはその人の生前の名前やいつからいつまで生きたかが墓石に残される。墓石を管理する寺と、その建物は、補修・改築・建て替えを繰り返

しながら、檀家の増減はあるものの永続的に存在する。これと同様にデジタル寺院は、永続性の維持に必要な変更を加えながらDIを管理する。

情報処理学会誌でも2018年7月に特集 [2-4] が生まれ、データ利用終了後、サービス終了後、利用者の死亡後のデータやアカウントの取り扱いについて議論が行われている。

本論文では、デジタル寺院を実現するための基盤技術について述べる。デジタル寺院は実世界の実体の変化や関係する他のDIの変化に自律的に対応する必要があるため、これまでに我々の研究グループで開発してきたエージェント技術 [5-12] を発展させ、応用する [13-23]。現在、これらの研究開発から得られた知見をさらに発展させたマルチエージェント技術による分散処理システムとして、設計・開発を進めている。本稿では、“デジタル寺院”のモデルを提案し、デジタル寺院を実現するための基盤技術について述べる。

2. デジタル寺院のモデル

2.1 デジタル寺院の着想

IoTの普及により、実世界(フィジカル空間)をセンサ等で計測し、サイバー空間に収集して大規模データ処理技術や機械学習を駆使して分析を行い、それにより創出された知見や情報を実世界に反映することにより、社会問題の解決をはかるCPSの実現が推進されている。

CPSを実現するためには、実世界を正確に測定したり、デジタル空間で得られた解析結果を精密に実世界に反映したりする高度なセンシング・アクチュエーション技術、収

¹ 千葉工業大学情報科学部
Faculty of Information and Computer Science, Chiba Institute of Technology
² 東北大学大学院経済学研究科
Graduate School of Economics and Management/Faculty of Economics, Tohoku University
³ 千葉工業大学大学院情報科学部
Graduate School of Information and Computer Science, Chiba Institute of Technology
⁴ 株式会社アイエスイーエム
ISEM Inc.
⁵ 中央大学国際情報学部
Faculty of Global Informatics, Chuo University
⁶ 中央大学研究開発機構
Research and Development Initiative, Chuo University

集された多種多様な大量のデータを蓄積するこれまでにない大規模なストレージ技術、多種多様な大量データを高速に解析し、有用な知見や情報を見つけ出す大規模データ解析処理技術、大規模ストレージや大規模データ解析処理の実現を支えるインタークラウド技術といった幅広い技術が必要であり、これらの技術の研究開発が盛んに行われている。CPSにより実世界とデジタル空間が相互に連携した社会では、車や家といった社会全体がデジタル空間とさまざまな接点を持ち、そこで多種多様な社会活動が計測され、計測された大量の多種多様なデータがデジタル空間に収集、蓄積される。このように収集、蓄積された多種多様な大量のデータは、あらゆる分野を網羅し、分野を超えて収集、蓄積されたデータを解析することで得られる解析結果を実世界に反映することで私たちの社会生活を豊かにするとともに少子高齢化といった私たちが抱える社会的な課題を解決し、持続可能な社会を実現することが期待できる。

CPSの実現には、実世界とデジタル世界がつながることで発生するこれまでにない新しい問題を解決する必要もある。その一つが、デジタル・アイデンティティ (Digital Identity : DI) の永続性の問題である。人や組織、デバイス、サービスといった実世界の主体 (エンティティ) をデジタル空間で処理する場合、デジタル空間内で個々の実体に対応付けられた実体の属性情報の集合である DI が必要になる。CPSは、実世界の実体とデジタル空間内の DI が強固につながることで実世界からデジタル空間に実体のデータを収集したり、解析結果に基づきデジタル空間から実世界の実体を制御したりする。そのため、CPSでは、実体と DI のつながりを維持する必要がある一方で、実世界の実体と DI の寿命が異なるため、このつながりを維持することは困難である。

2.2 デジタル寺院のコンセプトとデジタル識別子

(1) デジタル寺院のコンセプト

デジタル寺院のコンセプトを図1に示す。デジタル寺院 [1] における DI は、実世界のさまざまな実体の属性の集合をサイバー空間内で保有する。DI が保有する実世界の実体は、人や組織 (ヒトと総称する)、建物や自動車、ロボット、機械、IoT 機器、書類といった有形物、データやソフトウェア、暗号通貨といったサイバー空間内のみ存在する無形物 (これら有形物と無形物を合わせてモノと総称する) だけではなく、会議や講演、観光といった社会生活における活動 (コトと総称する) と多岐にわたる。これらの実体に少なくとも一つの DI が対応付けられる。

デジタル空間内に存在する実体であっても、デジタル寺院が管理する対象は、それらの実体の DI であり、実体そのもの、すなわちデータやソフトウェア、ではない。このように実体の属性の集合である DI を管理対象とすることで「コト」のような活動も取り扱うことができる。有形物

は、複数の部品から構成されることが一般的であり、この各部品に対応した DI が対応付けられることもある。

例えば、温度、湿度、照度を測定できる IoT 機器は、IoT 機器の DI と温度センサ、湿度センサ、照度センサのそれぞれの DI が存在することになる。この時、IoT 機器の DI と各センサの DI の間に、「構成する」という関係が生じる。また、ある文書 A の中には、他の文書 X やデータ D の参照があることが多いが、この時にはある文書 A の DI から他の文書 X の DI とデータ D の DI の間に「参照する」という関係が生じる。組織は複数の構成員からなり、組織の活動規范文書を持つが、このように異なる構成要素からなる場合でも、同様に DI 間には関係性が存在することがある。この関係性も DI として表現する。この関係性を表現する DI と実体に対応する DI と区別する必要がある場合、関係性に対応する DI を関係 DI、実体に対応する DI を実体 DI と呼ぶことにする。

デジタル寺院は、この DI と DI 間の関係を所有者の委託を受けて保存、管理する。管理期間中に DI や DI 間の関係に変更が生じた際は、その変更を該当する DI や DI 間の関係に反映することで常に実体の変化に追随する。実体が失われた場合、デジタル寺院が管理している DI が削除されることはなく、実体が失われたことを示す情報が付与されるだけである。

現実空間の人とスマートフォンには、それぞれデジタル空間内でそれぞれに対応する DI が付与され、その関係、例えば人がスマートフォンを所有する、が与えられている。後に、この人が死亡するとこの人はもうデジタル空間に関わることがないため、この人に対応する DI も消失する。しかし、スマートフォンは故障しているわけではないので、そのまま放置され、そのスマートフォンに対応するデジタル空間の DI も存在したままになる。数年後、この放置されたスマートフォンが発見され、誰のスマートフォンであったかわからない状況が発生する。このスマートフォンに対応する DI は残っているので、この DI の所有している関係を元に所有者を探すことで誰のスマートフォンであったかが分かることが期待されるが、すでにスマートフォンを所有していた人が死亡し、その DI が消失しているため、結局、所有していた人を特定できない。もし、本提案のデジタル寺院に人とスマートフォンの DI を預け、それぞれの DI が保存されていれば、スマートフォンの DI の所有関係を元にデジタル寺院に預けられた人の DI に到達でき、その DI から誰の所有していたスマートフォンであるかやそのスマートフォンを所有していた人がすでに死亡していることを知ることができる。

(2) デジタル識別子

図2にデジタル識別子の例を示す。ヒトとして識別されるものは、個人と個人の集合である組織、企業、グループである。これは、いわゆる法人格に留まらずヒトの集合も含

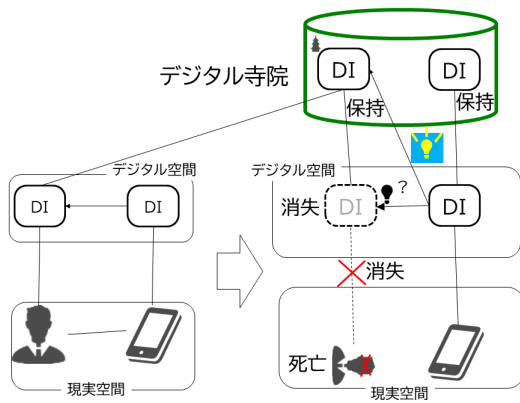


図 1 デジタル寺院のコンセプト

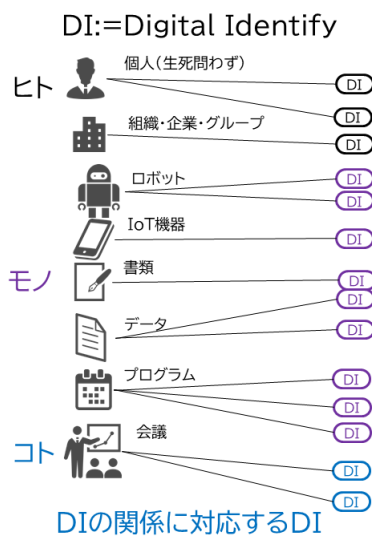


図 2 デジタル識別子

む。モノとして識別されるのは、実体のある現実空間のもの、および、デジタル空間上のデータ、プログラムである。コトは、イベントに対応し、DI の関係に対応する。

2.3 デジタル寺院の基本型モデル

提案するデジタル寺院の基本型モデルを図 3 に示す。デジタル寺院は、デジタル空間内に複数存在できる。デジタル寺院の必要要件を満たした運営管理組織がデジタル寺院を立ち上げ、DI の管理を行う。利用者は、その中から委託して良いと判断した任意のデジタル寺院を選択する。利用者は、選択したデジタル寺院（旦那寺に相当する）に DI の複製を預け、デジタル寺院が DI を管理する。利用者はひとつのデジタル寺院を継続的に利用することを想定している。利用者が複数のデジタル寺院を利用することを排除するものではないが、デジタル寺院維持のためのコスト負担が利用者にかかる。

現実空間にあるヒト、モノ、コトの中で DI がついているものは、デジタル空間上に DI が存在する。現実空間のすべてに DI がついていることを理想としているが、DI の

ついていないものも存在する。現実空間上のヒトには、人と法人が対応する。モノはデータと実体のあるものに対応する。コトはデジタル空間に記録された現実空間のイベントに対応する。ヒト、モノは現実空間から存在なくなることがあり、コトはイベントの終了に伴って存在なくなる。いずれの場合もデジタル寺院に預けられた DI は継続し続ける。

2.4 デジタル寺院のネットワーク型モデル

図 4 に提案するデジタル寺院のネットワーク型モデルを示す。単独の独立したデジタル寺院以外に、複数のデジタル寺院の間で互助のためのネットワークを構成する。利用者から見てデジタル寺院は単独の抽象的な存在である。一方、実装上は、DI の永続的な保存を行うために、デジタル寺院を実行する物理的なサーバ（クラウド、エッジコンピューティング）の破壊や停止から DI を守るために、複数のデジタル寺院でネットワークを構成して、互いの DI を保存する。永続的な DI を目的とするデジタル寺院の利用者の多くは、この形態のデジタル寺院を選択すると想定している。これらのネットワークを構成するデジタル寺院は、図 4 の中で、グループ A およびグループ B として表現されている。

一方で、自身のプライバシーやその他の理由により、ネットワークを構成せず単独のデジタル寺院に DI を保存する利用者を想定した独立デジタル寺院と孤立デジタル寺院もある。独立デジタル寺院は他のデジタル寺院とネットワークを構成せず、単独のデジタル寺院のみで存在する。ただし、独立デジタル寺院であっても DI に関する問い合わせには応答するし、他のデジタル寺院への問い合わせも行うことができる。一方、孤立デジタル寺院は、他のデジタル寺院からの問い合わせを受け付けず、他のデジタル寺院への問い合わせも行わない孤立した存在である。

利用者から問い合わせのあった DI がデジタル寺院の中になかったり、デジタル寺院で管理する DI と参照関係にある DI が自ら管理していない DI であったりした場合、この互助ネットワークを通して他のデジタル寺院にその DI の存在を問い合わせ、必要な DI のデータを取得することができる。

また、何らかの事情でデジタル寺院の運用を停止する場合、この互助ネットワークに接続された他のデジタル寺院との間で DI の譲渡の交渉を行い、合意したデジタル寺院に管理している DI を譲渡することができる。このように互助のためのネットワークに参加することはデジタル寺院の利便性や永続性を確保する上で重要になる。独立デジタル寺院、孤立デジタル寺院にあっては、従来の情報処理システムのように、バックアップによって永続性を担保することになる。

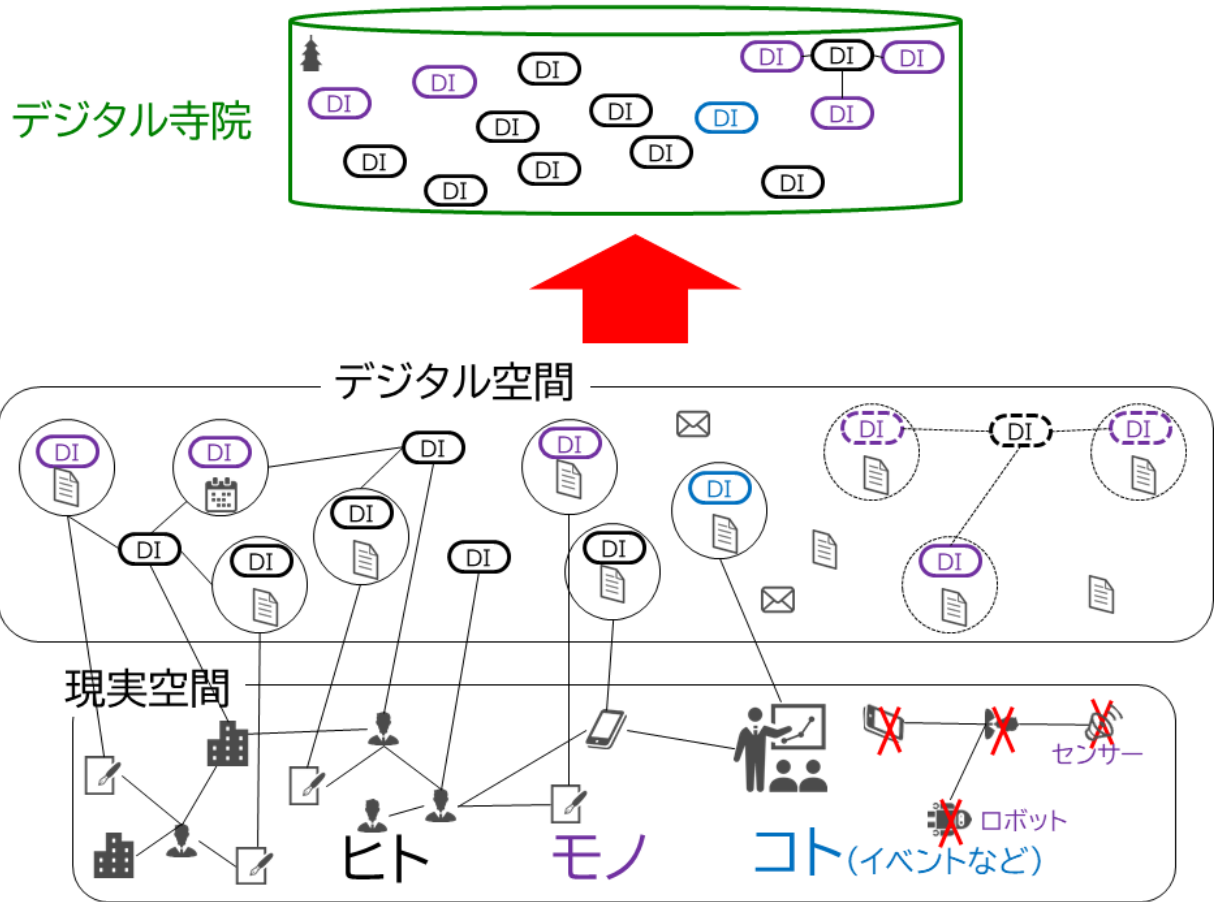


図 3 デジタル寺院の基本型モデル

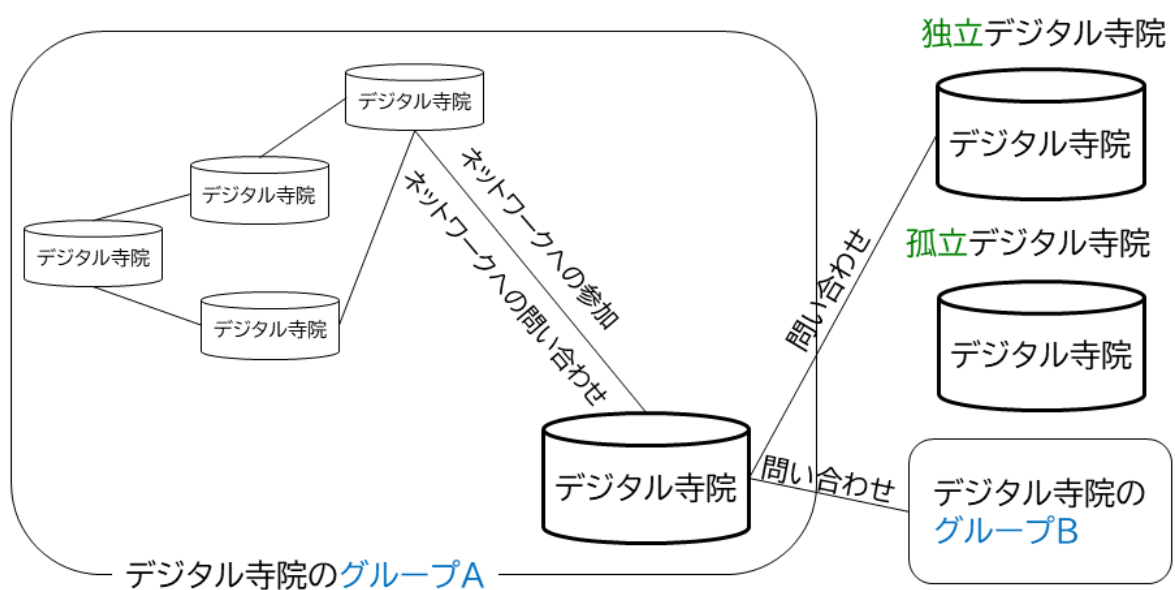


図 4 デジタル寺院のネットワーク型モデル

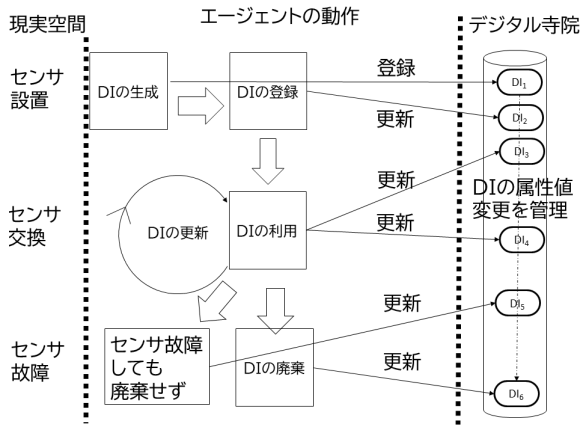


図 5 DI のライフサイクル (センサの例)

2.5 DI のライフサイクル

図 5 に DI のライフサイクル (センサの例) を示す。DI は、実体をサイバースペースと対応付ける必要が生じた時点でデジタル空間に生成される。センサであれば、ある対象を計測するために設置された時点で計測したデータをデジタル空間に送る必要が生じるので、設置時に DI が生成される。自動車やロボットであれば、製造され、利用者が利用を開始した時点で DI が生成されるし、データであればデータがデジタル空間に入力され、保存される時点で DI が生成される。

通常 DI は、生成された時点でデジタル寺院に登録される。実世界の実体の状態が変化した場合、その変化は DI にも反映されると同時にデジタル寺院で管理する DI にも反映される。実世界の実体の状態の変化はさまざまである。例えば、機器が故障し、新しい機器に交換した場合、DI の識別子自身は変更されず、その属性の中に機器の交換があったことを記録する。これにより、実世界の実体である機器に対するアクセスを保持する。実体の存在が失われた場合、失われたことを示すデータが該当する DI とデジタル寺院に預けた DI の両方に設定される。実体の存在が失われた場合、利用者により実体に対応する DI が削除されることがある。利用者が実体とともにそれに対応する DI を削除してもデジタル寺院に管理されている DI は削除されない。これにより、DI を永続的に管理する。

3. デジタル寺院のシステムアーキテクチャ

本章では、2 章で述べたデジタル寺院を実現するアーキテクチャ (デジタル寺院アーキテクチャ) を概説する。デジタル寺院では、DI が登録保守管理されているが、これを人手で管理するのは、あまりにも煩雑であり現実的でない。現実空間での DI の変遷を自動的に把握し、また現実空間にのみ存在しデジタル空間には存在しない物体と DI をもつヒト、モノ、コトの関係を自動的に取得する必要がある。このため、現実空間とデジタル空間の双方の関係を把握するエージェント空間を導入したアーキテクチャとし

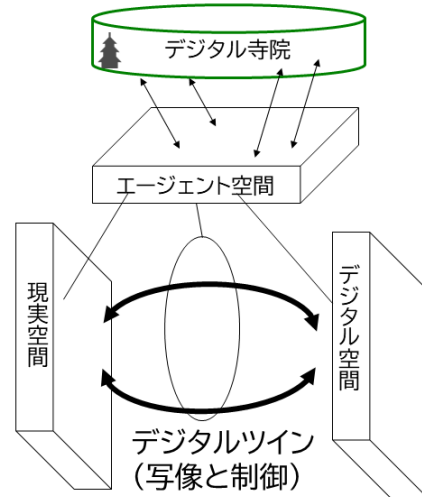


図 6 デジタル寺院アーキテクチャ

ている (図 6)。

エージェント空間内部では、DI に対応するエージェントと、DI を持たない要素 (ヒト、モノ、コト) に対応するエージェントが相互作用をし、マルチエージェントシステムとして振る舞う。このエージェント空間の活動は、理想的には現実空間とデジタル空間の活動に一対一に対応する。この結果、利用者が明示的にデジタル寺院へ DI の登録や更新を指示せずとも、DI が自動的にデジタル寺院上で管理されることになる。

エージェント空間の概念は、Digital Twin of an Organization: DTO, デジタルツインとして提唱されている概念に似ているが、デジタル空間内に仮想的に構成されたモデルに留まらず、現実空間の観測に基づいて、デジタル空間と現実空間の現象を再現するべくマルチエージェントシステムとして振る舞う点が異なる。

デジタル寺院も、実体としては計算機の上で稼働するプログラムであり、モノである。しかしながら、利用者から見ると、永続的に存在し続ける仮想的なモノである。また、計算機の故障やネットワーク変更、ネットワークの途絶に対して耐性があることが必要あり、高可用性が求められる。現在用いられている、クラスタリング技術あるいは、ホットスタンバイ技術は、商用サービスとして実用的な水準にあるが、その維持管理には多大なコストが必要である。また、商用サービスを提供する組織の永続性が必要となる。このため、“デジタル寺院”を実現するためには、デジタル寺院の維持管理に能動的に参加する利用者の集団によって、分散処理システムの集合として動作する枠組みが必要である。

図 7 に、エージェント空間とデジタル寺院の関係を示す。エージェント空間には、デジタル空間と現実空間に存在する、ヒト、モノ、コトに対応するエージェントが存在し、現実空間、デジタル空間の DI をモニタする。これは、図 7 の左側に相当する。

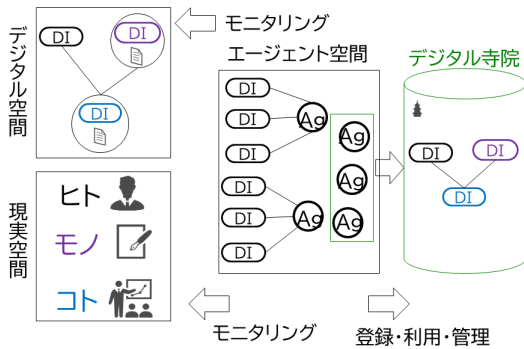


図 7 エージェント空間とデジタル寺院の関係

一方、デジタル寺院もそれ自体はデジタル空間に存在するが、概念としては、エージェント空間の上位に存在し、DIの登録・利用・管理を担う。このデジタル寺院の可用性を実現するために、マルチエージェントシステムによる分散処理システムとして、個々のデジタル寺院を構成する。これは、図7の右側に相当する。

4. デジタル寺院実現へむけた基盤技術

4.1 準備研究

我々は、IoT時代のコンピューティング・アーキテクチャとして、エージェントに基づくFLEX (Flexible Edge Computing) アーキテクチャを提案している [24, 25]。FLEX アーキテクチャは、IoTデバイスからのデータの収集、処理に関わるIoTデバイス、IoTゲートウェイ、データ収集ネットワーク、データベース、アプリケーションとさまざまな要素をエージェントとしてモデル化したマルチエージェントシステムとともに、それらをデバイス、エッジ、クラウドの三階層で整理したアーキテクチャである

本論文では、このFLEX アーキテクチャを拡張する形でデジタル寺院のアーキテクチャを設計する。まず、デジタル寺院が対象とするDIは、個々のDIを区別する識別子(DIID)と実体の属性を保持する属性(DIATTR), 属性やDIを操作するメソッド(DIMT)を持つエージェント(DIエージェントと総称する)として表現する。FLEX アーキテクチャでは、センサや利用者といった実世界の実体をセンサエージェントや利用者エージェントとして表現したが、このセンサエージェントや利用者エージェントがDIに相当する。すなわち、センサエージェントとセンサDIエージェント、利用者エージェントと利用者DIエージェントは同じエージェントになる。一方、FLEX アーキテクチャでは、サイバースペース内の実体であるデータベースやアプリケーションをデータベースエージェントやアプリケーションエージェントとして表現していたが、本アーキテクチャではデータベースやアプリケーションの実体ではなくそれらに対応するDIをそれぞれデータベースDIエージェ

ント、アプリケーションDIエージェントとして表現する。さらにこれらのDIエージェントを管理するデジタル寺院を実現する機能を追加する。

4.2 フレームワークの構成

分散処理システムのエージェント指向アーキテクチャ [12] によって、利用者要求に基づいて分散処理システムを構成できること、計算機環境やネットワーク帯域の変化に対応してパラメータ調整やシステム再構成が自律的に行えること、これら二つにより可用性を実現できることを示した。

文献 [12] では、マルチエージェントシステムのリポジトリ、ワークスペース、開発環境がそれぞれ個別に実装され、これ自体は通常の情報システムであった。その後の設計開発の知見を得て、“デジタル寺院”では、さらに高い可用性を実現する必要がある。

例えばデジタル寺院を使うヒト、モノ、コトに対応するエージェントは、停電時やネットワーク途絶時にも、DIの履歴を保存し、復電後、ネットワーク復旧後には、DIの履歴をデジタル寺院へ保存することが要求される。

以下の節でデジタル寺院設計の概略を述べる。更に詳細については、文献 [26] で発表予定である。

4.3 プラットフォームの開発

文献 [18] では、可用性の高いネットワークについて述べられている。デジタル寺院では、このネバーダイネットワークの概念の上に更に、自律的に環境(ネットワーク、計算機環境、周囲の環境、利用者の状況、デジタル寺院)を調査し適切な動作を行えるマルチエージェントシステムのプラットフォームを構成する。

ネバーダイネットワークが、災害時にも通信を自律的に維持する仕組みであるのに対して、デジタル寺院プラットフォームは、通信のみならず、デジタル寺院を構成する情報システムを自律的に、計算機とネットワークの上に構成する。

4.4 分散管理システム

デジタル寺院は、集中管理を想定していない。孤立デジタル寺院、独立デジタル寺院、ネットワーク型デジタル寺院は、それぞれ独自の管理方針に従って、利用者との合意に基づいて運営されることを想定している。

このため、デジタル寺院全体を制御することは意図的に不可能に設計している。例えば、Domain Name System:DNSのように特定の権威サーバ群の存在を仮定していない。

デジタル寺院を運営する利用者の集団は、デジタル寺院の運営方針に合意し、利用者の資源(計算資源、ネットワーク資源、電力、等)を、自身がDIを保存するデジタル寺院へ提供する。デジタル寺院を構成するマルチエージェントシステムは、これらの資源を使って、自律的にデジタル

寺院を構成する。また、ネットワーク型のデジタル寺院を構成するマルチエージェントシステムは、ネットワーク内の他のデジタル寺院と資源を融通することで、環境変化への対応を実現する。

4.5 マルチエージェントシステム

自律的なソフトウェアプログラムの集合を用いて、課題解決を行うシステムとして、マルチエージェントシステムが存在する。シミュレーションによる問題解決や、実システムの構築にも利用されている。デジタル寺院の実装にあたって、高い可用性を実現するために、4章～4.4節で上げた解決する枠組みとして、マルチエージェントシステムによる設計を行う。

図7で示したように、デジタル寺院を構成するエージェントと、現実空間、デジタル空間に対応するエージェントが存在し、それぞれのエージェントの集団がエージェント空間を構成する。

マルチエージェントシステムの動作を規定するのは、それぞれのエージェントのポリシーである。また、マルチエージェントシステムが相互に通信できるのは、マルチエージェントシステムの協調プロトコルが定められているためである。これらマルチエージェントシステム自体のポリシー変更、協調プロトコルの変更もマルチエージェントシステムを停止することなく実行可能な形で設計する。

4.6 応用技術

4章～4.5節で上げた技術の他に、デジタル寺院の実装のために、以下の項目について、既存技術を導入し実装時に用いることを想定している。

- (1) 問い合わせ言語と API
- (2) タイムスタンプ
- (3) 秘密分散・秘密計算
- (4) ブロックチェーン技術
- (5) 認証・セキュリティ

4.7 デジタル寺院の利用シナリオ例

デジタル寺院が、ヒトとモノのDIを保存し、モノからヒトのDIを参照可能にすることを、図1で示した。この他に現実空間での出来事(コト)を保存する例を示す。ヒト(A)とヒト(B)がある時刻(t)にある場所(p)で会ったというコトは、エージェント空間に存在するコトエージェント(AG_e)によって記録され、DIを付与されてデジタル寺院に保存される。

この時、ヒト(A, B)はコトをデジタル寺院に登録することを、希望しており、その処理をヒト自身に対応するエージェント(AG_a, AG_b)に委任している。

AG_a, AG_b はそれぞれ相手の DI_a, DI_b を受け取り、ある時刻(t)にある場所(p)であったコト(e)をデジタル寺院

に、 DI_{ei} として記録する。ここで、 i は、DIの識別子を示す一意なIDである。

ここで示されたシナリオは、ヒトはエージェントの動作に指示を行わず、エージェントの自律的な動作によって、必要なデータがデジタル寺院へ保存されることを示している。

デジタル寺院を利用するにあたって、利用者が特別な技能を身につけたり、特定の操作を行うことが要求されないように、利用者のDI利用に関する方針に従って動作するエージェントが、利用者一人一人に対応する。利用者は同意できる方針を持つデジタル寺院に登録をし、求められる資源の提供負担を受け入れることを想定している。

5. おわりに

IoT, CPSのみならず、情報システムが社会のインフラとなった現代において、ヒト、モノ、コトを情報システムが識別するデジタル識別子(DI)の関係の追跡可能性を担保することは、情報システムに対する社会からの信頼を維持するに留まらず、社会そのものをより安心、安全なものとするに繋がる。

本稿では、従来にないデジタル寺院のモデルを提案し、その基盤技術の構築について述べた。現在、提案モデルと基盤技術に基づいて、デジタル寺院の設計と開発を進めている。

参考文献

- [1] 角田篤泰, 山澤昌夫, 五太子政史, 白鳥則郎: デジタル・アイデンティティの危殆化に抗う「デジタル寺院」構想, 第32回全国大会研究報告書, 日本セキュリティマネジメント学会, pp. 1-6 (2018年6月).
- [2] 瓜生大輔: 弔いと技術革新: 0. 編集にあたって, 情報処理, Vol. 59, No. 7, pp. 600-601 (2018年7月).
- [3] 瓜生大輔: 弔いと技術革新: 1. 弔いと技術革新にかかわる研究トピック, 情報処理, Vol. 59, No. 7, pp. 602-605 (2018年7月).
- [4] 折田明子: 弔いと技術革新: 2. 死後のデータとプライバシー, 情報処理, Vol. 59, No. 7, pp. 606-609 (2018年7月).
- [5] Maemura, T., Fujita, S. and Kinoshita, T.: Flexible Distributed System for Symbiotic Computing, *IEEE-ICCI2009*, pp. 141-144 (2009).
- [6] 白鳥則郎, 木下哲男, 菅沼拓夫, 菅原研次, 藤田 茂: 次世代ネットワークソフトウェアの構築に向けて, 電子情報通信学会論文誌B, Vol. 82, No. 5, pp. 694-701 (1999).
- [7] 菅沼拓夫, 藤田 茂, 菅原研次, 木下哲男, 白鳥則郎: マルチエージェントに基づくやわらかいビデオ会議システムの設計と実装, 情報処理学会論文誌, Vol. 38, No. 6, pp. 1214-1224 (1998).
- [8] 原 英樹, 藤田 茂, 菅原研次, 木下哲男, 白鳥則郎: ADIPS フレームワークのための知識記述支援ツール, 情報処理学会論文誌, Vol. 36, No. 11, pp. 3142-3144 (1998).
- [9] 藤田 茂, 原 英樹, 菅原研次, 木下哲男, 白鳥則郎: エージェント指向分散処理システム ADIPSのための組織構成エージェントの領域知識記述形式, 情報処理学会論文誌, Vol. 39, No. 2, pp. 188-198 (1998).

- [10] Fujita, S., Sugawara, K., Kinoshita, T. and Shiratori, N.: Agent-based Design Model of Adaptive Distributed Systems, *Applied Intelligence*, Vol. 9, No. 1, pp. 55–68 (1998).
- [11] Fujita, S., Sugawara, K., Kinoshita, T., Shiratori, N.: An Approach To Developing Human-Agent Symbiotic Space, *JCKBSE'96* (1996).
- [12] 藤田 茂, 菅原研次, 木下哲男, 白鳥則郎: 分散処理システムのエージェント指向アーキテクチャ, *情報処理学会論文誌*, Vol. 36, No. 5, pp. 840–853 (1996).
- [13] Gidel, T., Fujita, S., Moulin, C., Sugawara, K., Suganuma, T., Kaeri, Y. and Shiratori, N.: Enforcing Methodological Rules During Collaborative Brainstorming to Enhance Results, *IEEE CSCWD* (2018).
- [14] Shibata, Y., Uchida, N. and Shiratori, N.: Analysis and Proposal of Disaster Information Network from Experience of the Great East Japan Earthquake, *IEEE Communications Magazine*, pp. 44–48 (2014).
- [15] Moulin, C., Sugawara, K., Kaeri, Y., Fujita, S. and Abel, M.-H.: Collaborative Brainstorming Activity Results and Information Systems, *OTM Confederated International Conferences On the Move to Meaningful Internet Systems*, pp. 399–407 (2014).
- [16] Manabe, Y., Fujita, S., Konno, S., Hara, H. and Sugawara, K.: Low-level Cognitive Process Model for Symbol Grounding in Context-Aware System, *IEEE ICCI-CC'11*, pp. 247–253 (2011).
- [17] Sugawara, K., Manabe, Y., Fujita, S. and Yaala, S. B.: Interaction Zone between an office worker, *IEEE CSCWD*, pp. 862–866 (2011).
- [18] 白鳥則郎, 稲葉 勉, 中村直毅, 菅沼拓夫: 災害に強いグリーン指向ネバーダイ・ネットワーク, *情報処理学会論文誌*, Vol. 53, No. 7, pp. 1821–1831 (2012).
- [19] Fujita, S., Sugawara, K., Moulin, C. and Bartes, J. P.: The design of awareness and operation module for the symbiotic applications, *9th IEEE International Conference on Cognitive Informatics (ICCI)*, pp. 625–630 (2010).
- [20] Utsunomiya, H. and Fujita, S.: Moving Object Detection by a Ghost Cancel Method on Indoor Images, *IEEE 2010 International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications*, pp. 800–805 (2010).
- [21] Manabe, Y., Fujita, S., Konno, S., Hara, H. and Sugawara, K.: A concept of context-aware computing based on symbol grounding perspective, *2nd International Symposium on Aware Computing*, pp. 86–91 (2010).
- [22] Yamashita, M., Utsunomiya, H. and Fujita, S.: User Awareness Detection in the Room with Multiple Sensor Device, *13th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS)*, pp. 420–423 (2010).
- [23] Koutero, A., Fujita, S. and Sugawara, K.: Design of an Assisting Agent Using a Dynamic Ontology, *IEEE/ACIS 9th International Conference on Computer and Information Science (ICIS)*, pp. 611–616 (2010).
- [24] Suganuma, T., Oide, T., Kitagami, S., Sugawara, K. and Shiratori, N.: Multiagent-Based Flexible Edge Computing Architecture for IoT, *IEEE Network*, pp. 16–23 (2018).
- [25] Ogino, T., Kitagami, S., Suganuma, T. and Shiratori, N.: A Multi-agent Based Flexible IoT Edge Computing Architecture Harmonizing Its Control with Cloud Computing, *International Journal of Networking and Computing*, Vol. 8, No. 2, pp. 218–239 (2018).
- [26] 藤田 茂, 樋地正浩, 滝雄太郎, 宮西洋太郎, 角田篤泰,

菅原研次, 白鳥則郎: “デジタル寺院”: 設計と開発へ向けて, *情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会* (2019年9月(発表予定)).