

インフォメーション工学の提案 (ビッグデータとアクチュエータの融合)

矢野 智昭*1, 大岡 昌博*2

Proposal of the information technology (Fusion of the big data and actuators)

Tomoaki YANO*1, and Masahiro OHKA*2

Recently, almost everything is connected to the cloud network, where a lot of sensors are connected to the network and anybody can get the sensor data at anywhere. The cloud-sensor network is expected to expand the human sense into all over the world. Therefore, the cloud-sensor network research is one of the coolest topics nowadays. However, for controlling everything connected to the internet, the actuators should be connected to the internet to realize motion control of the network (cloud-actuator network), while there is no research about the cloud-actuator network. In this paper, we introduce a concept of “informotion”, which is a coined word of information and motion, and deals with the cloud-actuator system. The outline of the informotion technology is proposed; fundamental technologies required for the informotion technology are described; its advantages and problems are also discussed.

Keywords: Informotion, Big Data, Actuator, Network, New Technology

1. はじめに

近年、ネットワークの高速化、データ処理速度の向上、および人工知能研究の急速な進歩により、あらゆるものをネットワークに接続することが可能になりつつある。

計算機だけではなく家電製品をはじめとする“もの”をインターネットに接続するIoT (Internet of Things) という言葉が使用されるようになった。IoTは、情報だけでなく、あらゆる“もの”がネットワークで接続され、クラウド上のビッグデータにアクセスできる状況を指す。

以前はネットワークに接続されずに単独で使用されていた洗濯機、エアコン、冷蔵庫、カメラ、その他多くのスタンドアロン機器のセンサをネットワークに接続することにより、誰でも世界中のセンサにアクセスすることが可能になり、人間の感覚を地球規模に拡大できる。地球上のあらゆる人間があらゆるセンサデータにアクセスできる状況が想定され、そのような状況に於けるセンサ

データ活用の方法、ルール作成、問題点が指摘されている⁽¹⁾。これらの状況は、カンブリア紀に海の透明化が生物の進化爆発を引き起こした事象に倣い、「情報の透明化がもたらす人類の進化爆発」と言われる⁽²⁾。

一方、クラウド上に蓄積された膨大なデータの処理により未来に起きる事象の確率を正確に予測する方法論が急速に確立され、その精度は日々向上している⁽³⁾。

人工知能の研究が急速に進み、1年前の論文が古典になる状況が生まれている。ベイズ理論とビッグデータ処理による未来予知技術が教師なし学習技法であるディープラーニングと結びつき、もはやコンピュータの判断が専門家の判断を凌ぐようになってきている⁽⁴⁾。

世界中の誰もが瞬時に最新情報にアクセスできるため、以下に示す分野で研究が急速に進歩している。

(1) 医療分野

iPS細胞の実用化が急速に進んでいる。バイオセン

原稿受付 2015年5月8日

*1 近畿大学 次世代基盤技術研究所 特任教授 (〒739-2116 東広島市高屋うめの辺1番)

E-mail t.yano@hiro.kindai.ac.jp

*2 名古屋大学 大学情報科学研究科 教授 (〒464-4861 名古屋市千種区不老町)

E-mail ohka@is.nagoya-u.ac.jp

連絡先: 矢野智昭 (研究代表者)

ブラをはじめとする人工臓器の研究が進歩している⁽⁵⁾。

遺伝子解析、ビッグデータ解析と相まって病気の誤診防止、発症予測、余命予測が可能になりつつある。

(2) ロボット分野

ロボット研究が産業界やロボット革命実現会議設置に見られるような国家予算措置を受け、人工知能の急速な進歩と相まって、ライフサポートシステムをはじめとする実用ロボットの開発が一気に進捗している⁽⁶⁾。

DARPA ロボティクスチャレンジ⁽⁷⁾をはじめとするロボット競技会が開催され、ソフトロボティクス、タフロボティクス⁽⁸⁾、ドローンや携帯端末の機能を備えた家庭用ロボットの実用化が同時並列的に進んでいる。

(3) 自動車・交通

自動運転車は安全性向上のみならず、事故率減少により自動車保険料をはじめとする社会的コストを下げる。さらに、物流コストも大幅に削減できるなど、自動車社会の構造を変革する技術革新が進んでいる。

(4) 製造技術

3D プリンタを中核とするアディティブマニュファクチャリングが急速に家庭に浸透している。ユーザがデータだけを受け取って自分でプリントするようになれば、物流が情報流に置き換えられ、流通コストが大幅に削減できる。金属材料の3Dプリンタのプロジェクトが走り⁽⁹⁾、次のステージとして生体プリンティングも考えられている。

(5) 経済学

ビッグデータ解析により消費者をはじめとする人間個々人の行動予測が可能になり、在庫管理や販促の個別効果的運用などに応用されている。

(6) 計算機

量子もつれを利用して同時並行処理を行う量子コンピュータ⁽¹⁰⁾や、ニューロンを模倣し、メモリと演算の機能を兼ね備えた素子を活用したメタコンピュータの研究が進展している⁽¹¹⁾。

(7) 宇宙

宇宙開発競争が一段と活発になっている。宇宙ステーションをはじめ、ローバーなどの宇宙関連機器の操作が高度化するに従い、アクチュエータの研究開発が必須となってきた⁽¹²⁾。

(8) インフラメンテナンス

日本の土木予算の半分以上が既存のインフラ保守整備費用に充てられるようになった。「造るから守る」の時代になり、インフラの効率的検査方法が課題になっている。センサネットワークにおける情報処理技術の開発が進んでいる。

(9) 教育

ビッグデータ解析による個別教育および能力評価プログラム最適化の研究が進んでいる。

以上、IoTをベースとした科学技術の爆発的進歩の例を挙げた。IoT実現には、センサだけでなく、アクチュエータをネットワークに接続することが必須である。ものを動かし操るアクチュエータ（モータ）は、ロボット、医療機器、交通システムなどあらゆる機器に使用されているにもかかわらず、アクチュエータをネットワークに接続し、クラウド情報処理と一体化する技術は今のところ明確に語られていない。

本論文では、情報網とアクチュエータ網が一体化したシステムを（Informotion= Information + Motion）インフォモーションと命名し、その活用方法、ルール作成、および問題点について研究する「インフォモーション工学」の構想について述べる。

2. インフォモーション工学

2.1 インフォモーションシステムのモデル

インフォモーション工学は、情報網とアクチュエータ網が一体化したシステムを取り扱う。本節では、インフォモーションシステムのモデル作成戦略の概要を述べる。

多数のセンサおよびアクチュエータがネットワークに繋がり、システムとして協調動作する状況は、ヒトの生体活動に類似している。ヒトは、数百万個の受容器（センサ）と約千個の筋肉（アクチュエータ）からなる非線形大規模システムで複雑系を構成し、環境を知覚・作用し順応している。長い進化の過程で生体は、複雑なセンサ・アクチュエータネットワークとして進化を遂げた。

ヒトを含め、生体はセンシングと駆動の同時並列処理を行い、環境にうまく適合している。インフォモーションシステムのモデル構築にあたっては、はじめにヒトが有しているセンシングと駆動の同時並列処理および環境とのインタラクションのしくみ（以下、統御能）を分析し、モデル化する。

個々のセンサおよびアクチュエータは、すでにヒトの受容器や筋肉を超える性能を有するものが開発されている。これらのセンサ/アクチュエータ群でネットワークを構成してヒトの統御能を模倣することにより、ヒトを超えるセンサ・アクチュエータネットワークを実現する。

2.2 インフォモーション工学が融合する学問領域

本節では、インフォモーションシステムにおける統御能の分析および模倣に必要な学問領域について考察する。統御能の実現には、複雑系科学、人工知能、計算科学、生体工学、機械システム工学、ビッグデータを融合し、センサ・アクチュエータの巨大システムを扱う学問領域が必要である。生体のセンサ情報処理および群制御に関

連して以下の学問領域がある。

確率共鳴 ノイズを加えると感覚閾が低下する現象。ノイズは本来忌み嫌われるものであるが、その有効活用法の研究事例は国内外で多数に上る。センサ・アクチュエータシステムに絞ると、たとえば人の歩行や立位のバランスは、足裏に振動ノイズを加えると改善すると報告されている⁽¹³⁾。また、ジャグリングのスキルが向上する報告もある。

ハーネス 複雑系現象を制御する手段。羊の集団を目的地に追い込むように、決定論的に未来が予測できない複雑系に適切な境界条件を設定して所定の目的を達成するように仕向ける数理的方法。自然系のハーネスについては、国内外において農業生態系の保全（農薬を使用せずに害虫や雑草を管理する）で実用化されており⁽¹⁴⁾、欧米におけるガンの免疫治療で応用され成果を挙げている。しかし、ハーネスの工学的応用は例がなく、数理的な基盤も未だ整備されていない。

生体を手本とした生体運動／知覚・情報処理に関連する以下の学問領域がある。

受動意識仮説 生体ではセンサ、情報伝達、アクチュエータの区別なく同時並列処理が行われ、脳指令到達より先に指が動く⁽¹⁵⁾。意識は動作の結果発現するとする仮説で、検証が待たれている⁽¹⁶⁾。

自己組織化 外部からの直接的拘束がない状況で自然に規則性を獲得することであり、生体の自己組織化・再生機能解明に有効な複雑系科学の核心部分である。

また、ロボット工学および人工知能の分野において、人間やロボットの知能は環境との相互作用により生じるとする移動知⁽¹⁷⁾や記号創発システム⁽¹⁸⁾の研究領域がある。これらの研究にはセンサ・アクチュエータシステムが必須であるが、知能発生メカニズムの解明に研究の重点が置かれている。

ビッグデータ情報処理に関連して、ディープラーニング(DL)⁽¹⁹⁾、ビッグデータ解析(BD)、クラウド計算(CC)、サイバーフィジカルシステム(CPS)⁽²⁰⁾、センサネットワーク(SN)などを扱う環境が急速に整備され、Googleをはじめとする様々な組織がクラウド環境を取り込む新ビジネスに取り組み始めている。

ロボット技術ミドルウェア言語 ROS(an open-source Robot Operating System, Willow Garage Corporation)は、インフォモーションネットワーク情報処理ミドルウェアの基本構造構築のヒントになる。ROSは、多様な機能を有する多数のソフトウェア一つ一つをノードとして同時実行しノード間でお互いにデータをやり取りする；各ノードが独立しているため、ソフトウェアの再利用性が高い；複数の言語をサポートするミドルウェアであり

各ノードに最適な言語でプログラムを作成することができる；コードジェネレータの改良によりあらゆる言語に対応可能で、ノード可視化ツールにより多様なセンサの値や計算結果をリアルタイムに可視化でき、座標変換を簡単に行えるツールがある；という特長を有している。

インフォモーション工学を担う要素技術の研究領域としてアクチュエータ工学がある。アクチュエータ工学では空気圧から機能性流体に至るまで多様な駆動原理のアクチュエータが研究されてきているが、これらの研究に加えてインフォモーションシステム構築に適した、ドライブ一体型アクチュエータ、情報処理一体型アクチュエータの研究が必要である。

インフォモーション工学は、以上の学問分野の研究成果を取り込み、ヒトの統御能のしくみを参考にして、環境と相互作用するセンサアクチュエータネットワークシステムの構築と管理理論を確立する学問領域である。

2.3 インフォモーション工学の実学への展開

インフォモーション工学は、センサ群とアクチュエータ群からなる巨大情報動作ネットワークの統御能を扱う学問体系を確立し、ハーネスおよび受動意識仮説によりセンサ・アクチュエータ群の情報処理・駆動同時並列処理手法を開発し、さらに確率共鳴、自己組織化、移動知、記号創発システムにより、フレーム問題を解決した人に優しい創発システムを実現する。

センサとビッグデータの融合だけでも、ヒトの感覚を拡張し生活を豊かにする技術革新が起こる。センサ・アクチュエータネットワークで能動的に実世界を動かすフェーズはヒトの感覚だけでなく作用空間を無限に拡張する。

自動車の自動運転は、インフォモーション工学の実学への展開が期待される分野である。インフォモーション工学では、ネットに接続された自動車群および市街地のセンサ群とアクチュエータ群から成る複雑系を統御能によりコントロールし、その効率的な運用を実現する。

医療福祉分野では、インフォモーションシステムにより多数のセンサ・アクチュエータをビッグデータに接続することにより、患者の容態に応じて自発的に機能を変化して患者に快適な環境を提供する患者見守りシステムを実現できる。この患者見守りシステムは患者の行動範囲を安全に広げ、長期療養で問題となる褥瘡や手足の回復訓練などに必要とされる人的負担を軽減する。データ処理をスマートフォンやタブレットなどの携帯情報端末で行えば、在宅医療への適用が可能になる。

以上の例で示したように、孤立して存在する情報端末・センサ・アクチュエータが生体を模倣し超越する知的情報処理技術・統御能で有機的に繋がることにより、より人に優しく、状況に応じて自発的に対応し、自身が進化

していくようなインフォメーションシステムの構築が可能になる。インフォメーションシステム自身も、自発的に、より巨大なシステムへと進化統合されていく。

2.4 インフォメーション工学の光と影

インフォメーションシステムが普及すると世界中のありとあらゆるアクチュエータのコントロールを世界中の誰もが単独もしくは協調して行えるようになり、ヒトの知覚および環境作用能力が大幅に拡大される。

一方、センサネットワークにおいて活発に議論が行われているプライバシー保護と情報のオープン化のトレードオフ、さらにシンギュラリティーの問題に加えて、アクチュエータネットワークにおいては、多数が同時に同じアクチュエータにアクセスした時の優先順位の決定方法もしくは協調動作の決定理論確立が必要になる。

3. まとめ

センサだけでなくアクチュエータもネットワーク化し、クラウド情報処理と一体化するインフォメーション工学のスキームを提唱し、融合すべき学問領域、実学への展開例、および利点と問題点を述べた。

インフォメーション工学は提唱したばかりである。今後、インフォメーション工学のスキーム構築を含めたアクチュエータシステムのあり方を討議する目的で、日本機械学会先端アクチュエータ・システムの設計と応用に関する研究分科会（2015年4月-2018年3月、委員長大岡昌博；幹事矢野智昭）を立ち上げた。

一人でも多くの関連研究者が本分科会に参加して議論していただけることを希望する。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費基盤研究(A) 24246032 “多面体幾何学にもとづく球面駆動システムの研究”の助成を受けて行った。ここに謝意を表す。

参考文献

- (1) Dublon G. and Paradiso J. A., “センサー網が実現する ESP(Extra Sensory Perception)”, *日経サイエンス(Scientific American 日本版)*, Vol.44, No.10, (2014), pp.30-36
- (2) Dennet D.C. and Roy D., (日経サイエンス編集部訳) “透明化が社会に強いる変化”, *日経サイエンス(Scientific American 日本版)*, (2015), pp.92-97
- (3) Siegel E. (矢羽野薫訳), “ヤバイ予測学”, *阪急コミュニケーションズ*, (2013)
- (4) Aynes I. (山形浩生訳), “その数学が戦略を決める”, *文春文庫*, (2010)
- (5) 文科省新学術領域「超高速バイオアセンブラ」HP, <http://bio-asm.jp/> (2015.5.8 現在)
- (6) 重介護ゼロ社会を実現する革新的サイバニックシステム, ImPACT HP, <http://www.jst.go.jp/impact/program05.html>, 2015 (2015.5.8 現在)
- (7) DARPA ROBOTICS CHALLENGE HP, <http://www.theroboticschallenge.org/>, 2015 (2015.5.8 現在)
- (8) タフ・ロボティクス・チャレンジ, ImPACT HP, <http://www.jst.go.jp/impact/program07.html>, 2015 (2015.5.8 現在)
- (9) 京極秀樹, “金属 3D プリンタの開発動向と今後の展開”, *近畿大学次世代基盤技術研究所報告*, Vol. 5, (2014), pp.139-143
- (10) 宮野健次郎, 古沢明, “量子コンピュータ入門”, *日本評論社*, (2008)
- (11) M.D.Ventra, and Y.U.Pershin (長尾武彦訳協力) “姿現すメモコンピュータ”, *日経サイエンス(Scientific American 日本版)*, Vol.45, No.6, (2015), pp.70-75
- (12) 矢野智昭, “宇宙用球面モータ”, *日本ロボット学会学術講演会講演論文集*, No.AC1N2-3, (2010), pp.1-2
- (13) 大岡昌博, “触覚の確率共鳴のモデル化”, *シミュレーション*, Vol.33, No.2, (2014), pp.102-108
- (14) Sakai M. and Suzuki Y., “Evolution of Chemical Signals in Ecological System Evoked by the Cry-Wolf Plants”, *Proceedings of Artificial Life 14*, (2014), pp. 983-986
- (15) Libet B. (下條信輔訳), “マインド・タイム”, *岩波書店*, (2005)
- (16) 前野隆司, “錯覚する脳”, *筑摩書房*, (2007)
- (17) 浅間一, 矢野雅文, 石黒章夫, 大須賀公一, “移動知一適応行動生成のメカニズム”, *オーム社*, (2010)
- (18) 谷口忠大, “記号創発ロボティクス”, *講談社*, (2014)
- (19) Lenz I., Lee H. and Saxena A., “Deep Learning for Detecting Robotic Grasps”, *J. Robotics Research*, (2013), pp.1-17
- (20) 平野清美・武田一哉, “《特集》サイバーフィジカルシステム: フィールド実証実験 (FOT) に向けて”, *情報処理* 55 卷 9 号, (2014), pp. 922-927
- (21) 大岡昌博, “集合型センサ・アクチュエータシステムの知能化/触覚センサと触覚ディスプレイ”, *機械の研究*, Vol.64, No.11, (2012), pp.907-914