



《第56回》情報通信と計測制御の融合，その先へ

久保亮吾

1. はじめに

筆者は現在、「情報通信と計測制御の融合」というテーマを掲げて慶應義塾大学において研究室を運営しており、通信ネットワーク工学と制御工学を中心とした教育研究活動に従事しています。本稿では、筆者の研究経歴、現在の研究内容とその将来像について簡単にご紹介したいと思います。

2. 研究経歴

筆者は学生時代、電気系のロボット制御の研究室に所属して、パラレルリンクロボットや遠隔操作ロボットの制御技術に関する研究に取り組んでいました。個人的な研究は制御系設計などのソフトウェア技術が中心でしたが、研究室内のさまざまなプロジェクトに参加する機会にも恵まれ、ハードウェアからソフトウェアまで一通りの知識を身に付けることができたのは、現在の研究テーマにつながる貴重な経験となっています。

修士課程修了後は通信関連企業の研究所に就職しました。修士課程では、通信ネットワークを介して複数のロボットを協調制御することで力触覚情報を共有する「実世界ハプティクス」の研究を行っていましたが、その過程で通信ネットワーク技術に興味をもつようになりました。就職先の企業ではいわゆるネットワークロボティクスの研究も行われていましたが、当時は通信インフラへの興味のほうが大きく、学生時代の専門とは程遠い光通信の研究を行っている研究所への配属を希望しました。

修士課程での就職において学生時代の専門と異なる分野に配属されることはそれほど珍しいことではないと思いますが、研究所という性質上、元々通信を専門としていた同期もいる中で何か自分にしかできない特長ある研究をしなければいけないという思いを強くもちました。入

社当初は会議に出ても全く専門用語がわからずに、何の話をしているのかもわからないような状態でしたが、実運用されている装置類に触りながら実務を通して学べる環境であったことや、指導担当者の方のサポートもあり、何とか研究のスタート地点に立てるような状態になりました。

研究テーマを探しているときに、さまざまな社内講演会に参加する機会がありましたが、インターネット等で標準的に利用されているトランスポート層の通信プロトコルであるTCP (Transmission Control Protocol) に関する講演を聞いていたところ、「制御システム」とのアナロジーに気づき、いろいろと調べてみると、制御工学的アプローチに基づいた研究が国内外に存在していることがわかりました。結局、主な研究テーマとして光アクセスネットワークの省電力化に取り組むことになりましたが、常に通信ネットワークを制御システムとして捉えるという思考が頭の片隅にあり、オリジナリティのある成果を出すことができました。このような思考ができたのは学生時代に制御工学の基礎を学んでいたからだと思っています。

その後、在職で博士課程を修了したのち、大学教員へと転職することになりました。大学に移ってからは、新しい研究テーマを立ち上げることを求められたため、学生時代に行っていた「通信ネットワークを介したアプリケーションの制御 (Control over Networks)」と企業で行っていた「通信ネットワーク自体の制御 (Control of Networks)」を組み合わせ合わせた融合研究に取り組むこととしました。

3. 現在の研究内容

前置きの話が長くなってしまいましたが、現在の筆者の研究テーマである「情報通信と計測制御の融合」は、

これまでに行ってきた制御工学に関する研究と通信ネットワークに関する研究を両輪として組み合わせるものとなっています。ここで、いくつか現在の研究内容をご紹介します。

まず、通信ネットワークを介した制御システムであるネットワーク化制御システム (NCS: Networked Control System) の研究例についてご紹介します。NCS の分野では、QoS (Quality of Service) と呼ばれるネットワークの遅延や損失、スループット等の影響をアプリケーション側で補償する技術の研究が多く行われています。筆者らは、従来の QoS に加えて、NCS における通信ネットワークの省電力化技術²⁾ やセキュリティ技術³⁾ に重点的に取り組んでいます。これらの研究では、アプリケーション側でのイベント駆動技術やオブザーバ技術に加えて、送受信機の省電力メカニズムやデータ送信方法を組み合わせることで、所望の制御性能と省電力・セキュリティ性能の両立を目指しています。

つぎに、通信ネットワーク自体の制御を扱った研究例についてご紹介します。通信ネットワークをフィードバック制御システムとしてモデル化できる例がいくつかあります。たとえば、TCP フローのスループットを改善する AQM (Active Queue Management) では、中継装置において積極的にパケットを廃棄することで重度のネットワーク輻輳を回避します。AQM は中継装置におけるパケット廃棄率を制御入力とし、バッファ内のデータ量を目標値に制御するフィードバック制御システムとして捉えることができます⁴⁾。同様のモデル化は、伝送装置のスリープモードによる省電力制御⁵⁾ や映像ストリーミングにおける適応映像ビットレート制御にも適用できます⁶⁾。

4. おわりに

Beyond 5G, 6G の導入が進むと、あらゆるモノや人がネットワークに接続され、図 1 に示すようなデジタルツイン型のサイバーフィジカルシステム⁷⁾ が形成されると考えられます。このようなシステムでは、アプリケーションの要求条件に合った通信ネットワークを適切に選択することと、通信ネットワークの品質を考慮したアプリケーション制御を実現することが求められます。これらはまさに「情報通信と計測制御の融合」であり、それぞれのシステムを連携させることではじめて最適な性能を引き出すことが可能となります。

今後は、「情報通信と計測制御の融合」の研究を通し、通信ネットワーク工学と制御工学の両方を軸として将来の社会課題に取り組むことのできる人材の育成に邁進していきたいと考えております。

(2023 年 6 月 1 日受付)

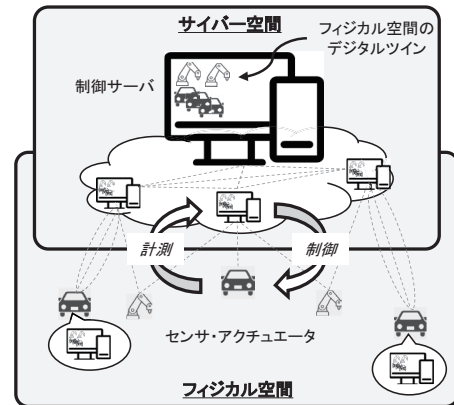


図 1 デジタルツイン型サイバーフィジカルシステム

参考文献

- 1) 久保亮吾: 通信工学と制御工学の融合 —Control of Networks と Control over Networks—, 電子情報通信学会誌, **100**-11, 1316/1320 (2017)
- 2) T. Yamanaka, T. Iwai, and R. Kubo: Quality of Performance Aware Data Transmission for Energy-efficient Networked Control, *IEEE Access*, **9**, 5769/5778 (2021)
- 3) K. Aida, K. Yamada, R. Hotchi, and R. Kubo: Dynamic Network Path Provisioning and Selection for the Detection and Mitigation of Data Tampering Attacks in Networked Control Systems, *IEEE Access*, **9**, 147430/147441 (2021)
- 4) R. Hotchi and R. Kubo: Quality of Service Aware Adaptive Target Queue Length Generation for Active Queue Management, *IET Control Theory & Applications*, **16**-4, 398/413 (2022)
- 5) Y. Maneyama and R. Kubo: QoS-aware Cyclic Sleep Control with Proportional-derivative Controllers for Energy-efficient PON Systems, *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, **6**-11, 1048/1058 (2014)
- 6) R. Sakamoto, T. Shobudani, R. Hotchi, and R. Kubo: QoE-aware Stable Adaptive Video Streaming Using Proportional-derivative Controller for MPEG-DASH, *IEICE Transactions on Communications*, **E104-B**-3, 286/294 (2021)
- 7) R. Kubo: Communication Quality Estimation Observer: An Approach for Integrated Communication Quality Estimation and Control for Digital-twin-assisted Cyber-physical Systems, *IEICE Transactions on Communications*, **E105-B**-10, 1139/1153 (2022)

[著者紹介]

久保亮吾君 (正会員)

2005 年慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科卒業。2007 年同大学大学院理工学研究科総合デザイン工学専攻修士課程修了。同年日本電信電話 (株) 入社。2009 年慶應義塾大学大学院理工学研究科総合デザイン工学専攻後期博士課程修了。2010 年慶應義塾大学理工学部電子工学科助教、現在同学部電気情報工学科准教授。システム制御および通信ネットワークの研究に従事。博士 (工学)。

E-mail: kubo@elec.keio.ac.jp

所属: 慶應義塾大学 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1