

日本－インド 国際共同研究拠点「ICT 領域」 平成 30 年度 年次報告書	
研究課題名（和文）	I o T とモバイルビッグデータ処理のための高信頼高機能サイバーフィジカルシステムの構築
研究課題名（英文）	Architecting Intelligent Dependable Cyber Physical System Targeting IoT and Mobile Big Data Analysis
日本側研究代表者氏名	藤田 昌宏
所属・役職	東京大学・教授
研究期間	平成 28 年 10 月 1 日～令和 3 年 9 月 30 日

## 1. 日本側の研究実施体制

氏名	所属機関・部局・役職	役割
藤田 昌宏	東京大学・大規模集積システム設計教育研究センター・教授	全体統括と設計効率化のためのテンプレートを用いた IoT などサイバーフィジカルシステム（CPS）開発手法
池田 誠	東京大学・大規模集積システム設計教育研究センター・教授	高効率ハードウェアを用いた暗号処理技術
三田 吉郎	東京大学・工学系研究科・准教授	MEMS によるセンサ技術とその利用法
河野 崇	東京大学・生産技術研究所・教授	ニューロンモデルを利用した高効率情報処理技術とその応用

## 2. 日本側研究チームの研究目標及び計画概要

本プロジェクトでは、従来の計算機ソフトウェアとハードウェアから構成されるサイバー部と、ロボットや車両などの機械系で構成される物理部が協調して処理を進めていく、サイバーフィジカルシステム（CPS）を効率よくかつ正しく設計・開発するためのテンプレートベースの設計手法の研究開発に取り組んでいる。今年度はテンプレートベース設計で設計が効率化されることを分かりやすく、結果として目に見える形にすることが大きな目標である。

具体的には、CPS の内、まずサイバー部で成果を分かりやすく示していき、今後の物理部を含めた CPS 全体への発展へ結び付けていく。

システムのセキュリティの面では、高エネルギー効率暗号処理をハードウェアで実現し、従来技術と比較し、飛躍的な低消費電力化が実現可能であることを示す。MEMS 利用技術については、MEMS センサのモデリングのために必要な物理パラメータの抽出や、それらをもとにテンプレート設計技術を開発していく。ニューロミメティックコンピューティング技術については、スパイクングニューラルネットワークによる自己想起型連想記憶メモリとデジタルコンピュータシステムとのインターフェースについて研究を進める。これにもテンプレートベースの考え方を導入する。

いずれについても、最終的にテンプレート設計という考え方に沿った研究成果となるよう、全体調整も随時行っていく。

### 3. 日本側研究チームの実施概要

CPS の内、サイバー部を効率よくかつ正しく設計・開発のためのテンプレートベースの設計手法に関し、ニューラルネットワーク処理における中心的な計算である、行列とベクトルの積計算を自動的に最適並列実行できるテンプレートを開発し、評価を行った。実行ユニット（あるいは各コア）がリング状ネットワークで接続されている環境で、通信オーバーヘッド無しで並列処理できるスケジューリングが自動生成される。問題を SAT 問題（論理式の充足可能性判定問題）として定式化できるテンプレートの開発に成功した。この基本手法を適用すると、小さい行列に対する計算は最適自動並列実行できるが、大きな問題は処理時間が膨大となり解けない。そこで、小さい問題に対する解を手で解析して、解が満たすべき条件を抽出した。その条件から帰納的により大きな問題が満たすべき条件を生成し、大きな行列を処理する場合の追加条件とすることで、大きな行列（大きさ 128 の行列まで）とベクトルの積計算を最適自動並列処理することに成功した。M 個の計算ブロックやコアを利用することで、完全に処理を M 倍高速化できる。

さらに、画像認識などで利用されている畳み込みニューラルネットワーク処理をアレイ状に配置されたプロセッサシステムで行う場合について、上記の最適並列処理を適用することで、GPU における処理の 1,000 程度高速化できることも示した。今後は、サイズ N の一般的な行列の処理技術や、行列内に 0 要素がある場合に、その処理を飛ばして実行できる並列処理の実現を目指して研究を推進していく。

システムのセキュリティの面では、既存の暗号処理アルゴリズムをハードウェア高位合成とベイズ最適化の組み合わせによる最適設計パラメータの探索を行った。これにより、今後楕円曲線の曲線・パラメータが変わった場合にも即座に目標に沿った最適設計の探索が可能になる。高エネルギー効率暗号処理をハードウェアで実現し、従来技術と比較し、飛躍的な低消費電力化が実現可能であることを示した。MEMS 利用技術については、ショックセンサのデモデバイスの考案試作を行った。特に、250G までの重力加速度を 10 段階で検知できる無電源最大加速度センサを設計試作し、動作を確認した。MEMS センサのモデリングのために必要な物理パラメータの抽出や、それらをもとにテンプレート設計技術に結び付けていく。ニューロミメティックコンピューティング技術については、自己想起型連想記憶メモリを実行するスパイクングニューラルネットワークの出力を、情報を抽出しやすいスパイク列へと変換するスパイクングニューラルネットワークによる自己想起型連想記憶メモリとデジタルコンピュータシステムと（センサとデジタル処理の間）のインターフェースの基本技術を開発し、評価を進めている。