高位合成を用いた共通鍵ブロック暗号CLEFIAの

FPGA上への実装と性能評価

情19-0017　井口　大雅

指導教員　 桑門　秀典

1. はじめに

FPGAは現場で回路構成を書き換えることができるという特性を持ち、処理に応じた専用の回路を書き込むことで、CPUよりも高速な処理を可能にする。従来、回路構成の書き込みにはハードウェア記述言語が用いられてきたが、C言語などの高級言語での書き込みを可能とする高位合成が登場し、注目されている。

本研究では、より高速で安全な情報セキュリティシステムの構築を目的とし、共通鍵ブロック暗号アルゴリズムの１つであるCLEFIA[1]を高位合成によってFPGA上に実装し、CPU上での実行速度との比較を行う。

1. 研究方法

本研究では共通鍵ブロック暗号アルゴリズムにCLEFIAを用いる。このプログラムについては、ソニー株式会社が公開しているC言語のリファレンスコード[2]を参考に独自編集したものである。また、FPGAボードには、内蔵CPUブロック（以下、内蔵CPUブロックをPS、FPGAブロックをPLとする）にARM Cortex-A9が搭載されているDigilent社製PYNQ-Z1を用いた。

この研究は次の手順でおこなう。

1. CLEFIAのC言語プログラムを作成する。
2. (1)にディレクティブを付与し、高位合成したビットストリーム（回路情報）をPLに書き込み、Pythonから呼び出して実行する。
3. (1)をコンパイルして生成した実行ファイルをPS上で実行する。
4. (2),(3)について処理時間を測定し比較を行う。

(2)に関して、高位合成にはVitis HLS 2022.1及びVivado 2022.1を使用し、Vivado 2022.1による回路規模と、消費電力の推定値を調べた。

3. 実験結果

上記手順(2)、(3)においてメッセージ長16bytes、共通鍵32bytesのデータ転送と実行をそれぞれ2の17乗回ずつ行い、処理時間の平均を取った結果を表1に示す。



表１を見ると、PLを用いて実行するよりも、PSだけで実行した方が速いことがわかる。ただし、PSのみの実行は、鍵長によって処理時間が長くなるのに対し、PLを用いた場合、ほとんど変化しない結果となった。

　　　 　　 表１　処理時間(ns)の平均の比較

PLを用いて処理を行う際にボトルネックとなり得るのがデータ転送時間である。そこで、(1)のプログラムの暗号化/復号関数内を空にし、引数の受け渡しのみを行なった際にかかる時間の平均をとることで、データ転送にかかる時間を調べた。その結果が表２である。また、Vitis HLS 2022.1が推定したPL上で計算した際のレイテンシを表３に示す。

表１と表２を見比べると、PLを用いた際の処理時間のほとんどをデータ転送時間が占めていることがわかった。表３に示すように、高位合成時の結果からもPL上での計算時間がとても小さいことが示された。



表２　データ転送時間(ns)の平均の比較　　　　　表３　レイテンシの推定値(ns)

最後に、Vivado 2022.1の機能によって得た消費電力と回路規模を表４に示す。回路規模については鍵長が大きくなるほど、使用するリソースも多くなっていた。



　　　表４　消費電力と回路規模

4. まとめ・考察

本研究では、より高速で安全な情報セキュリティシステムを構築するために、CLEFIAをFPGA上で実行した際の処理時間について調査した。その結果、PLを用いずにPSだけで実行した方が処理時間が短くなった。ただし、PSだけでの処理は鍵長に応じて処理時間が長くなるのに対し、PLを用いて計算すると、処理時間は鍵長にはほとんど依存しない結果となった。その理由として、PSのみの場合では処理時間の大半を暗号化/復号の計算が占めているのに対し、PLを用いた場合ではデータ転送時間がその大半を占めていることが考えられる。FPGAで実装した場合のリソースの観点からは、鍵長が大きくなるほど多くのリソースを使うことがわかった。

今回の実験では、PLを用いる際のデータ転送にMMIO（メモリーマップによるデータ転送）を用いたが、DRAMを介してデータの読み書きをするDMAを用いることで、PSとPL間のデータ転送時間が短くなるとされている。今後は、DMAを用いたデータ転送時間の評価や鍵長が長くなっても、FPGAのリソースの消費が大きくならない実装法の開発、が課題である。

参考文献

[1] CLEFIA　最終閲覧日 2023/1/9

https://www.sony.co.jp/Products/cryptography/clefia/

[2] ソニー株式会社のリファレンスコード　最終閲覧日2023/1/9

https://www.sony.co.jp/Products/cryptography/clefia/download/data/clefia\_ref.c