

進化計算を用いた組込みシステムの機能創発に関する研究

プロジェクト代表者：小島一恭（理工学研究科・助教）

Kazuyuki Kojima (Graduate School of Science and Engineering, Assistant Professor)

1. はじめに

制御システムの制御器を設計する際、設計者はシステムを構成するセンサやアクチュエータ、演算器などの資源を機械的・電気的かつ有機的に結合し機能を発現させる。これは、制御システムの操作対象が直接的であったり、制御系が小規模である場合には比較的容易に構成できるが、規模が大きくなるほど困難になる。そこで本研究プロジェクトでは、このような制御システムの制御器設計支援のため、制御器の演算処理部に CPLD 用い、その論理回路を記述する VHDL (VHSIC Hardware Description Language) を進化計算の一種である GA (Genetic Algorithm, 遺伝的アルゴリズム) を用いて最適化することで、合目的的に機能創発を行うための枠組みを提案する。本報告では、制御システムの一例として、オートエアコンを取り上げ、本手法の適用の枠組みを示す。

2. 進化計算を用いた組込みシステムの機能創発

2.1 遺伝的アルゴリズム (GA)

GA は生物の進化過程に着想を得た最適化手法の一つである。図 1 に GA の枠組みを示す。最適化問題の決定変数ベクトル \mathbf{x} を N 個の遺伝子座からなる染色体とみなし、この染色体 K 個からなる個体集合を考え、世代 n における個体集合 $P(n)$ が遺伝子の複製・変異を経て次の世代 $n+1$ における個体集合 $P(n+1)$ に変わるものとする。このような世代の更新が繰り返され、更新のたびに、より最適値に近い解 \mathbf{x} を表わす個体が選択されて、増殖するようにすれば、やがて最適解が得られるであろうというのが GA の基本的な考え方である。

2.2 CPLD と VHDL

CPLD, FPGA はともにプログラム可能な LSI の一種で、論理ブロックの規模が比較的小さい SRAM ベースのものを FPGA, 論理ブロックの規模が大きい EEPROM ベースのものを CPLD と呼ぶ。双方とも HDL (Hardware Description Language) によって内部ロジックを設計することが可能である。提案する枠組みはデバイスを CPLD や FPGA に限定するわけではなく、HDL で設計できるあらゆるデバイスに適用可能である。図 2 に CPLD の一種である XC9572 の内部ブロックを示す。設計者は 34 本のユーザ I/O の中から選択的に入力および出力を決定し、それらのピン配置を定義する。本研究では、組込みシステムの制御器として用いるため、CPLD の入出力ピンに対してセンサやアクチュエータを関連付ける。

2.3 VHDL の符号化と染色体構造

本研究では、CPLD の内部ロジックを記述する VHDL を GA の染色体上に符号化する。入出力信号、内部信

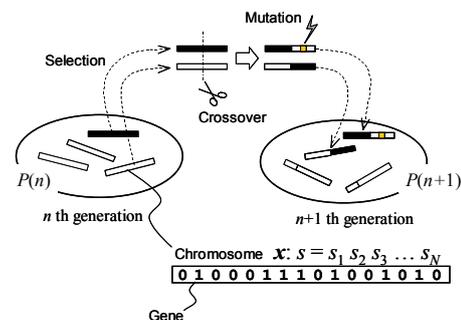


Fig.1 Framework of genetic algorithm

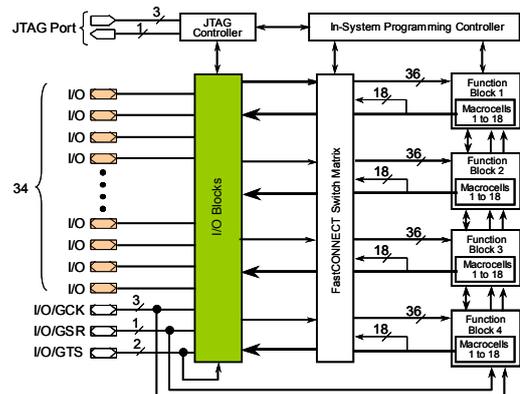


Fig.2 XC9572 architecture

号をすべて同一の `std_logic` 型にすると、その数のみを染色体上に符号化すれば、VHDL の記述を復元できるため、入出力信号と外部信号は数のみを染色体の先頭に符号化する。図 3 は VHDL の代入文の符号化を図示したものであるが、染色体の第 2 番目以降の遺伝子はすべて同等の扱いであり、ここにアーキテクチャ宣言部の記述を符号化する。染色体は多重のリスト構造になっており、階層の数は特に制限していない。このようにすることで、必要な数だけ階層を設けることにより、新たな VHDL の記述に対応させることができる。2 階層目のリストの先頭は必ず ID になっており、この ID により、代入文であるのか、プロセス文であるのか、あるいは他の記述であるのかを判別することができる。ID が「`ID_CMD_SUBSTITUTION`」の場合は、代入文を表し、同時に、下層のリスト構造も図示する通りに一意に決まる。多重リスト構造の遺伝子を VHDL の記述にあわせて用意することで、VHDL のさまざまな表現に対応することが可能となる。

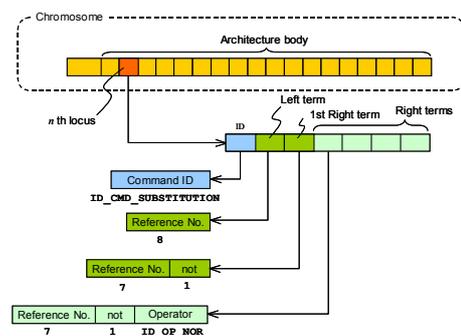


Fig.3 VHDL genetic coding

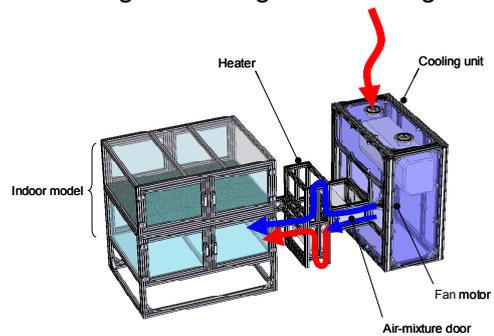


Fig.4 Air conditioning system

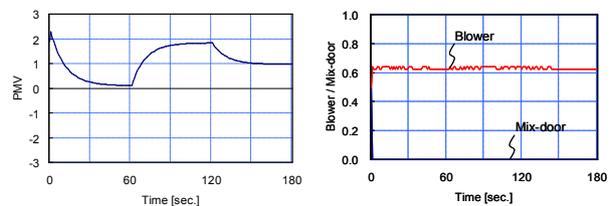
2.4 空調制御組み込みシステムへの適用

本報告では、組み込みシステムへの適用例として空調制御を取り上げる。図 4 に空調制御装置の概略を示す。また、本空調制御装置に対する機能創発のシミュレーション結果を図 5 に示す。(a) ~ (c) の各図において左図は室内の快適指標 PMV の過渡変化、右図はファンモータ、ミックスドアの開度の過渡変化を示す。PMV は「-3」は寒い、「+3」は暑いを示す。両結果とも 60 秒ごとの負荷変動に伴って、グラフの傾向が変化していることが確認できる。

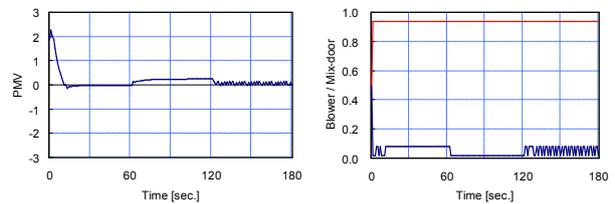
進化計算の世代が 100 世代 (図 5 (b)), 1000 世代 (図 5 (c)) と進むにつれて、PMV と温度は一定値を示すようになり、目標値と前室の PMV との誤差が減少している。また、ファン、ミックスドアの開度は冷房負荷の変化に応じて制御が切替わることが確認できる。このことから、その目的に応じて空調制御の機能が創発されることが示唆される。

3. おわりに

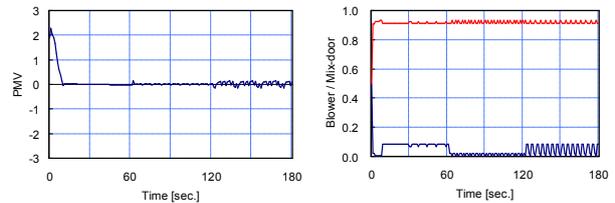
本研究プロジェクトでは、制御システムの制御器設計支援のため、制御器の演算処理部に CPLD 用い、その論理回路を記述する VHDL を遺伝的アルゴリズムを用いて最適化することで、合目的に機能発現を行うための枠組みを提案した。本報告では空調制御への適用事例を示し、その有用性を示した。



(a) 0 generations



(b) 100 generations



(c) 1000 generations

Fig.5 Simulation results