Multi Parallel GAP(Genetic Algorithm Processor)를 이용한 회전 불변 패턴 인식에의 응용

조민석, 허인수, 이주환, 정덕진
인하대학교 전자전기컴퓨터공학부 집적회로연구실
전화 : 032-874-1663 / 핸드폰 : 017-327-8559

Application of Multi Parallel GAP to Rotation-Invariant Pattern Recognition

Minsok Cho, Insu Hur, Juhwan Lee, Duckjin Chung
Intergrated Circuit Reserch Lab. School of Electrical & Computer Eng.
INHA University
E-mail : minsok75@dreamwiz.com

Abstract

In this paper, we applied the high-performance PGAP (Parallel Genetic Algorithm Processor) to recognizing rotated pattern. In order to perform this research efficiently, we used Multi-PGAP system consisted of four PGAP. In addition, we used mental rotation based on the rotated pattern recognition mechanism of human to reduce the number of operation. Also, we experimented with distinguishing specific pattern from similar coin patterns and determine rotated angle between patterns. The result showed that the development of future artificial recognition system is feasible by employing high performance PGAPs.

Ⅰ. 서론

최적화 문제에 활용되는 진화 알고리즘 중 하나인 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm, GA)[1]은 자연세계의 진화 현상에 기반 한 알고리즘으로서 복잡한 제약성을 가진 대규모의 최적화 문제들에 뛰어난 성능을 지닌 것으로 이미 잘 알려져 있다. 그러나, 이러한 유전자 알고리즘은 반복적인 진화과정과 적응과정을 거치기 때문에 양질의 해를 얻는 데는 많은 연산시간이 필요하게 되는 문제점을 가지고 있다. 따라서, GA는 대규모의 최적화 문제들에 대해 시간의 한계성 극복이 필수적이다. 이에 따라 진화 연산에 있어서의 심각한 문제인 연산 시간을 줄이고 최적의 해를 찾기 위해서 유전자 알고리즘의 병렬 분산 처리 및 하드웨어 구현 등의 방법이 필요하다.

본 연구에서는 뇌 정보처리 원리에 바탕 둔 Evolvable Hardware(EHW)의 핵심 연산 프로세서, 실시간 응용분야의 최적화 프로세서로서 사용되고 있는 병렬 진화 연산 알고리즘을 효율적인 방법으로 하드웨어로 구현된 PGAP(Parallel GAP)를 사용함으로서 보다 양질의 최적화 해를 얻고자 하였으며 PGAP 4개를 링 구조로 구성(Multi-PGAP)하여 기능을 강화한 시스템을 회전변환에 의한 패턴인식에 적용시켜 인간 두뇌를 모방하는데 있어서 궁극적으로는 두뇌의 기능을 부분적으로 행하는 지능형 프로세서에 대한 가능성을 검증하였다.

Ⅱ. 유전자 알고리즘(GA)

2.1 병렬 유전자 알고리즘(PGA)

유전자 알고리즘[1]은 생물진화의 원리로부터 착안된 알고리즘으로서 문제에 대한 가능한 해들을 정해진 형태의 자료 구조로 표현한 다음 이들을 선택, 교차, 돌연변이로 이루어진 재생산과정을 반복 수행함으로써 최적의 해를 생성하는 알고리즘이다. 그러나, 이 알고리즘은 많은 반복적인 연산을 수행해서 진화 시켜야 하기 때문에 시간이 많이 걸린다는 단점을 가지고 있다. 이러한

문제점을 해결하기 위하여 서로 다른 여러 개의 집단을 사용하여 진화 연산을 수행하는 병렬 유전 알고리즘 방법이 대두되었다. 병렬 유전자 알고리즘[2]은 병렬 분산 처리를 이용한 연산 속도의 향상시킬 뿐만 아니라, 직렬 유전 알고리즘보다 더욱 좋은 해를 찾는다고 알려져 있다. 또한, 하나의 프로세서로 수행할 때 생기는 조기수렴(Premature convergence)특성으로 인하여 국부 최소점(Local Minima)에 빠지는 문제를 해결하려는 방법으로도 사용할 수 있다. 다중 프로세서를 사용함으로서 전역 최적점을 찾을 수 있는 가능성을 늘일 수 있기 때문이다. 이러한 특징으로 인해, 계산 시간에 제한이 따르는 응용분야에서는 병렬 진화 연산이 더욱더 필요해 지고 있는 것이다.

2.2 Coarse-grained 병렬 유전자 알고리즘의 이주 기법(병렬 연산 부분)

Coarse-grained 병렬화 방법은 다중 프로세서가 각각의 보조 개체군을 갖고 있어 개체군간의 개체들을 교환하면서 각 프로세서가 독립적으로 진화하는 특징을 가지고 있다. 이 방법은 프로세서간의 지역적인 통신에 의하여 개체들을 교환하면서 진화시키기 때문에 속도의 향상이 크다는 장점이 있다[3]. 유전 연산자를 거쳐 나온 두 개의 자손 개체 중 우성인 개체를 선택하여 외부로 나가는 이주 개체로 보내고 또한 그 개체는 선택 모듈에서 결정된 열성 개체(worse data)와의 비교하여 우성 형질의 개체를 다시 외부에서 들어온 이주 개체와 비교시킨다. 이렇게 하여 얻은 최종 우성 형질의 개체는 열성 개체의 자리에 대체 된다. 이주 개체들의 이동시기는 각 세대마다 이루어지며 이주 개체의 양과 이주할 개체의 선택은 앞에서 설명했듯이 하나의 양질의 이주개체가 이동한다.

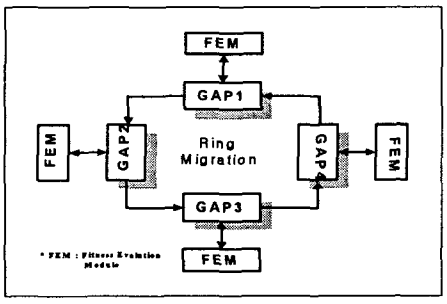

그림 1. Communication type

그림 1은 병렬화 기법의 개념도를 나타내고 있다. 이와 같이 병렬 유전자 알고리즘 프로세서는 handshaking protocol 기반의 파이프라인 적용 및 병렬화 처리 기법 등을 사용하여 프로세서의 내부의 연산을 보다 효율적으로 수행하고 다른 프로세서와의 개체의 교류를 병목 현상 없이 수행할 수 있도록 설계되었다.

2.3 PGA Processor

본 연구에 사용된 병렬 GA Chip은 VHDL를 이용하여 설계되었으며, Synopsys의 Design Compiler로 합성한 후 삼성SOG(0.65㎛ CMOS Technology) 공정으로 제작되었다. 표 1은 이 칩의 사양을 나타내고 있으며 그림 2, 3은 layout 화면과 칩사진을 보여주고 있다.

Fabrication Technology	0.65 um CMOS TLM
Chip Size	2.25 cm x 2.25 cm
Number of gates	65,552 gates
Package	160-pin QFP
Usable pin number	158-pin (Input: 55, Output: 68, Power: 35)
Max of Frequency	65.6 MHz
Power Consumption	650.6 mW at 33.3 MHz

표 1. Specification of the chip

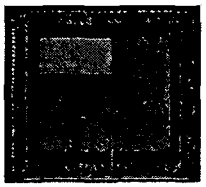

그림 2. Layout image 그림 3. VLSI Chip

Ⅲ. 회전불변 패턴인식
(Rotation-Invariant Pattern Recognition)

3.1 회전 변환 패턴의 인식

패턴 매칭(pattern matching)은 두 패턴간의 유사도(similarity)를 측정하여 인식하는 방법으로서 패턴 인식의 가장 기본적인 방법중의 하나이다[4].

$$D = \sum_{x=1}^{N}\sum_{x=1}^{M}|T(x,y)-I(x,y)| \quad (1)$$

$$S = \sum_{x=1}^{N}\sum_{x=1}^{M}T(x,y)I(x,y) \quad (2)$$

식(1)과 식(2)는 두 이미지 패턴(T와 I)의 크기가 같은 경우($N\times M$ 픽셀 크기) 이미지 패턴간의 유사도 측정 방법 중 대표적인 연산 방법을 나타낸 것이다. 식(1)은 절대값의 차를 이용한 연산이고 식(2)는 상호 상관 관계(cross correlation)를 이용한 연산을 나타낸 것이다. 위의 식(1)과 (2)에서 x와 y는 이미지의 픽셀 좌표가 되

며 $T(x,y)$와 $I(x,y)$는 이미지 x와 y 픽셀 좌표에서의 픽셀 값이 된다. 따라서 각 픽셀 값의 절대값의 차가 작을수록, 상호 상관 관계가 클수록 두 패턴간의 유사도는 높게 된다. 일반적으로 절대값의 차를 이용한 연산은 빠른 유사도 측정을 위해서 상호 상관 관계를 이용한 연산은 정확한 유사도 측정을 위해서 이용된다.

회전 변화된 패턴의 인식도 정확한 인식을 위해서는 모든 회전 변환이 가능한 각도에서의 패턴간의 유사도 측정이 이루어져야 한다. 입력 패턴이 기본 패턴과 0도에서 360도 까지 회전 변환되어질 수 있다면 인식을 위해서 필요한 입력패턴의 회전 변환 수(n_R)는 회전 변환될 수 있는 일정한 각도 간격(d)에 의해 표현된다.

$$n_R = \frac{360}{d} \tag{3}$$

이미지 패턴의 회전 변환은 두 단계로 이루어진다. 첫 번째 단계는 식(4)[5]와 같이 표현되어지는 좌표의 회전 변환이 이루어져야 한다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \tag{4}$$

여기서 x와 y는 회전 변환된 새로운 좌표이며 x'과 y'은 변환되기 전의 좌표가 된다.

두 번째 단계는 정확한 이미지 패턴을 얻고자 보간(interpolation) 연산이 이루어 져야 한다.

$$O(x,y) = (1-a)(1-b)I(x',y') + (1-a)bI(x',y'+1) + a(1-b)I(x'+1,y') + abI(x'+1,y'+1) \tag{5}$$

보간은 이미지의 각각의 픽셀에서 이루어지므로 많은 연산이 필요하게 된다. 식(5)에서 x와 y는 보간 후의 좌표이고 x'과 y'은 변환되기 전의 좌표이며 a와 b는 보간법에 따라 정하여지는 상수이다.

일정한 각도 간격으로 입력 패턴이 회전 변환되면 각각 N개의 모든 기본 패턴들과 유사도 측정이 이루어져야 하므로 유사도 측정 연산 횟수(n_C)는 다음과 같이 표현된다.

$$n_C = N \times n_R = \frac{360N}{d} \tag{6}$$

유사도 측정을 위한 식(1)(2)과 회전변환을 위한 식(4)(5)을 비교하면 유사도 측정보다는 이미지의 회전 변환이 더 많은 연산이 필요하게 된다는 것을 알 수 있다. 따라서 빠른 인식을 위해서는 이미지의 회전 변환 수를 줄이는 것이 효율적이라고 할 수 있다. 회전 변환된 패턴을 인식하기 위하여 주어진 패턴의 회전 변환 가능한 모든 각도에서의 유사도를 연산하는 방법은 가장 인식 오류 확률이 적으나 연산 시간을 고려하면 비효율적이라고 할 수 있다. 연산량은 주어진 패턴의 개수와는 선형적으로, 패턴의 크기에서 지수적으로 증가하여 큰 패턴을 여러 패턴에서 인식해야 할 경우 그 연산량은 크게 증가하게 된다.

3.2 심적 회전(Mental Rotation)

본 연구에서는 연산량을 줄여 보다 인식의 속도를 향상시키고자 인간의 심적 회전[6]을 사용하였다. 심적 회전의 특성은 유사도가 높은 패턴 및 각도에 대한 선택적 회전 변환 및 유사도 측정을 통한 인식이라고 할 수 있다. 연산의 효율성을 위하여 선택적인 연산을 이용하여 해를 찾는 방법은 함수의 최적화의 기법에서 자주 관찰되어지는 방법이다.

초기에는 다양한 각도의 심상이 형성되고 기본 이미지 모두를 형성된 심상과 비교하지만 과정이 반복되어 질수록 특정 각도로 변환된 심상이 형성되고 특정한 기본 이미지와 반복 비교하는 진화의 경향을 나타내게 된다. 일정한 유사도 이상이 측정되어지면 주어진 기본 이미지 중 입력 이미지와 가장 유사한 이미지를 결정하고 회전변환 각도도 추측하게 된다. 이러한 매커니즘은 진화를 통한 선택적인 심상의 변환 및 유사성 측정을 통한 인식의 방법으로써 인식의 속도를 높일 수 있는 장점을 가지고 있다.

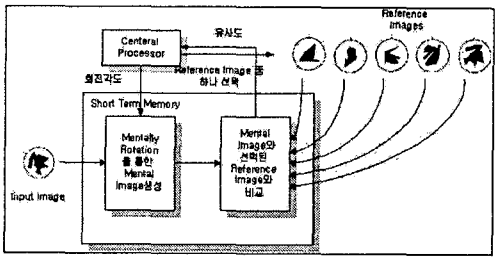

그림 4. 심적 회전 메카니즘

회전 변환 패턴 인식 및 회전 변환 각도 연산의 문제를 최적화 문제로 전환하여 생각한다면 기본 패턴들 중 입력 패턴과 가장 유사도가 높은 패턴과 두 패턴간의 회전 변환 각도를 결정하는 문제가 될 것이다. 그러므로, 생성된 문자열(이진 문자열)은 기본 패턴들 중의 하나의 패턴과 회전 각도를 상징하는 잠정해로서의 개체로 표현된다. 또한 각 개체의 적합도는 문자열이 의미하는 회전 각도로 입력 패턴을 회전 변환시킨 후 문자열이 상징하는 기본 패턴간의 유사도가 된다.

Ⅳ. 시스템 구성

시스템은 AGENT2000 Design kit을 사용하여 실험하

였으며 그림 5, 6처럼 구성하였다.

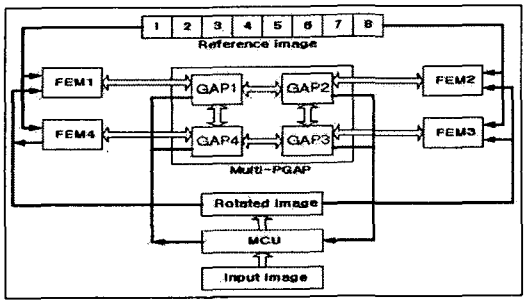

그림 5. 시스템 구성 블럭도

심적 회전 근간이 되는 회전각과 패턴 선정은 4개의 Chip을 링 구조로 구성된 각각의 PGAP에 의해 MCU로 보내진다. MCU모듈로는 87C51(8051계열)을 사용하여 각각의 PGAP가 발생시킨 개체(회전각)에 대하여 입력 이미지의 회전 연산을 수행한 후 회전된 이미지를 외부 메모리 KM62256(32k Byte)에 저장시킨 후 적합도 평가 모듈(FEM)에서 Reference image와의 유사도를 측정하여 GAP와 Interface하는 시스템을 구성하였다.

Reference image 및 적합도 평가 모듈은 Altera사의 FPGA(APEX EP20K600EBC652-3)를 블록을 나누어 구성하였다.

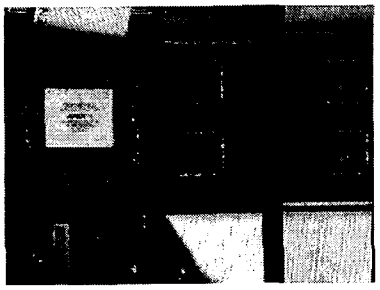

그림6. 시스템

V. 실험 및 실험 결과

제안된 시스템의 성능을 평가하고자 유사한 원형 패턴을 가진 8개의 동전구별과 동전간의 회전된 각도를 동전의 패턴을 이용하여 구별하는 실험을 수행하였다. 본 실험에서는 모든 패턴의 크기는 모두 64×64 픽셀 사이즈로 같다는 가정 아래 구별을 시도하였다. 회전 및 보간의 연산의 시간을 줄이고자 2진 이미지로 일정 크기로 일반화된 이미지 패턴을 이용하였다. 패턴을 얻고자 스캐너를 통하여 입력받은 이미지를 Projection Method를 이용하여 뒷 배경과 구분하여 동전의 이미지 패턴만을 추출하였다. 이미지는 다시 64×64 픽셀 크기로 일반화 한 후 이미지의 영역만을 Thresholding하여 이진 이미지 패턴을 생성하였다. 개체는 패턴을 구별하기 위해서 3비트를, 회전 변환 각도를 연산하기 위하여 9비트를 이용하여 12비트로 하였다. 이는 8개의 패턴을 약 0.7도의 각도의 정밀도로 구별하게 한 것이다.

120번 반복 결과 모두 유사도가 높은 패턴과 각도를 찾아내었다. 연산 회수는 평균 195.7번의 적합도 연산을 통하여 가장 유사도가 높은 패턴과 회전 변환 각도를 인식하였으며 78에서 300번 사이의 적합도 연산을 통하여 인식함을 알 수 있었다.

VI. 결론

본 논문에서는 PGAP를 확장시킨 시스템을 Mental Rotation을 기반으로 하는 회전 변환 패턴 인식에 적용하여 진화를 통한 선택적 연산으로 빠른 시간에 정확하게 패턴을 인식 할 수 있었으며 인식분야에 지능형 프로세서의 응용 가능성을 확인할 수 있었다.

연구된 병렬 유전자 알고리즘 프로세서는 환경에 민감하고 실시간 처리가 요구되는 분야, 즉 진화 적응 하드웨어의 중앙 연산 처리 장치, 음성 및 문자인식, 인공지능의 핵심분야 특히, 인간두뇌의 정보처리 방식을 이용한 분야에 핵심 부품으로 사용될 것이며 앞으로 많은 응용 분야가 창출 될 것이다. 본 연구는 2000년도 뇌연구개발사업의 지원으로 수행되었음.

참고문헌(또는 Reference)

[1] D. E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", Addison-Wesley, 1989.

[2] Erick Cantu-Paz, "A Survey of Parallel Genetic Algorithms", IiiiGAL R. 97003, 1997.

[3] H. Muhlenbein, M. Schomisch and J. Born, "The Parallel Genetic Algorithm as function optimizer", Proceedings of the Fourth International Conference on Genetic Algorithms, Morgan Kaufmann Publishers, 1991.

[4] A. Coshtasby, "Template Matching in Rotated Image", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.,vol. PAMI-7 pp338~344 May.1985.

[5] G. Baxes "Digital Image Processing" John Wiley & Sons Inc 1994

[6] R. N Shepard and J. Metzler, "Mental Rotation of Three Dimensional Objects", Science ,vol171 pp701~703 1971.