

휴대용 초음파 영상처리를 위한 멀티미디어 확장 명령어 및 최적의 매니코어 프로세서 구조 탐색

강성모*, 김종면**

Multimedia Extension Instructions and Optimal Many-core Processor Architecture Exploration for Portable Ultrasonic Image Processing

Sung-Mo Kang*, Jong-Myon Kim**

요약

본 논문에서는 휴대용 초음파 영상의 고성능 및 저전력 처리를 위해 멀티미디어 전용 명령어를 내장한 매니코어의 디자인 공간 탐색 방법론을 제안한다. 이를 위해서 멀티미디어 확장 명령어로 인한 서브워드 병렬처리 방식을 적용한 프로그램과 적용하지 않은 프로그램의 성능을 비교하여 에너지 효율 및 면적효율을 측정하였다. 모의실험 결과, MMX 형태 명령어를 사용한 프로그램은 베이스라인 프로그램 보다 256x256 해상도에서 실행시간은 평균 3.16배, 에너지 효율은 평균 8.13배, 면적 효율은 평균 3.16배의 향상을 보였다. 240x320 해상도와 240x400 해상도에서는 각각 실행시간 평균 2.16배, 2.25배, 에너지 효율은 4.04배 4.34배, 면적 효율은 2.16배, 2.25배 향상되었다. 더불어 이러한 MMX 형태 명령어를 포함한 매니코어의 프로세싱 엘리먼트 (Processing Element: PE) 개수 및 메모리 사이즈를 변화시키면서 각 초음파 영상의 해상도별로 최적의 시스템 면적 및 에너지 효율을 보이는 PE 구조를 탐색하였다.

▶ Keywords : 초음파 영상 처리, 매니코어 프로세서, 디자인 공간 탐색, 멀티미디어 기능 확장 명령어, 에너지 효율, 면적 효율

• 제1저자 : 강성모 • 교신저자 : 김종면

• 투고일 : 2012. 5. 10, 심사일 : 2012. 6. 19, 게재확정일 : 2012. 7. 05.

* 울산대학교 전기공학과(School of Electrical Engineering, University of Ulsan) 석사과정

** 울산대학교 전기공학과(School of Electrical Engineering, University of Ulsan) 조교수

※ 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012-0004962).

Abstract

This paper proposes design space exploration methodology of many-core processors including multimedia specific instructions to support high-performance and low power ultrasound imaging for portable devices. To explore the impact of multimedia instructions, we compare programs using multimedia instructions and baseline programs with a same many-core processor in terms of execution time, energy efficiency, and area efficiency. Experimental results using a 256x256 ultrasound image indicate that programs using multimedia instructions achieve 3.16 times of execution time, 8.13 times of energy efficiency, and 3.16 times of area efficiency over the baseline programs, respectively. Likewise, programs using multimedia instructions outperform the baseline programs using a 240x320 image (2.16 times of execution time, 4.04 times of energy efficiency, 2.16 times of area efficiency) as well as using a 240x400 image (2.25 times of execution time, 4.34 times of energy efficiency, 2.25 times of area efficiency). In addition, we explore optimal PE architecture of many-core processors including multimedia instructions by varying the number of PEs and memory size.

▶ Keywords : ultrasonic image processing, many-core processors, design space exploration, multimedia extension instruction, energy efficiency, area efficiency

1. 서론

반도체 기술의 발달과 함께 의료기기가 디지털화됨에 따라 의료영상기기는 점차 소형화되어왔다. 그 중 초음파를 이용하여 인체의 단면을 얻는 초음파 진단기기는 인체에 해가 없고 실시간으로 결과를 얻을 수 있다는 장점으로 인해 다양한 연구가 활발히 진행 중에 있다[1][2]. 고밀도 집적기술의 발전으로 손바닥 크기만 한 공간에 디스플레이 장치와 입력장치 등이 집적된 휴대용 초음파 기기(handheld ultrasound device)는 이러한 초음파 영상기기의 장점을 극대화한 것이다.

이러한 휴대용 초음파 영상기기는 고성능 및 높은 면적 효율을 만족하여야한다. 또한 전력공급 장치의 소형화에 따른 공급전력량의 감소로 인해 저전력에 대한 요구도 충족하여야한다. SIMD(Single Instruction Multiple Data) 기반의 매니코어 프로세서 아키텍처는 저비용의 처리 소자(Processing Element: PE)를 이용하여 고성능을 만족시키고, 저장장소와 데이터 통신의 최소화를 위해 PE와 데이터 입·출력을 동일 위치에 배치함으로써 저전력을 만족시킨다[3].

본 논문에서 제안하는 SIMD 기반의 매니코어 프로세서에서 제공되는 데이터 레벨 병렬성(Data-Level Parallelism)

을 이용하여 초음파 영상처리에서 요구되는 많은 양의 연산을 효과적으로 수행한다. 또한 멀티미디어 응용프로그램을 효율적으로 처리할 수 있는 멀티미디어 확장(multimedia extension, MMX) 형태 명령어를 매니코어 프로세서에 적용하여 서브워드 병렬성(subword parallelism)의 이점을 추구한다. MMX 형태 명령어는 초음파 영상의 8비트 픽셀 처리를 위해 32비트 길이의 레지스터를 8비트 서브워드들로 나누어 데이터를 패킹하여 한번에 4개의 픽셀 데이터를 처리한다. 초음파 영상처리의 특성상 연산은 프로그램의 가장 안쪽 루프에서 처리되는데, MMX 형태 명령어는 루프 안의 명령어들을 줄여주므로 루프풀기(loop unrolling) 기법[4]처럼 분기 시 발생하는 지연이 1/4로 줄어든다. MMX 형태 명령어로 인한 성능 향상을 검증하기위한 방법으로 동일한 매니코어 프로세서에서 MMX 형태 명령어와 베이스라인 명령어 프로그램을 구현하여 성능을 비교하였다. 모의실험에 사용된 초음파 영상들은 휴대용 기기에 적합한 256x256, QVGA (240x320), WQVGA (240x400)의 해상도를 사용하였다.

MMX 형태 명령어 내장형 매니코어 프로세서는 PE의 수가 늘어날수록 연산 성능이 향상되지만, 에너지 효율 및 시스템 면적 효율은 그러하지 않다. 이에 본 논문에서는 초음파 영상처리를 위한 빔포밍 알고리즘을 PE 개수 및 메모리 사이즈가 다른 매니코어에 구현하여 최적의 에너지 및 면적 효율

을 보이는 PE 구조의 디자인 공간을 탐색하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련연구로 범용 프로세서용 멀티미디어 확장 명령어 및 초음파 영상의 빔포밍 기법에 대해 설명하고, 3장에서는 멀티미디어 전용 명령어 내장형 매니코어 프로세서를 이용한 빔포밍 알고리즘 구현에 대해 기술한다. 4장에서는 매니코어 프로세서 구조, 실험 방법론 및 성능평가 지표에 대해 설명한다. 5장에서 성능분석 및 실험 결과를 기술하고, 6장에서는 최적의 효율을 나타내는 매니코어 프로세서의 PE 구조를 결정한다. 7장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 관련연구

1. 범용 프로세서용 멀티미디어 확장 명령어

범용 마이크로프로세서 제조회사는 멀티미디어 애플리케이션의 성능을 향상시키기 위해 멀티미디어 명령어를 그들의 instruction set architecture (ISA)에 참가하였다. 표 1은 현재 모든 마이크로프로세서 제조회사에서 발표한 멀티미디어 확장 명령어의 리스트를 보여준다. 이러한 멀티미디어 확장 명령어의 주요 장점은 하나의 넓은 레지스터 (64 비트 혹은 128비트 예)에 여러 개의 작은 데이터를 저장하고 동시에 처리함으로써 성능을 향상시킨다.

표 1. 범용 마이크로프로세서용 멀티미디어 명령어
Table 1. Multimedia instructions for general-purpose microprocessors

Processor	Extension	Product	Instructions	Register File
HP	MAX-1	1994	9	Integer (31x64b)
Sun	VIS	1995	121	FP (32x64b)
HP	MAX-2	1995	8	Integer (32x64b)
MIPS	MIPS-V	(-)	29	FP (32x64b)
MIPS	MDMX	(-)	74	FP (32x64b), Acc. (1x92b)
Intel	MMX	1997	57	FP (8x64b)
DEC	MVI	1997	13	Integer (31x64b)
Cyrix	Extended MMX	1997	12	FP (8x64b)
AMD	3D Now!	1998	21	FP (8x64b)
Intel	SSE	1999	70	8x128b
Motorola	AltiVec	1999	162	32x128b
MIPS	MIPS-3D	(-)	23	FP (32x64b)
AMD	Enhanced 3D Now!	1999	24	FP (8x64b)
Intel	SSE2	(-)	144	8x128b

제조회사의 타깃 애플리케이션에 따라 이러한 멀티미디어 명령어는 다양하다. Motorola AltiVec은 가장 많은 수의 SIMD 명령어 (162개)를 가지고 있는 반면, HP MAX-1은 단지 8개의 SIMD 명령어를 가지고 있다. 대부분의 멀티미디어

명령어 (AMD 3DNow!, DEC MVI, Intel MMX, Sun VIS)는 64 비트 레지스터를 사용하는 반면, Motorola AltiVec과 Intel SSE는 128 비트 레지스터를 이용한다. 한 가지 주목할 만한 예외는 MIPS MDMX인데 이 명령어는 여러 번의 연산에 의한 결과를 축적하기 위해 하나의 넓은 누산기를 가지고 있다. 이러한 명령어의 유사성에도 불구하고 각각의 명령어는 독특한 특징을 가지고 있다. 예를 들어, MAX-2는 실행 유닛과 정수 레지스터를 재사용하여 추가적인 하드웨어를 필요로 하지 않는 반면, AltiVec은 전적으로 새로운 실행 유닛을 요구한다.

2. 초음파 영상의 빔포밍 기법

초음파 진단 기기의 초음파 영상은 서로 다른 매질로 이루어진 경계면에서 생기는 반사파를 이용하여 구성한다. 초음파 신호의 속도는 인체 내의 매질에 따라 다르며, 이에 따른 지연시간으로 인해 동일 시점의 신호들이 서로 다른 시간에 도달하게 된다. 따라서 서로 다른 시간에 반사되어 되돌아오는 신호들을 포커싱(Focusing) 과정을 통해 시간차이를 보상한 후 원하는 지점에 동시에 도달하도록 한다[5]. 이러한 정렬 과정을 빔포밍(beamforming)이라 한다. 이러한 빔포밍을 수행하기 위한 방법 중 SDF(Sampled-Delay Focusing) 기법은 다른 알고리즘들과 달리 별도의 보간기 없이 메모리에 저장된 데이터를 단순히 순차적으로 읽어서 더하는 것만으로 원하는 동적 집속을 구현 할 수 있다는 장점이 있다.

III. 멀티미디어 명령어 내장형 매니코어를 이용한 빔포밍 알고리즘 구현

1. 멀티미디어 명령어를 사용한 빔포밍 알고리즘

본 논문에서는 초음파 영상을 빔포밍하기 위해 PSDF (Pipelined Sampling Delay Focusing) 기법을 사용하였다[6]. 그림 1은 PSDF 기법의 블록 다이어그램을 보여준다. PSDF 기법은 표본화를 위한 각 채널의 샘플링 클럭을 조절하여 지연시간을 보상하기 때문에 보간기가 필요 없다는 장점이 있지만, 표본화 클럭 자체를 조절해야 하므로 가변 지연시간에 따른 유동적인 클럭을 만들 수 있어야하며 이렇게 만들어진 클럭 신호가 각 채널의 A/D 변환기들 사이에 동일한 지연을 갖고 도달해야한다. 따라서 PSDF 알고리즘은 동시에 다수의 주사선을 생성하기 위한 멀티빔 방식을 구현하는데 어려움이 따른다[7].

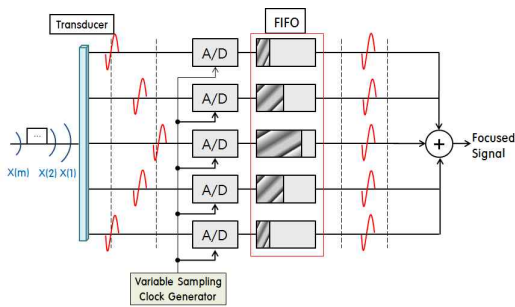


그림 1. PSDF 기법의 블록 다이어그램
Fig. 1. A block diagram of the PSDF algorithm

매니코어 프로세서를 이용하여 PSDF 빔포밍 기법을 구현할 때 SIMD 연산을 통해 각 PE가 서로 다른 지연시간을 계산하여 해당 PE의 범용 레지스터에 저장해놓기 때문에 유동적인 클럭의 생성과 도달을 만족한다. 또한 매니코어 프로세서에서 초음파 영상은 각 PE에 균등하게 나누어 저장되고, 각 영상 데이터들이 자신의 지연만큼 동시에 포커싱이 수행될 수 있으므로 구현의 어려움도 만족 시킬 수 있다. 매니코어 프로세서는 PE의 수가 늘어날수록 포커싱을 병렬화 시키므로 성능을 증가시킬 수 있다. 그림 2는 매니코어 프로세서 상에서 PSDF 기법의 동작 과정을 보여준다.

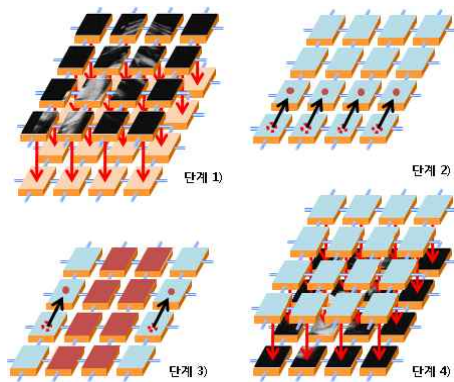


그림 2. 매니코어 프로세서에서 PSDF 기법의 동작과정
Fig. 2. Processing steps of the PSDF technique using a many-core processor

- 단계 1) 초음파 영상데이터는 각 PE의 로컬 메모리에 저장되고, 각 PE의 범용 레지스터는 신호별 지연시간을 저장하게 된다.
- 단계 2) 각 PE는 범용 레지스터의 지연시간만큼 자신의 Y축 위쪽 PE로 영상 데이터를 보낸다. 초음파 신호는 가장자리로 갈수록 지연시간이 길기 때문에 더 많이 이동되게 된다.

- 단계 3) SIMD 기반에서는 동일한 명령어가 다수의 PE에 저장되어 있는 각 데이터에 수행하기 때문에 목적지 PE에 도착하면 목적지 PE의 로컬 메모리에 영상 데이터를 저장하고 비활성화(sleep)시켜 더 이상 이동되지 않도록 한다.
- 단계 4) 모든 PE의 이동이 완료되면 각 PE는 로컬 메모리에 저장되어 있는 영상 데이터를 출력한다.

멀티미디어 명령어가 적용되지 않은 베이스라인 프로그램의 경우, PE의 영상 데이터를 이동할 때 한 번에 한 픽셀의 영상 데이터를 Y축 위 PE로 전송하게 된다. 반면 그림 3과 같이 멀티미디어 전용 명령어인 PACKSSDW 명령어는 2개의 레지스터에 저장된 각 영상 데이터를 하나의 레지스터에 패킹하고, 또한 PACKSSWB 명령어는 각각 2개의 영상 데이터가 패킹된 레지스터 2개를 다시 하나의 레지스터로 패킹하여 한번에 4개의 데이터를 전송함으로써 성능을 향상시킨다.

빔포밍은 목적지 PE로의 데이터 이동이 완료되기 전까지 반복된다. 이러한 반복문은 반복문에 포함된 연산뿐만 아니라 반복을 위한 부가적인 연산이 반복 횟수만큼 발생한다. 실행 횟수를 비교하는 연산과 감소하는 연산을 반복 횟수만큼 수행해야 하며, 반복할 때 마다 분기가 발생하여 성능 저하의 원인이 된다[8]. 따라서 멀티미디어 전용 명령어를 사용하면 패킹을 통해 전송 과정이 1/4로 줄어들게 되고, 반복을 위한 증가 연산 및 반복 횟수도 1/4로 줄어든다. 또한 멀티미디어 명령어를 사용하면 루프 안에서 반복되던 데이터 전송 작업을 1/4로 줄임과 동시에 루프 안의 나머지 명령어들에 루프풀기가 적용되어 알고리즘에 사용된 전체 루프 비용을 1/4로 감소시킬 수 있다. 이러한 멀티미디어 전용 명령어는 매니코어 프로세서의 레지스터와 실행 유닛을 재사용함으로써 하드웨어 비용의 증가 없이 성능을 개선시킨다.

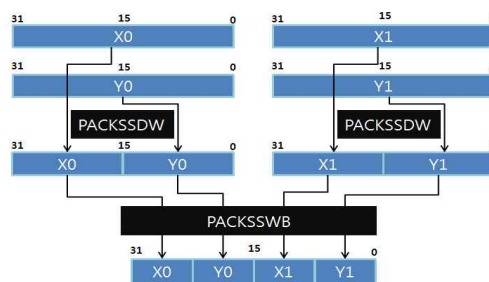


그림 3. 멀티미디어 전용 명령어를 사용한 데이터 패킹
Fig. 3. Data packing using multimedia specific instructions

IV. 실험 환경

1. 매니코어 프로세서 구조

본 논문에서 사용된 SIMD 기반 매니코어 프로세서 아키텍처는 그림 4와 같이 2차원 격자(mesh)구조로 구성된 PE 어레이와 이를 제어하는 ACU(Array Control Unit)로 구성된다. ACU는 명령어를 인출(fetch)하여 전체 PE에 동시에 전송(broadcasting)하며, 또한 특정 PE를 활성화(active) 또는 비활성화(sleep) 시키는 역할을 한다. ACU에 의해 데이터가 각 PE에 고르게 분배되면 PE들은 명령어를 동시에 수행하며, 각 PE는 다음과 같은 특징을 갖는다.

- 16개의 32비트 3포트 범용 레지스터
- 기본적인 산술/논리 연산을 수행하는 ALU
- 64비트 곱셈 및 누산기(MACC)
- 멀티 비트 산술/논리 시프트 연산을 수행하는 배럴 시프터(Barrel Shifter)
- 지역 정보를 이용해 각 PE들을 활성화/비활성화 시키는 Sleep
- 이웃하는 PE간 데이터 통신을 위한 NEWS (North-East- West-South) 네트워크 및 직렬 입·출력

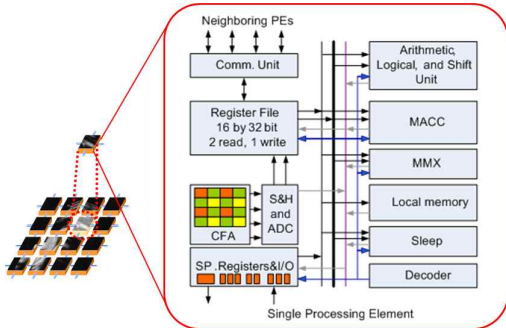


그림 4. SIMD 기반 매니코어 프로세서와 단일 PE 구조
Fig. 4. SIMD-based many-core processor architecture and a processing element

2. 실험 방법론

그림 5는 세 가지 레벨(애플리케이션, 아키텍처, 테크놀로지)로 구성되어 있는 SIMD기반 매니코어 프로세서의 실험 방법론을 보여준다. 애플리케이션 레벨에서는 매니코어 프로세서용 정밀 사이클 시뮬레이터를 이용하여 사이클 개수, 동적 명령어 빈도, 시스템 이용률(system utilization) 등의

실행 데이터를 추출한다. 아키텍처 레벨에서는 Chai가 제안한 이중 병렬 프로세서용 아키텍처 모델링 툴을 사용하여 모델링된 아키텍처의 디자인 변수들을 계산한다[9]. 테크놀로지 레벨에서는 아키텍처 레벨에서 구해진 디자인 변수들을 Generic System Simulator (GENESYS)의 입력으로 사용한다[10][11]. GENESYS는 매니코어 어레이 및 멀티 클러스터 등의 다양한 시스템 구조를 모델링하기 위한 테크놀로지 모델링 툴로서 각 코어들은 동기 ASIC 칩으로 표현되는 계층적 모델로 구성된다. 이러한 계층적 모델은 기본요소, 재료, 디바이스, 회로, 시스템 등 5-레벨로 이루어져 있다. 처음 세 가지 레벨은 재료특성과 스위칭 디바이스 특성의 물리적 효과를 모델링하며, 회로 레벨은 신호 지연, 동적 및 정적 에너지와 같은 게이트의 특징을 모델링하며, 마지막으로 시스템 레벨은 싱글 ASIC 칩을 묘사하게 위한 아키텍처, 연결구조, 패키징 상세들을 포함한다. GENESYS는 입력된 디자인 변수를 바탕으로 각 아키텍처 모델들의 사이클 시간(cycle time), 와이어 지연(latency), 전력(power), 클럭 주파수(clock frequency)와 동적 및 정적 전력 등의 테크놀로지 변수를 예측한다. 마지막으로 세 레벨에서 구해진 데이터베이스를 조합하여 실행시간, 에너지 효율, 시스템 면적 효율을 측정할 수 있다.

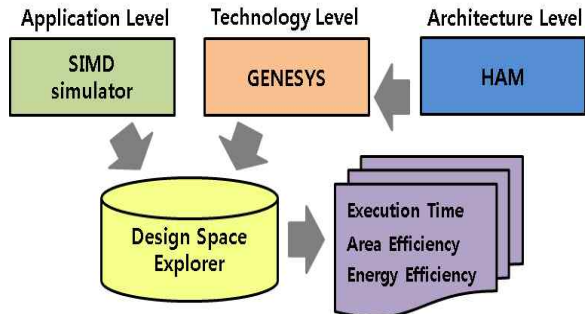


그림 5. SIMD 기반 매니코어 프로세서 실험 방법론
Fig. 5. Simulation methodology for a SIMD-based many-core processor

3. 성능평가 지표

멀티미디어 명령어 내장형 매니코어 프로세서의 성능 평가를 위해 실행시간, 에너지 효율, 시스템 면적 효율[12]을 측정한다. 실행 시간은 초음파 영상처리 알고리즘이 수행된 시간을 뜻하며 식 (1)과 같이 계산되어진다. 에너지 효율은 소비된 에너지 당 처리량으로써 식 (2)와 같이 계산되며, 시스템 면적효율은 단위 면적당 처리량을 나타내며 식 (3)과 같이 계산된다. 여기서 C 는 사이클 수, f_{clk} 는 클럭 주파수,

표 2. SIMD 기반 매니코어 프로세서 아키텍처 파라미터
Table 2. Modeled many-core processor system parameters

Parameters		Values					
VLSI Technology		130nm					
Clock Frequency		130MHz					
Interconnection Network		Mesh					
intALU/intMUL/Barrel Shifter/intMACC/Comm		1/1/1/1					
Number of PEs		4	16	64	256	1,024	
Resol.	256x256	DPE	16,384	4,096	1,024	256	64
		Memory/PE[word]	16,384	4,096	1,024	256	64
		Sys. Memory[KB]	256				
	240x320	DPE	19,200	4,800	1,200	-	-
		Memory/PE[word]	19,200	4,800	1,200	-	-
		Sys. Memory[KB]	300				
	240x400	DPE	24,000	6,000	-	-	-
		Memory/PE[word]	24,000	6,000	-	-	-
		Sys. Memory[KB]	375				

$Energy$ 는 130nm 공정에서 소비된 에너지(Joule), $Area$ 는 시스템의 단위 면적(mm^2)을 나타낸다.

$$t_{exec} = \frac{C}{f_{clk}} \quad (1)$$

$$\eta_E = \frac{1}{t_{exec} \cdot Energy} \left[\frac{1}{s \cdot Joule} \right] \quad (2)$$

$$\eta_A = \frac{1}{t_{exec} \cdot Area} \left[\frac{1}{s \cdot mm^2} \right] \quad (3)$$

표 2는 매니코어 프로세서의 디자인 공간탐색을 위해 사용된 파라미터들을 보여준다. 모델링된 PE 아키텍처는 다수의 PE를 격자구조로 구성되며, 실험에 사용된 초음파 이미지는 휴대용 기기에 적합한 256x256, QVGA(240x320), WQVGA(240x400)의 해상도를 사용하였다. 각 실험은 동일한 130nm 테크놀로지와 130MHz의 클럭 주파수를 사용하였으며 최대 5가지의 PE 구조(PEs=4, 16, 64, 256, 1,024)에 대해 실험하였다. 휴대용 초음파 영상의 고성능 및 저전력 처리를 위해 멀티미디어 전용 명령어를 내장한 매니코어의 디자인 공간 탐색은 최적의 PE 구조를 탐색하기 위해 PE당 처리되는 영상데이터(data-per-processing element, DPE) 수 및 메모리 사이즈를 변경하면서 실험하였다.

V. 성능 분석 및 실험 결과

1. 성능 비교

그림 6은 각 해상도에서 베이스라인 명령어와 멀티미디어 전용 명령어를 사용하여 하나의 초음파 정지영상을 빔포밍하였을 때 측정된 실행시간 결과와 성능향상 정도를 보여준다. 그림 6(a)는 256x256 해상도에서 멀티미디어 명령어가 4개의 PE 구조에서 약 3.5배의 성능 향상을 보였으며, 성능 향상률은 점점 감소하여 평균 3.16배의 성능 향상을 보였다. 그림 6(b)는 240x320 해상도에서의 실험결과이며, 256x256 해상도와 마찬가지로 4개의 PE 구조에서 약 2.4배의 성능 향상을 보였으며, PE 수가 증가할수록 점차 성능 향상이 감소하여 평균 2.16배 향상을 보였다. 그림 6(c)의 240x400 해상도에서는 4개의 PE구조일 때 2.4배의 성능 향상을 보였으며, 평균 2.26배의 성능향상을 보였다. 그림 6에서 해상도에 관계없이 PE 수가 4개일 때 멀티미디어 명령어의 최대 성능향상을 보였으며, PE의 수가 증가할수록 베이스라인 명령어 프로그램 대비 멀티미디어 명령어 프로그램의 성능향상 수치가 점차 감소되는 현상을 관찰하였다.

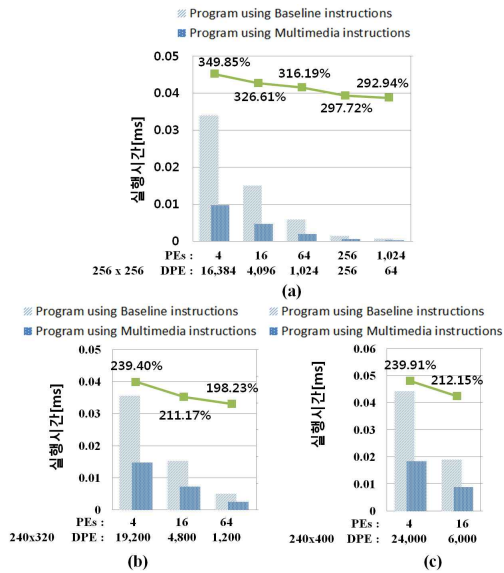


그림 6. 다양한 PE 구조에서 베이스라인 명령어와 멀티미디어 전용 명령어의 실행시간 비교: (a) 256x256 영상 사용, (b) 240x320 영상 사용, (c) 240x400 영상 사용

Fig. 6. Execution time comparison between baseline and multimedia instructions on different PE architectures: (a) using a 256x256 image, (b) using a 240x320 image, (c) using a 240x400 image

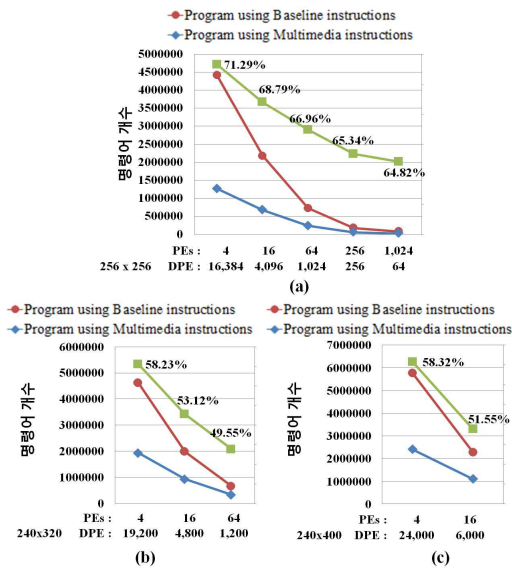


그림 7. 다양한 PE 구조에서 베이스라인 프로그램과 멀티미디어 명령어 사용 프로그램의 명령어 개수 비교: (a) 256x256 영상 사용, (b) 240x320 영상 사용, (c) 240x400 영상 사용

Fig. 7. Instruction number comparison between baseline programs and programs using multimedia instructions on different PE architectures: (a) using a 256x256 image, (b) using a 240x320 image, (c) using a 240x400 image

그림 7은 각 해상도에서 베이스라인 명령어와 멀티미디어 전용 명령어를 사용하여 하나의 정지영상의 빈포밍을 수행하는데 사용된 명령어의 수를 나타낸다. 그림 7(a)에서 4개의 PE구조에서는 멀티미디어 명령어를 사용한 프로그램이 베이스라인 프로그램보다 총 명령어의 수를 71.2% 감소시켰으며 평균 67.4%의 명령어를 감소시켰다. 마찬가지로 그림 7(b)의 240x240 영상과 그림 7(c)의 240x400 영상에서는 멀티미디어 명령어가 각각 평균 53.6%와 53.9%의 명령어 수를 감소시켰다. PE 개수가 증가할수록 멀티미디어 전용 명령어 사용 프로그램의 명령어 개수 감소 비율이 줄어드는 이유는 멀티미디어 명령어와 상관없는 PE간 통신 명령어가 증가하기 때문이다.

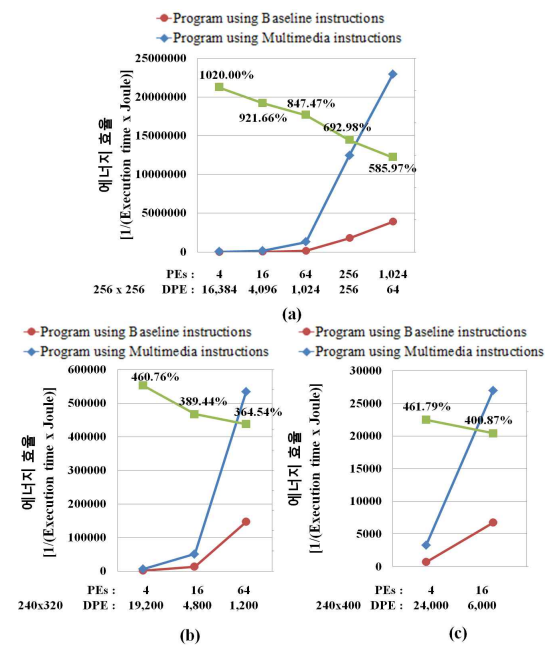


그림 8. 다양한 PE 구조에서 베이스라인 프로그램과 멀티미디어 명령어 사용 프로그램의 에너지 효율 비교: (a) 256x256 영상 사용, (b) 240x320 영상 사용, (c) 240x400 영상 사용

Fig. 8. Energy efficiency comparison between baseline programs and programs using multimedia instructions on different PE architectures: (a) using a 256x256 image, (b) using a 240x320 image, (c) using a 240x400 image

2. 시스템 에너지 효율 비교

그림 8은 각 해상도에서 베이스라인 프로그램 대비 멀티미디어 명령어 사용 프로그램의 에너지효율을 보여준다. 프로그램의 수행시간은 에너지 소비량과 비례하므로 멀티미디어 명령어 사용 프로그램은 실행시간의 단축을 통해 베이스라인 프로그램과 비교하여 상당한 양의 소비 에너지를 감소시킨다.

그림 8(a)의 256x256 해상도에서는 베이스라인 프로그램보다 최소 5.85배에서 최대 10.2배의 에너지 효율 향상을 보여 평균 8.1배의 에너지 효율을 보였다. 그림 8(b)와 그림 8(c)인 240x320 해상도와 240x400 해상도에서는 멀티미디어 명령어 사용 프로그램이 베이스라인 프로그램보다 각각 4배와 4.3배의 에너지 효율 향상을 보였다. 최적의 에너지 효율은 256x256 해상도에서 PE 수가 1,024개 일 때, 240x320 해상도에서 PE 수가 64개 일 때, 240x400에서 PE 수가 16개 일 때 가장 높은 효율을 보였다. 에너지 효율의 향상은 동일한 연산을 보다 적은 에너지로 수행할 수 있다는 것을 뜻하며 이러한 결과는 휴대용 기기에서 배터리 전력을 더 오랜 시간동안 사용할 수 있게 된다는 것을 의미한다. 즉, 총 사용시간을 증가시키는 결과를 가져온다.

3. 시스템 면적 효율 비교

본 논문에서 사용한 멀티미디어 명령어는 별도의 하드웨어 추가 없이 기존의 실행유닛을 재사용하여 성능을 향상시킨다. 이렇듯 동일한 시스템면적에서 실행시간의 단축으로 인해 더 높은 시스템 면적 효율을 얻을 수 있다. 그림 9는 베이스라인 프로그램과 멀티미디어 명령어 사용 프로그램의 시스템 면적 효율을 보여준다. 그림 9(a)의 256x256 영상에서는 시스템 면적 효율이 256개의 PE 구조에서 가장 높았으며, 그림 9(b)의 240x320 영상과 그림 9(c)의 240x400 영상에서는 각각 64개와 16개의 PE 구조에서 면적 효율이 가장 높았다. PE의 수가 증가할수록 멀티미디어 명령어 사용 프로그램의 시스템 면적 효율 폭이 감소하는 이유는 멀티미디어 명령어와 상관없는 PE간 통신 명령어가 증가하기 때문이다. 시스템면적 효율의 향상은 시스템의 컴포넌트 이용률을 증가시키는 결과를 가져온다.

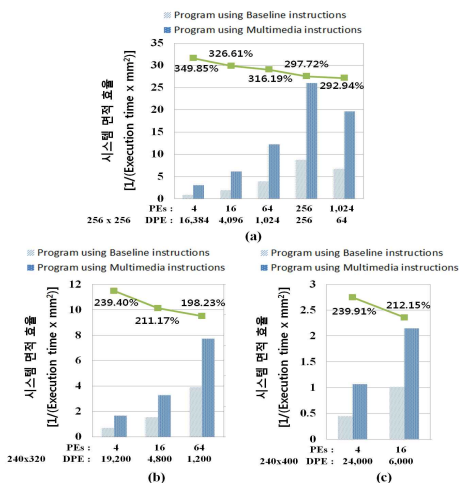


그림 9. 다양한 PE 구조에서 베이스라인 프로그램과 멀티미디어 명령어 사용 프로그램의 시스템 면적 효율 비교: (a) 256x256 영상 사용, (b) 240x320 영상 사용, (c) 240x400 영상 사용

Fig. 9. System Area efficiency comparison between baseline programs and programs using multimedia instructions on different PE architectures: (a) using a 256x256 image, (b) using a 240x320 image, (c) using a 240x400 image

VI. 최적의 PE 구조 탐색

4.1절에서 매니코어 프로세서는 PE 수가 늘어날수록 실행시간이 감소되어 성능은 완만한 곡선을 그리며 증가한다. 하지만 PE 수가 늘어날수록 시스템의 면적이 증가하며 소모 에너지도 증가된다. 따라서 무조건적인 최고성능의 구조보다 저전력 소모를 위한 에너지효율과 동일 면적에서 더 많은 연산을 처리 할 수 있는 구조를 선택하는 것이 바람직하다. 성능 분석 결과, 256x256 해상도에서 초음파 빔포밍 영상처리를 위한 최적의 PE 구조는 그림 10(a)에서 보논바와 같이 시스템 면적 효율이 가장 높은 256개의 PE 구조와 에너지 효율이 가장 높은 1,024개의 PE 구조임을 알 수 있다. 동일한 방법으로 그림 10(b)의 240x320 해상도와 그림 10(c)인 240x400 해상도에서는 각각 PE가 64개, 16개인 구조가 최적의 효율을 보임을 알 수 있다.

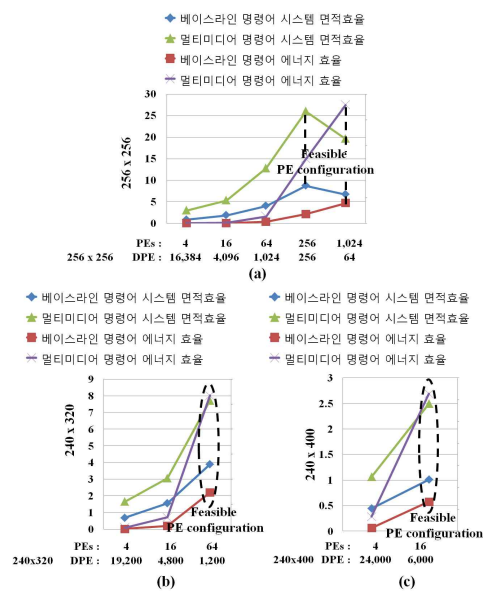


그림 10. 다양한 PE 구조에서 에너지 효율과 시스템 면적 효율 (a) 256x256 영상 사용, (b) 240x320 영상 사용, (c) 240x400 영상 사용

Fig. 10. Energy and area efficiency on different PE architectures: (a) using a 256x256 image, (b) using a 240x320 image, (c) using a 240x400 image

휴대용기기에는 두 가지의 제약 사항이 있는데, 기기 및 전력 공급 장치의 소형화로 인해 전력소모가 적어야 한다는 것과 휴대용기기이므로 허용가능한 시스템 면적이 제한된다는 것이다. 2009년 반도체 국제 기술 로드맵에 따르면 시스템 면적과 전력이 140mm²와 3 Watts로 제한된다. 따라서 그림 11에서 보는바와 같이 제안하는 PE구조 중 256x256 해상도에서 PE가 1,024개인 경우를 제외하고 모든 PE 구조가 휴대용기기에 적합함을 알 수 있다.

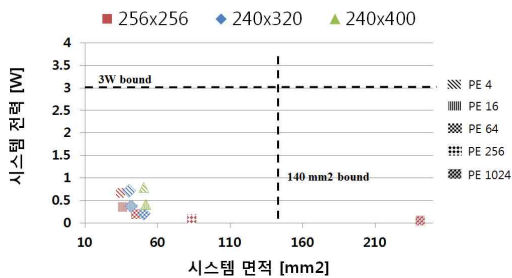


그림 11. 다양한 PE 구조의 시스템 면적과 전력
Fig. 11. System area and power for various PE architectures

VII. 결론

본 논문에서는 모바일 초음파 영상처리를 위한 최적의 멀티미디어 명령어 내장형 매니코어의 디자인 공간 탐색 방법을 보였다. 이를 위해 멀티미디어 명령어를 사용한 빔포밍 프로그램을 구현하였고, 이를 PE 수와 메모리 크기를 변화시킨 매니코어 아키텍처에 적용하여 에너지 효율 및 시스템 면적효율을 측정하였다. 모의실험 결과, 멀티미디어 명령어를 사용하여 구현한 빔포밍 프로그램은 베이스라인 프로그램 보다 256x256 해상도에서 실행시간은 평균 3.16배, 에너지 효율은 평균 8.13배, 면적 효율은 평균 3.16배의 향상을 보였다. 240x320 해상도와 240x240 해상도에서는 각각 실행시간 평균 2.16배, 2.25배, 에너지 효율은 4.04배 4.34배, 면적 효율은 2.16배, 2.25배 향상을 보였다. 또한 256x256 해상도의 초음파 빔포밍 영상처리를 위한 최적의 PE 구조는 시스템 면적 효율이 가장 높은 256개의 PE 구조부터 에너지 효율이 가장 높은 1,024개의 PE까지의 범위이지만, 1,024개의 PE 구조는 시스템면적이 휴대용기기의 면적 제한을 만족하지 못하므로 이를 제외한 256개의 PE 구조에서 에너지 및 면적

효율이 최적임을 알 수 있다. 같은 방법으로 초음파 영상의 해상도가 240x320와 240x400에서는 각각64개, 16개의 PE 구조에서 최적의 효율을 보였다.

향후 SoC 하드웨어를 제작한 결과와 시뮬레이션 결과를 비교하고 분석할 것이며, 최근 병렬처리 분야에서 각광받고 있는 GPU(General Purpose computing on Graphics Processing Units, GPGPU) 시스템과 매니코어 프로세서 간의 성능을 비교할 것이다.

참고문헌

- [1] Kwang-Baek Kim, Sang-Ho Shin, "Extraction of Lumbar Multifidus Muscle using Ultrasound Imaging," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 16, No. 2, pp.55-60, Feb. 2011.
- [2] Byong-Kook Choi, Jong-Myon Kim, "Implementation of an Optimal Many-Core Processor for Beamforming Algorithm of Mobile Ultrasound Image Signals," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 16, No. 8, pp.119-128, Aug. 2011.
- [3] Luong Van Huynh, Cheol-Hong Kim, Jong-Myon Kim, "A Massively Parallel Algorithm for Fuzzy Vector Quantization," The KIPS transactions. Part A, Vol. 16, No. 6, pp.411-418, Dec. 2009.
- [4] Jeff Bilmes, Krste Asanovic, Chee-Whye Chin, Jim Demmel, "Optimizing matrix multiply using PHiPAC: a portable, high-performance, ANSI C coding methodology," Int. Conf. on Supercomputing, pp.340-347, Jul. 1997.
- [5] Hoo-Jeong Lee, Haing-Sei Lee, Young-Kil Kim, Min-Hwa Lee, "A Study on the Improvement a Lateral Resolution of the Ultrasound Imaging System," J. of KOSOMBE, Vol. 9, No. 1, pp.87-92, 1988.
- [6] Joo-Han Kim, Tae-Kyong Song and Song-Bai Park, "Pipelined sampled-delay focusing in ultrasound imaging systems," Ultrasonic Imaging, Vol. 9, pp.75-91, Apr. 1987.
- [7] Jeong Jo, "A study on the efficient ultrasound

beamformer architecture for two-way dynamic focusing”, Master Thesis, Sojang univ., 2005.

[8] Yu-jin Kim, “Embedded C Programming Code optimization,” HanbitMedia, pp.214-216, 2008.

[9] S. M. Chai, T. Taha, D. S. Wills, and J. D. Meindl, “Heterogeneous architecture models for interconnect-motivated system design,” IEEE Trans. on VLSI Systems, Vol. 8, No. 6, pp.660-670, Dec. 2000.

[10] V. Tiwari, S. Malik, and A. Wolfe, “Compilation techniques for low energy: An overview,” in Proc. IEEE International Symposium on Low Power Electronics, pp.38-39, Oct. 1994.

[11] L. Codrescu, S.P. Nugent, J.D. Meindl, and D.S. Wills, “Modeling Technology Impact on Cluster Microprocessor Performance,” IEEE Trans. VLSI Systems, Vol. 11, No. 5, pp. 909-920, Oct. 2003.

[12] A. Gentile, S. Sander, L. Wills, and D. S. Wills, “The Impact of Grain Size of the Efficiency of Embedded SIMD Image Processing Architectures,” Journal of Parallel Distributed Computing, Vol. 64, No. 11, pp.1318-1327, Nov. 2004.

[13] International Technology Roadmap for Semiconductors 2009 Edition, <http://www.itrs.net/Links/2009ITRS/Home2009.htm>

저 자 소 개



강 성 모

2011: 울산대학교
 컴퓨터정보통신공학부 공학사.
 현 재: 울산대학교
 전기공학부 석사과정.
 관심분야: 멀티미디어 신호처리, 임베디드
 소프트웨어, SoC설계
 Email : dryujinwolf@mail.ulsan.ac.kr



김 종 면

1989: 명지대학교
 전기공학과 공학사.
 2000: University of Florida
 전기컴퓨터공학과 공학석사.
 2004: Georgia Tech.
 전기컴퓨터공학과 공학박사.
 현 재: 울산대학교
 전기공학부 교수
 관심분야: 컴퓨터구조, 병렬프로세서, 멀티
 미디어 신호처리, SoC설계
 Email : jongmyon.kim@gmail.com