

TMS320C80 시스템에서 Radon 변환의 병렬 구현

송정호*, 성효경*, 최홍문*

*경북대학교 전자전기공학부

Parallel Implementation of Radon Transform on TMS320C80-based System

Jung-Ho Song*, Hyo-Kyung Sung*, and Heung-Moon Choi*

*School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University

E-mail : hmchoi@ee.kyungpook.ac.kr

Abstract

In this paper, we propose an implementation of an efficient parallel Radon transform on TMS320C80-based system. For an $N \times N$ SAR image, we can obtain $O(NM/p)$ computation complexity in contrast to the $O(N^2M/p)$ of the conventional parallel Radon transform, by representing the projection patterns in Radon space variables instead of the image space variables, and pipelining the algorithm, where p is the number of processors and M is the number of projection angles. Also, we can reduce the time for the dynamic load distribution among the nodes and the communication overheads of accessing the global memories, by pipelining the memory and processing operations by using triple buffer structure. Experimental results show an efficient parallel Radon transform of speedup $S_p=3.9$ and efficiency $E=97.5\%$ for 256×256 image, when implemented on TMS320C80 composed of four parallel slave processors with three memory blocks.

1. 서론

Radon 변환은 인공위성 또는 항공기로 부터의 SAR(synthetic aperture radar) 영상의 분석 및 인식을 위한 특징검출에 많이 적용되고 있다[1][6-7]. Radon 변환에서는 투영적분을 위해 영상내의 투영 각도와 투영 거리에 대하여 투영 패턴상에 존재하는 모든 화소값들을 누적해야 하기 때문에 영상의 크기가 커짐에 따라 영상크기 N^2 에 비례하는 많은 계산량을 요하게 된다. 따라서 Radon 변환의 수행 속도를 개선하기 위한 병렬구현에 관하여 많은 연구가 이루어져 왔다[2-4].

Brady[2]는 $N \times N$ 영상에 대해 단지 $O(N^2 \log N)$ 시간에

45° 간격으로 4개의 투영 각도들을 취하는 고속 근사 이산 Radon 변환(fast approximation discrete Radon transform) 알고리즘을 제시하였다. 여기서는 $\log N$ 단계로 구성된 알고리즘의 각 단계(step)별로 세그먼트상에 있는 화소들의 수를 단계번호의 세곱에 비례하도록 증가시켜 가면서 누적변환 하였다. 그러나 알고리즘의 처리성격상 영상의 태두리에서는 영상의 범위를 벗어나는 세그먼트상의 화소들, 즉, $N \times N$ 영상의 경우 $N \leq x < 2N$, $0 \leq y < N$ 영역에는 0을 채워 처리하도록 하고 있다.

Sanz 등[3]은 PPPE(parallel pipeline projection engine)을 사용하여 Radon 변환을 병렬 구현하였다. 효율적인 병렬 구현을 위하여 투영 패턴에 대한 조건표(lookup table)를 미리 작성하여 각 노드에 적재하였으며, 연속적으로 입력되는 화소에 대하여 파이프라인 구조의 투영적분을 행하여 전체 변환처리 성능을 높였다. 투영패턴 생성시 고정소수점연산을 수행하지 않았으며 투영패턴의 스케일링(scaling)과 투영패턴간의 거리를 양자화 하였다.

한편 Pan 등[4]은 $O(N^4)$ 개의 노드로 구성된 SIMD 초월입방체(hypercube)구조에서 Radon 변환을 병렬 구현하여 계산복잡도를 $O(\log_2 N)$ 으로 줄임으로써 초월입방체가 이상적인 병렬처리 구조임을 발표하였으나, 실제 병렬 구현에 있어서 $O(N^4)$ 개의 노드사이에서 통신통로를 설정하는 것은 어려운 일이기 때문에 범용 병렬 처리 시스템에서의 효과적인 병렬 Radon 변환에 대한 연구가 요구된다.

본 논문에서는 Radon 변환을 TMS320C80 기반 시스템 상에서 병렬 구현하였다. 먼저, 영상 공간변수 및 투영각 대신에 Radon 공간변수들을 사용하여 투영 패턴을 정의함으로써 Radon 변환의 대부분의 처리 시간을 소모하는 투영 패턴 생성을 빠르게 할 수 있도록 하였다. 또한 병

렬 Radon 변환시 요구되는 통신비용을 개선하기 위하여 임의의 노드에서 일감이 처리되고 있는 동안에 처리된 데이터 및 처리할 데이터의 통신이 이루어지도록 메모리 구조를 3중 버퍼 구조를 갖도록 함으로써 노드간의 동적 일감 할당 및 전역 메모리와의 통신부하를 경감시킬 수 있도록 하였다. 제안된 방법을 4개의 병렬 프로세서로 구성된 TMS320C80상에서 구현 실험하고 프로세서의 이용효율과 속도 제고율을 고찰하였다.

2. 극좌표 공간에서의 Radon 변환 알고리즘

Radon 변환은 영상 공간의 화소 명암도(intensity)를

$$\rho = x\cos\theta + y\sin\theta \quad (1)$$

로 정의되는 투영패턴에 대하여 선형적분하여 Radon 공간상에 누적함으로써 선형 특징을 강조하고 검출하는데 사용할 수 있다. 또한 그 고유의 적분기능으로 인하여 합으로 오염된 영상에서의 특정 추출이 보다 쉽고 잡음에 강건한 특징추출이 가능하다. 주어진 투영 각도 θ 에 대한 2차원 영상공간상에 정의되는 함수 $f(x, y)$ 의 Radon 변환은

$$R(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(\rho - x\cos\theta - y\sin\theta) dx dy \quad (2)$$

로 주어진다. 여기서 δ 는 디락 델타 함수(Dirac delta function)이고, ρ 는 원점에서 직선에의 법선의 길이이며, θ 는 이 법선과 x 축과 이루는 각도이다. 이 때 $N \times N$ 영상의 경우 각도 수 M 에 대해 $N^2 M$ 번의 덧셈과 그 두 배의 곱셈 연산이 필요하다.

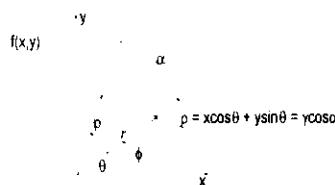


그림 1. 극좌표상에서의 Radon 변환
Fig. 1. Radon transform in polar coordinate.

본 논문에서는 Radon 변환 알고리즘의 계산 복잡도를 개선하기 위해서 직교좌표계로 표현되는 영상 $f(x, y)$ 를 r 과 ϕ 로 표현되는 극좌표 공간의 $f(r, \phi)$ 로 변경하였다. 극좌표로 변경한 후의 투영패턴은 그림 1에서 보는 바와 같이 $\rho = r\cos\alpha$ 로 주어지며 $\alpha = \theta - \phi$ 가 된다. 또한, 식

(1)로 표현된 직교좌표계상의 Radon 변환은

$$R(f, \theta) = \int_{\alpha=0}^{2\pi} \int_{r=0}^{\infty} f(r, \theta - \alpha) \delta(\rho - r\cos\alpha) r dr d\alpha \quad (3)$$

와 같이 극좌표상의 Radon 변환으로 재정리할 수 있다. 투영패턴은 $\rho - r\cos\alpha$ 가 되며 세 개의 변수를 필요로 하는 식 (1)과는 달리 단지 r 과 α 의 두 개의 변수로 투영 패턴을 정의할 수 있다. 따라서 식 (1)에 따라 처리할 경우의 알고리즘 복잡도 $O(N^2 M)$ 을 식 (3)에 따라 처리하여 $O(NM)$ 의 복잡도로 줄일 수 있다.

3. TMS320C80시스템에서 Radon 변환 알고리즘의 병렬 구현

TMS320C80상에 Radon 변환을 병렬 구현하기 위한 전체 시스템 구성도는 그림 1과 같다.

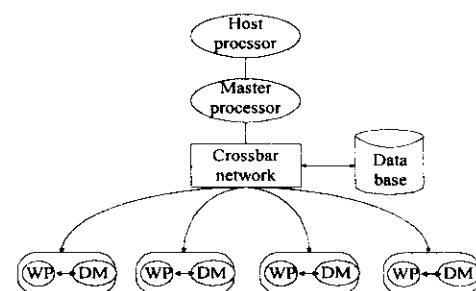


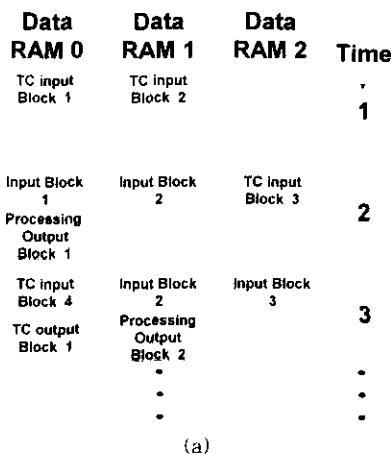
그림 2. TMS320C80을 이용한 병렬 Radon 변환의 전체 시스템 구성도

Fig. 2. Overall system architecture of the parallel Radon transform on TMS320C80.

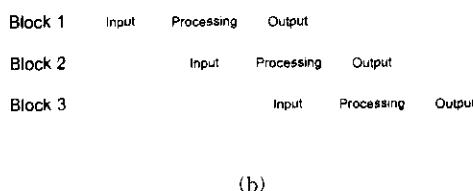
각 병렬프로세서는 투영요소에 의해 주어진 투영방향에 대해 Radon 변환을 수행한 후 그 결과를 마스터 프로세서에 전달하여 호스트로 보내거나 또는 비디오로 출력되거나 한다. 그림 1에서 WP(work processor)는 실제 Radon 변환을 수행하는 연산처리를, DM(database manager)은 Radon 변환의 실제 운용과정에서 외부 메모리에서 전송된 데이터를 관리하는 기능을 수행한다. 그리고 교차망(crossbar network)은 각 노드간의 통신, 노드와 데이터 베이스간의 통신등을 관할하며 전송제어기(transputer controller:TC)와 물리적인 통신 선로를 설정하는 기능을 수행한다. 또한 DM은 WP간의 동적인 일감 분배(load balancing) 및 WP에 비교적 많은 통신 부담을 주는 외부 메모리의 접근을 최소화하기 위하여 TMS320C80의 각 ADSP(advanced digital signal processor)에 내장된 6Kbyte의 데이터 RAM을 그림 3(a)와 같이 입력데이터 저장용과 연산을

위한 변환 알고리즘 저장용과 출력 데이터 저장용의 3중 버퍼로 구성하였다.

$$E = \frac{T_1}{T_p \times p} \times 100 \quad (4)$$



(a)



(b)

그림 3. (a) 동적 일감 할당을 위한 3중 버퍼 구조와 (b) 그 파이프라인 개념도

Fig. 3. (a) Tripple buffer structure for dynamic load assignment (b) and its pipelining.

그림 3(a)에 동적 일감 할당을 위한 3중 버퍼 구조를, 그림 3(b)에는 그 파이프라인 개념도를 도시하였다. 그림 3(a)에서 전송제어기는 입력 블록 1과 2를 읽는다. 이 블록 1과 2는 출력 블록 1을 계산하기 위해 사용되어지고 그 때 전송제어기는 입력 블록 3을 읽는다. 입력 블록 2와 3은 출력 블록 2를 계산하기 위해 사용되어지고 그 때 입력 블록 4를 전송제어기는 읽는다. 위의 과정은 계속 반복되어진다. 이렇게 파이프라인에 의한 시간중첩을 이용하여 노드간의 동적 일감할당 및 전역 메모리와의 통신부담을 경감시킬 수 있도록 하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

병렬 구현된 Radon 변환의 처리속도 및 프로세서의 이용효율을 확인하기 위하여 영상의 크기 및 사용 프로세서의 개수를 변화시켜가며 실험하였다. 여기서 프로세서 이용효율 E 는

로 정의되며[9], 여기서 T_1 은 1개의 프로세서를 이용하였을 때의 처리시간을, T_p 는 p 개의 프로세서를 이용했을 때의 병렬처리시간을 나타낸다. 또한 실험에 사용된 영상의 크기는 32×32 , 64×64 , 128×128 , 256×256 로 하였다. 병렬 Radon 변환의 성능을 확인하기 위해서 ADSP의 갯수를 1개부터 4개까지 변화시켜가면서 실험 영상의 크기별로 처리 시간을 조사하고 이에 따른 효율을 표 1에 나타내었다.

표 1. 노드 수에 따른 영상 크기별 Radon 변환 수행 시간 및 그 효율

Table 1. Radon transform time and efficiency for different image size and different number of nodes.

Image size	No. of nodes	Transform time [unit : ms]				Efficiency (4-node) [unit : %]
		1	2	3	4	
32×32		1.67	1.35	0.81	0.54	77.31
64×64		5.85	3.82	2.5	1.79	81.70
128×128		24.41	14.19	9.21	6.95	87.80
256×256		97.11	50.51	33.03	24.9	97.50

표 1에서 보듯이 프로세서의 이용 효율은 영상크기 및 사용되는 프로세서의 수에 따라 차이가 있으나, 사용 프로세서의 개수가 4개까지 증가함에 따라 프로세서 이용 효율이 계속 증가하고 처리해야 될 영상의 크기가 증가함에 따라 프로세서 이용효율도 증가함을 알 수 있다. 또한 제한된 범위이기는 하지만 병렬 프로세서를 1개 사용하였을 때보다 4개 사용하였을 때가 그 처리 시간이 32×32 일 경우에는 약 3배정도 빠르게 수행되며 256×256 영상일 경우에는 약 4배정도 빠르게 병렬처리 할 수 있었다. 이것은 영상의 크기가 증가함에 따라 본 논문에서 사용한 3중 버퍼 구조의 파이프라인 데이터 관리의 효과가 크게 반영된 것으로 사료된다.

5. 결론

본 논문에서는 TMS320C80기반 시스템상에서 Radon 변환을 병렬 구현하였다. 투영 패턴을 영상 공간변수 대신에 Radon 공간변수들로 표현함으로써 노드의 수를

p. 투영 각도 수를 M 이라 할 경우 $N \times N$ 영상에서 기존의 $O(N^2M/p)$ 대신에 $O(NM/p)$ 의 계산 복잡도를 얻었다. 또한 입의의 노드에서 일감이 처리되고 있는 동안에 처리된 데이터 및 처리할 데이터의 통신이 이루어지도록 메모리 구조를 3중 버퍼 구조를 갖도록 파이프라인 처리 합으로써 노드간의 봉적 일감합당 및 전역 메모리와의 통신부하를 경감시킬 수 있도록 하였다. 3개의 메모리 블록을 갖는 4개의 병렬 프로세서로 구성된 TMS320C80 상에서 구현 실험한 결과, 제한된 범위이기는 하지만 256×256 영상에서 최대 $E=97.5\%$ 의 프로세서의 이용효율과 약 $S_p=3.9$ 의 속도제고율을 얻을 수 있었다.

참고 문헌

- [1] I-I. Lin, and K. Victor, "Computer-based algorithm for ship detection from ERS SAR imagery," *Proceedings of the 3rd ERS Symposium*, Florence, Italy, pp. 18-21, Mar. 1997.
- [2] M. L. Brady, "A fast discrete approximation algorithm for the Radon transform," *SIAM J. Computing*, vol. 27, no. 1, pp. 107-119, Feb. 1998.
- [3] J. L. C. Sanz and E. B. Hinkle, "Computing projections of digital images in image processing pipeline architectures," *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. ASSP-35, no. 2, pp. 198-207, Feb. 1987.
- [4] Y. Pan and Y. H. Chuang, "Parallel Hough transform algorithms on SIMD hypercube array," *International Conference on Parallel Processing*, St. Charles, USA, pp. 83-86, 1990.
- [5] C. Guerra and S. Hambrusch, "Parallel algorithms for line detection on a mesh," *Journal of Parallel and Distributed Computing*, vol. 6, no. 1, pp. 1-19, Feb. 1989.
- [6] L. M. Murphy, "Linear features detection and enhancement in noisy images via Radon transform," *Pattern Recognition Letters*, vol. 4, no. 4, pp. 279-284, Sept. 1986.
- [7] M. T. Rey, J. K. Tunaley, J. T. Folinsbee, P. A. Jahans, J. A. Dixon, and M. R. Vant, "Application of Radon transform techniques to wake detection in Seasat-A SAR images," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 28, no. 4, pp. 553-560, July 1990.
- [8] *TMS320C80 User's Guide*, Texas Instruments, 1995.
- [9] V. Kumar, A. Grama, A. Gupta and G. Karypis, *Introduction to Parallel Computing: Design and Analysis of Algorithm*, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. New York, Chap. 4, 1994.