

디지털 신호처리에 의한 실시간 태아 심전도 감시 시스템

김 남 현, 김 원 기 *윤 대 희 **박 상 희
연세대학교 의용공학과 *전자공학과 **전기공학과

Real-Time FECG Monitoring System Using Digital Signal Processing

Nam-Hyun Kim, Won-Ky Kim, Dae-Hee Youn, Sang Hui Park
Dept. of Biomedical Eng., Electronic Eng., Electrical Eng.
Yonsei University

ABSTRACT

This paper presents a real time FECG signal monitoring system in which an adaptive multi-channel noise canceller is implemented using a Texas Instruments TMS32020 digital signal processor. Abdominal ECG signal is applied as the desired output and 3 chest ECG signals as the reference input signals of the adaptive multi-channel noise canceller whose coefficients are updated using the LMS algorithms.

1. 서 론

태아 심전도는 태아의 생명력과 발달상태, 선천성 심장질환, 그리고 태아의 압박상태등을 진단하는데 유용한 요소가 된다는 연구보고와 함께 지금까지 많은 사람들에 의해 태아 심전도 추출에 관한 연구가 계속되어 왔다[1,2]. 그러나 태아심전도는 전압이 낮음에다 진폭이 훨씬 큰 산모의 심전도에 의하여 간섭을 받으며 증폭기나 전극 혹은 환자의 피부상태등 외부적인 요소에 의해 분별해 낼 수 없는 경우가 많아 측정에 어려움이 따른다.

이러한 태아 심전도를 측정하는 방법은 여러가지가 있으나[3], 복부부착방법이 가장 일반적으로 사용된다. 그러나 복부부착방법은 태아심전도와 함께 산모의 심전도 신호성분이 같이 검출되며 진폭면에서 산모 심전도 성분이 태아 심전도보다 훨씬 커서 (2-10배) 태아 심전도를 제대로 구별해 낼 수 없는 경우가 많기 때문에 산모 심전도 신호 성분을 제거하는 것이 큰 문제로 남게된다.

복부부착방법에 의해서 나타나는 산모의 심전도 신호성분을 제거시키는 방법들이 제시되어[4,5] 임상에서 사용되고 있으나 기존의 방법으로는 파형 및 맥박을 표시하는데 많은 문제점을 가지고 있다.

그러나 디지털공학의 발달에 따라 디지털 신호처리 기법을 태아 심전도 추출에 응용하려는 시도와 함께 다양한 알고리즘이 제안되었다. 1975년 Widrow는 최소평균자승(least mean square) 적응 알고리즘을 이용한 다중 채널 적응 잡음제거기(adaptive multi-channel noise canceller)를 구성하여 그 효율성을 보였다[6].

디지털 신호처리를 이용한 태아심전도 추출법을 실시간에 구현할 수 있는 시스템을 구성하는 것은 알고리즘이 갖고있는 곱셈과 나눗셈등 많은 계산량을 때문에 어려움이 따른다. 따라서 실시간 처리의 문제점을 해결하기 위해서는 많은 계산을 소화할 수 있는 고속의 프로세서 및 하드웨어 소자를 요구하게 된다.

여기서는 widrow가 제안한 태아심전도 추출법을 이용하여 3개의 기준입력을 갖는 다중채널 잡음제거기를 구성하고 세개의 가슴신호와 하나의 복부신호로부터 실시간에 태아 심전도를 얻어낼 수 있는 시스템을 설계하여 TMS 32020을 중심으로 실시간 태아 심전도 감시시스템을 구성하고자 한다.

2. 다중 채널 적응 잡음제거기

최소평균자승 적응 알고리즘은 예견기(predictor) 잡음제거기등에 응용될 수 있다[7]. 잡음제거기를 구성할 경우 동시에 여러 주파수의 이득과 위상을 조절할 수 있으며 심전도신호처럼 신호의 통계적 특성이 변화하는 신호에 대하여 우수한 특성을 나타낸다. 또한 적응과정이 복잡한 계산을 요하지 않고 단지 오차신호 $e(k)$ 와 기준입력신호 $x_i(k)$ 만으로 시행되므로 처리시간을 줄일 수 있다.

Widrow는 LMS 알고리즘을 이용한 다중채널 적응 잡음제거기를 구성하여 태아심전도를 추출하였다. Widrow는 그림2.1(a)와 같이 네 개의 전극을 가슴에

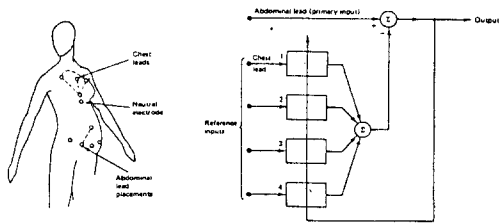


그림 2.1 Widrow가 제안한 태아심전도 추출방법
 (a) 전극부착위치
 (b) 다중 채널 적응 잡음제거기
 Fig. 2.1 FECG extraction method by Widrow

부착하고 하나의 전극을 복부에 부착하여 각각의 전극으로부터 심전도신호를 얻은 후 그림 2.1(b)와 같이 구성된 다중채널 적응 잡음제거기에 인가하여 산모심전도를 제거하였다. 산모의 복부신호를 기대 응답신호로 사용하고 가슴신호를 기준 입력신호로 사용할 때 세계의 기준입력을 갖는 잡음제거기의 구성도는 그림 2.2와 같다.

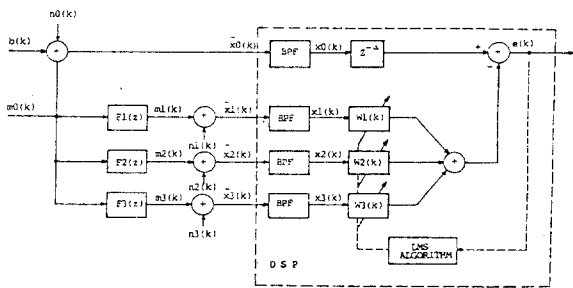


그림 2.2 세계의 기준입력을 갖는 잡음제거기
 Fig. 2.2 Noise canceller using 3 reference input

3. 실시간 태아심전도 감시 시스템 구성

실시간 태아심전도 감시 시스템을 구성하기 위해서는 빠른 속도의 신호처리기와 주변소자가 필요하며 이와함께 효과적인 연산을 할 수 있는 소프트웨어가 구성되어야 한다.

3.1 실시간 신호처리 시스템

실시간 신호처리 시스템의 전체 구성도는 그림 3.1과 같다.

시스템의 기본구성은 데이터를 연산하고 시스템의 동작을 제어하는 CPU(TMS32020)와 A/D변환부, 처리된 디지털 신호를 변환하는 A/D변환부, 그리고 시스템 동작 프로그램을 보존하는 RAM 및 기타 주변소자들로 구성되어 있다. 전체 시스템은 인터럽트 방식으로

동작하며 인터럽트 신호는 A/D변환기가 데이터 변환을 할 때마다 발생하도록 설계하였다(그림 3.2).

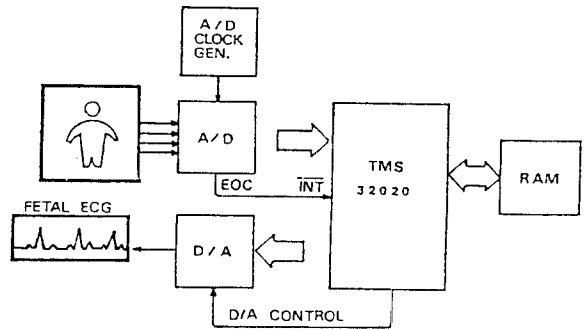


그림 3.1 실시간 태아심전도 감시시스템의 블록선도
 Fig. 3.1 Real-time FECG monitoring system blockdiagram

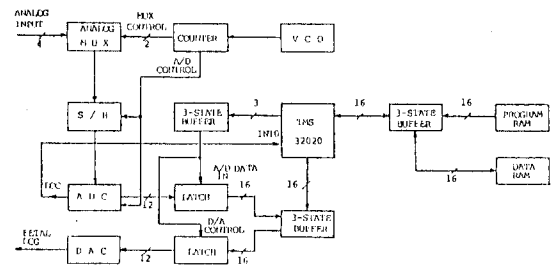


그림 3.2 실시간 태아심전도 감시시스템의 구성도
 Fig. 3.2 Configuration of FECG monitoring system

- 1) CPU
- 2) A/D 변환부
- 3) D/A 변환부
- 4) 메모리 및 기타 주변소자 부분

3.2 실시간 태아심전도 감시시스템의 인터페이스

구성된 실시간 태아심전도 감시시스템을 MC68000과 인터페이스하여 시스템의 동작을 제어하고 프로그램을 옮길 수 있는 회로를 구성하였다[8]. 구성도는 그림 3.3과 같다.

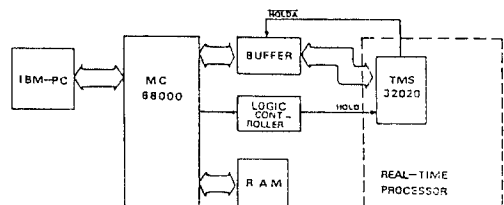


그림 3.3 실시간 태아심전도 시스템의 인터페이스

4. 임상신호 수집 시스템

태아심전도 감시시스템에 필요한 여러가지 변수들은 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 결정되어야 한다. 컴퓨터 시뮬레이션에 필요한 데이터를 얻기 위한 임상신호를 수집할 수 있는 시스템이 필요하며 이를 위해 구성한 임상신호 수집시스템의 블록선도는 그림 4.1과 같다. 임상신호 수집시스템은 전치 증폭부, 변조부와 복조부, A/D변환부와 테이프 레코더로 구성된다.

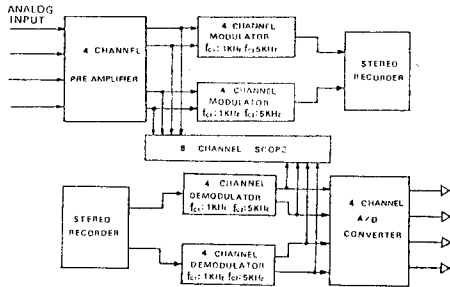


그림 4.1 임상신호 수집 시스템의 블록선도
Fig. 4.1 Receiver system for clinical signal

5. 실험 및 결과 고찰

여기서는 임상신호 수집 시스템으로 얻은 데이터를 가지고 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 다중 채널 적응 잡음제거기의 변수를 결정하여 태아심전도 시스템의 추출결과를 고찰하고 실시간 시스템과 같은 연산구조로 시뮬레이션을 수행시켜 실시간 시스템에서의 결과를 예상한 후 TMS32020 어셈블러를 사용하여 실제로 구성한 시스템을 수행시켜 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 비교, 확인하고자 한다.

5.1 컴퓨터 시뮬레이션

다중채널 적응 잡음제거기에 그림 2.2와 같은 형태로 신호를 입력시켰을 때 태아심전도 신호를 추출해 낼 수 있는 프로그램을 포트란언어로 구성하여 실행시킨 후 수행결과로부터 스무딩 계수와 필터차수를 결정한다. 컴퓨터 시뮬레이션에는 그림 5.1과 같은 임상신호를 사용하였다.

1) FIR 필터의 구성

수집된 신호는 60Hz 잡음뿐만 아니라 산모의 근육 신호에 의하여 생기는 잡음과 호흡에 의한 기저선 변동 등 많은 잡음요소를 가지고 있다. 그림 5.2는 0.5-70Hz의 대역폭을 갖는 필터로 태아심전도를 추출했을 때 잡음제거기 출력단에 나타난 결과이다.

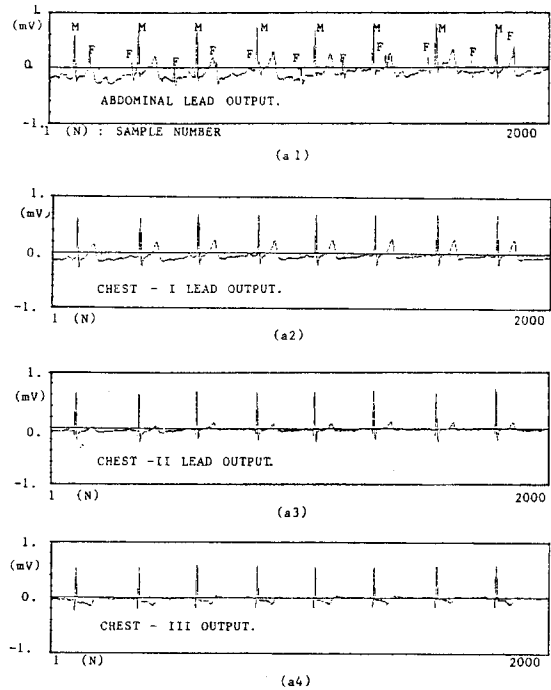


그림 5.1 수집된 임상신호

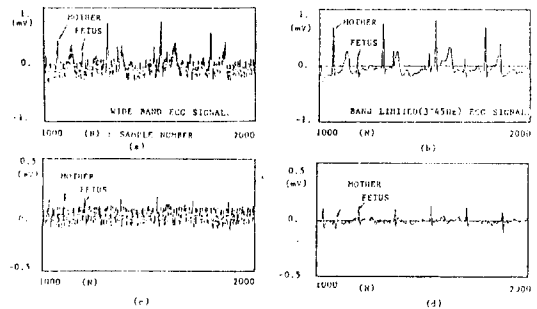


그림 5.2 잡음제거에 의한 추출결과 비교

2) 필터차수의 결정

구성된 다중채널 적응잡음제거기에 사용되는 필터차수는 원시입력의 샘플지연에 의해 결정된다. 필터차수가 같을 경우, 원시입력의 샘플지연을 시행했을 때 샘플지연이 없는 경우보다 신호를 정확하게 찾아 낼 수 있다. 시스템의 스무딩 파라메타 값을 0.995로 고정하고 원시입력의 샘플지연을 변화시켰을 때 결과가 그림 5.3에 나와있다. 여기서 $N=41$, 즉 샘플지연이 $L=20$ 인 경우에 추출 결과가 우수함을 알 수 있다.

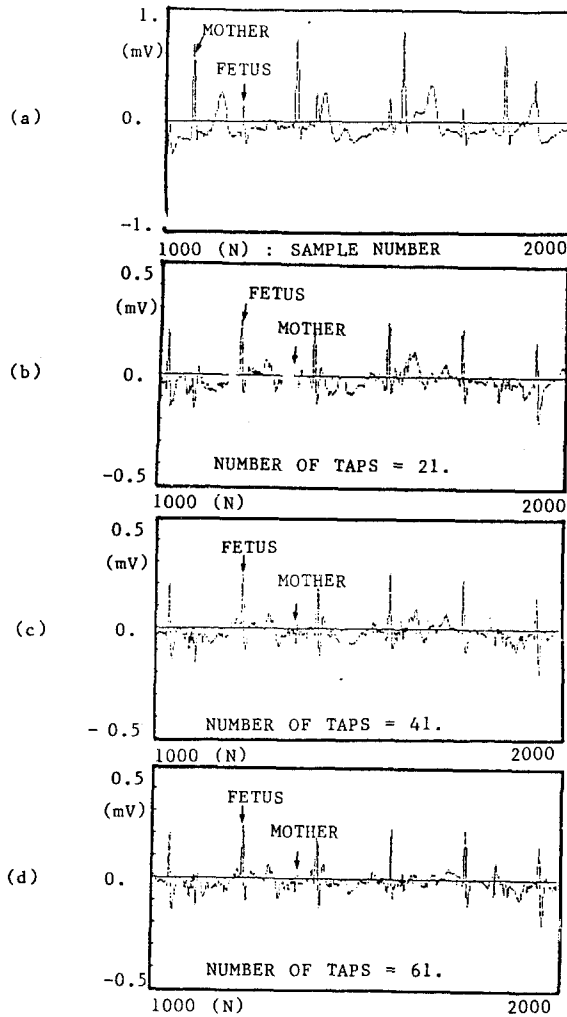


그림 5.3 필터차수 변화에 따른 추출결과 비교

3) 스무딩 파라메타의 결정

스무딩 파라메타는 필터차수를 고정시킨 상태에서 그값을 변화시켜가며 잡음제거기의 출력결과를 비교하여 최적수행을 할 수 있는 값을 결정하였다. 그 결과 필터차수를 41로 고정할 때 스무딩 파라메타가 0.99609375일때의 수행결과가 가장 우수한 것으로 판단된다.

4) 채널수에 따른 태아심전도의 추출결과 비교

기준입력의 수에 따라 태아심전도의 추출결과가 어떻게 달라지는지를 고찰해 본바 결과 산모의 심전도 신호가 정상상태일때는 추출결과에 별다른 차이가 없으나 산모심전도가 역전된 상태에서는 3개의 기준입력을 사용했을때 가장 우수한 추출 결과를 얻을 수 있었다.

5) 고정 소숫점 연산을 통한 시뮬레이션

TMS32020은 고정소숫점연산을 하며 데이터 RAM에 있는 숫자는 하나의 부호비트와 k개의 정수비트 및 15-k개의 분수비트로 나타내진다[9].

구성된 실시간 태아심전도 시스템에서는 Q14 포맷을 사용하였으며 이때 데이터의 해상도는 .00390625가 되고 저장되는 데이터의 크기는 -2부터 2의 값을 갖는다.

TMS32020은 이와같이 제한된 해상도연산을 하므로 전문한 알고리즘이 실제 구성한 실시간 시스템에 적용되었을때의 고찰이 필요하다. 따라서 포트란 언어로 TMS32020과 동일한 데이터 포맷으로 연산을 하는 소프트웨어를 작성하여 실행시켜 결과를 비교하였다. 그림 5.4의 결과로부터 두가지 연산방법에 의한 결과가 거의 동일함을 알 수 있다.

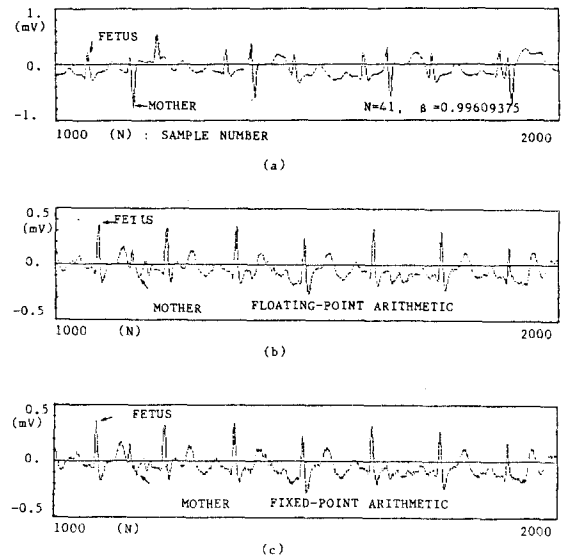


그림 5.4 고정소숫점연산에 의한 태아심전도 추출

5.2 실시간 신호처리 결과

1) 실시간 시스템 소프트웨어

구성된 시스템 소프트웨어의 흐름도는 그림 5.5와 같다. 시스템 소프트웨어는 TMS32020의 구조에 맞게 짜여진 인터럽트 서비스 루틴(routine)들로 구성되어 있다.

A/D변환기의 EOC신호가 TMS32020의 인터럽트 핀에 연결되어있기 때문에 TMS32020은 인터럽트가 발생할때마다 A/D 샘플을 읽어드리고 4채널 신호에 대한 데이터 입력이 끝나면 다중채널 잡음제거기의 계수 조정 과정을 거친 후 A/D 변환기를 제어하여 출력

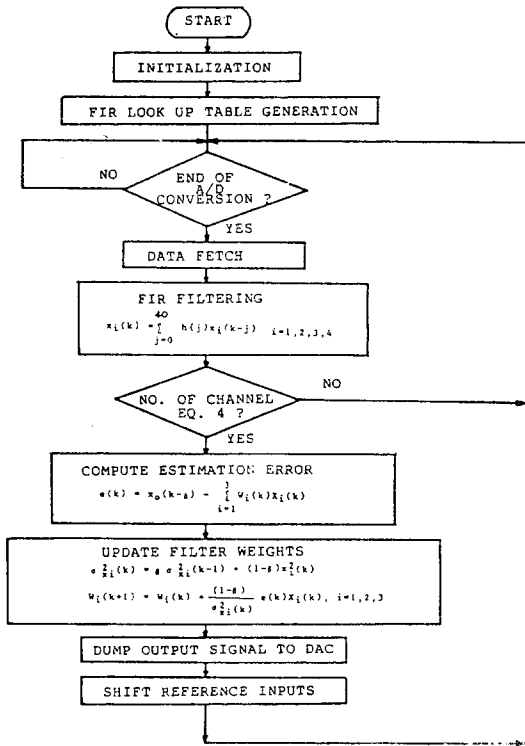


그림 5.5 실시간 시스템의 소프트웨어 흐름도

신호를 내보낸다. 출력이 끝나면 다시 인터럽트 검색과정으로 귀환한다. 이때 새로운 샘플을 받아들이기 위하여 저장 데이터를 하나씩 옆으로 옮긴다. 입력신호가 250Hz의 속도로 샘플링되므로 입력신호의 샘플간격동안 20MHz의 클럭으로 동작하는 TMS32020이 수행할 수 있는 클럭수는 80,000개이다. 작성된 실시간 시스템 동작 프로그램은 TMS32020의 명령수행 가능 시간중 약 12.8%를 소비한다.

2) 실시간 태아 심전도 추출 결과

그림 5.6은 구성된 시스템을 실시간으로 수행시켰을 때 얻은 실시간 결과이다.

다중 채널 잡음제거기의 입력신호는 4채널 심전도 기록기를 사용하여 기록하였으며 추출된 태아심전도는 1채널 심전도 기록기를 사용하여 기록하였다. 그림 5.6(a)는 산모의 복부신호이며 (b), (c), (d)는 산모의 가슴에서 얻은 신호이다. 얻어진 심전도신호는 60Hz 잡음이나 기저선 변동등의 잡음성분이 별로 없다. 이는 심전도 신호를 수집하는 전치증폭기에 필터회로를 구성하였기 때문이다. 그림 5.6(e)는 추출된 태아심전도를 기록한 것이다. 컴퓨터 시뮬레이션에서 기대하였던 결과와 유사한 우수한 결과로 판단된다.



그림 5.6 실시간 태아 심전도 추출결과

Fig. 5.6 The result of real-time FECG extraction

6. 결론

복부부착 방법을 사용하여 태아심전도를 추출할 때 태아심전도와 함께 검출되는 산모심전도를 제거하기 위한 다중채널 적응 잡음제거기를 실시간에 구현할 수 있는 실시간 태아심전도 감시 시스템을 구성하여 그 효율성을 보였다.

구성된 잡음제거기는 세계의 기준입력을 가지며 산모의 복부신호가 기대응답으로 사용되고 산모의 가슴에서 얻은 세계의 심전도 신호가 기준입력으로 사용되어 LMS알고리즘을 이용한 잡음제거 과정을 거쳐 산모심전도를 제거해 낸다. 세계의 기준입력을 가진 잡음제거기가 얼마나 산모심전도를 잘 제거할 수 있는지를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 보였으며 수집된 여러가지 임상신호를 가지고 실제 발생할 수 있는 다양한 상황에 대하여 예측되는 결과들 고찰하였다. 시뮬레이션 결과는 세계의 기준입력을 사용하면 복부에서 얻어지는 신호에 포함된 산모 심전도 신호가 어떠한 형태로 나타나더라도 제거시킬 수 있음을 보여주었다.

컴퓨터 시뮬레이션에서 나타난 결과와 동일한 성능을 가진 실시간 태아심전도 추출시스템을 구성하기 위하여 디지털 신호처리기로는 TMS32020을 사용하였으며 이를 MC68000 이뮬레이터와 IBM-PC에 인터페이스하여 구동시켰다.

구성결과 컴퓨터 시뮬레이션과 같은 결과를 얻을 수 있었으며 심전도 신호를 얻기 위한 전치증폭기와 추출된 태아심전도를 표시할 수 있는 장치를 임상에서 실제 사용하는 것으로 구성하였다.

또한 구성된 실시간 태아심전도 감시 시스템은 산모심전도가 제거된 태아심전도를 얻는 과정에서 시스템이 최고속도로 동작한다고 할 때 전체 동작 가능한 시간의 12.8%만을 소비하기 때문에 태아심전도를 실시간으로 추출할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] E.H.Hon and O.W.Hess, "The clinical values of fetal electrocardiography," Am.J.Obst. & Gynec., vol.79-5,pp1012-1023,1960.
- [2] B.Kendall,D.M.Farell and H.A.Kane, "Fetal radiocardiography: a new method of fetal electrocardiography," Am.J.Obst. & Gynec., vol.83-12,pp1629-1636,1962.
- [3] "112 fetal monitor operator's manual," Corometrics medical systems, inc., 1978
- [4] W.D.Walden and S.J.Birnbaum, "Fetal electrocardiography with cancellation of maternal complexes," Am.J.Obst. & Gynec.,vol.94-4, pp596-598, 1966.
- [5] A.G.Favret and A.A.Marchetti,"Fetal electrocardiographic waveforms from abdominal wall recording," Am.J.Obst. & Gynec.,vol. 27-3, March, 1966.
- [6] B.Widrow et al., "Adaptive noise cancelling: principles and applications," Proc.IEEE, vol. 63-12, pp 1692-1716, 1975
- [7] D.G.Messerschmitt, "Echo cancellation in speech and data transmission," IEEE J. on selected topics in communications, SAC-2, no.2,pp283-3-3, Mar. 1984
- [8] "MC68000 educational computer board user's manual,"Motorola Inc., 1986
- [9] "TMS32020 user's guide," Texas Instruments, Inc., 1985