

전자 태아감시장치 신호 분석의 알고리즘(Algorithm)에 대한 예비적 연구

⁰윤 홍 준¹, 김 용 만², 목 정 은², 정 규 식¹

숭실대학교 전자공학과¹, 울산대학교 의과대학 서울중앙병원 산부인과²

A Preliminary Study on the Algorithm of Signal Analysis of Electronic Fetal Monitoring System

Hong-Jun Yoon¹, Yong-Man Kim², Jung-Eun Mok², Kyu-Sik Chung¹

Dept. of Electronics Eng. Soong-sil Univ.¹, Dept. of OB&GYN, Univ. of Ulsan, Asan Medical Center²

요약

중앙 집중식 태아 전자감시 시스템은 태아의 안녕을 관장하는 중요한 평가방법이다. 그러나, 태아감시 시스템은 입력 신호의 장기간의 빈동 추이를 검사해야 하며, 따라서 해석하는 사람의 집중력이 쉽게 지해질 수 있다. 컴퓨터를 이용한 태아 감시장치 신호의 자동해석은 분만장의 의사 및 간호사의 임무를 한층 부담없고 손쉽게 할 수 있다. 본 연구에서는 중앙 집중식 태아감시 시스템에서 간단하고 효율적으로 적용할 수 있는 신호 해석 알고리즘을 제시하고, 그에 따른 고속 프로그램을 구현하여 실제 시스템에 적용해 봄으로써 신호 해석 알고리즘의 실효성을 검토해 보고자 한다.

1. 서론

산전 및 진통중 태아의 안녕 평가방법에는 여러가지 방법이 있다.¹⁾ 그 중 손쉽고 보편적인 방법으로 전자식 태아심박 및 자궁수축압 감시장치를 들 수가 있다.²⁾ 산전, 혹은 진통중인 산모의 진료시 태아 심박수, 자궁수축 압력, 그리고 태아의 움직임등을 복합적으로 비교 검토하여 태아의 안녕유무를 판정하게 된다.³⁾ 전자 태아심박 감시장치를 이용한 검사는 산전 및 진통중 기본적인 검사로 자리 잡아가고 있다.

태아감시 시스템은 두가지로 나누어 볼 수 있는데, 하나는 개별 산모에게서 데이터를 직접 입력받아 그 내용을 출력하여 주는 개인용 전자 태아감시 장치가 있고, 개인용 장치에서 데이터를 받아서 중앙에서 동시에 다수의 산모와 태아를 감시할 수 있는 중앙 집중식 전자 태아감시 장치가 있다.

본 논문에서는 중앙 집중식 태아 전자감시 시스템에서 응용할 수 있는 신호 해석 알고리즘을 연구하고, 실제로 프로그램을 구현하여 적용하였다. 중앙 집중식 태아감시 시스템은 여러 대의 장치들을 동시에 감시하고 통제해야 하므로, 해석을 위한 고속 알고리즘이 필요하다. 따라서, 시스템의 전체 운영에 장애를 주지않는 한도 내에서 원하는 특징을 획득할 수 있는 시스템을 설계하였다.

또한, 기존에 개발한 개인용 PC 를 이용한 중앙 집중식 태아 전자감시 시스템에 쉽게 적용할 수 있도록 작성하였으며,⁴⁾ 추후 네트워크를 이용한 시스템 등에 적용할 수 있는 확장성을 고려하여 구성하였다.

2. 태아 전자감시 시스템 신호의 해석 방법

1) 산전 태아감시 (Antepartum Fetal Monitoring)

산전 태아감시에서 태아 전자감시 시스템 신호를 해석하는 방법으로는 태아심박수의 변화를 관찰하는 방법으로 자궁수축 검사(contraction stress test)와 비수축검사(nonstress test, fetal heart acceleration test)가 사용된다.

(1) 자궁수축검사

자궁수축검사는 1~2시간정도 소요되며, 산모를 누인 뒤 초음파 transducer를 사용하여 태아심박수를 기록하고, 자궁수축은 외부에서 tocographic transducer 로 측정한다.

태아 심박수와 자궁수축압을 적당한 관찰주기(10~30분)를 두어 기록한다. 매 10분마다 산모 혈압을 측정한다. 우연히 40~60초 지속하는 자연적인 자궁수축이 10분에 3회 이상 발생하면 그 결과를 판독하고, 자연수축이 없으면 oxytocin을 정맥주사한다.

해석 방법

- Positive : 지속적이고 일관된 late deceleration 이 나타나는 경우
- Negative : 40초 이상 지속되는 자궁수축이 10분에 3회 이상 지속되어도 태아심박수의 지하가 없는 경우
- Suspicious : late deceleration 이 자궁수축마다 일관되지 않게 나타나는 경우
- Hyperstimulation : 자궁수축이 2분미만마다 자주 오거나 수축기간이 90초 이상 되는 경우, 자궁이 고긴장상태에 있는 경우
- Unsatisfactory : 수축의 빈도가 10분에 3회 미만이거나 기록이 불량한 경우

(2) 비수축검사

초음파 transducer를 복부에 부착하고 부착하고 태아심박을 기록하면서 배민 태동이 느껴질 때마다 산모로 하여금 비튼을 누르게 하여 태아심박수와 태동이 동시에 기록되도록 한다.

전자 태아감시장치 신호분석 알고리즘(Algorithm)에 대한 예비적 연구

해석방법

- **Reactive** : 10~20분 검사동안 2번 이상의 태동이 발생하며, 태동은 15bpm 이상의 변화가 15초 이상 지속되는 경우. 기준선은 120~160 bpm 사이에서 5~15 bpm 의 변위를 가진다.
- **Nonreactive** : 40분 이상 관찰하여도 태동이 동반되는 태아 심박수의 상승이 없는 경우
- **Unsatisfactory** : 태동이 없는 경우

2) 진통중 태아감시 (Intrapartum Fetal Monitoring)

(1) 기준선 (Baseline) : 평균적인 태아 심박수

- **Normal range** : 120~160 bpm (beats per minute)
- **Tachycardia** :
 - * **Moderate** : 160~180 bpm
 - * **Marked** : 180 bpm 이상
- **Bradycardia** :
 - * **Moderate** : 100~120 bpm
 - * **Marked** : 100 bpm 이하

(2) 변위 (Variability) : 기준선에서 발생하는 변동

- **Short-term** : 계속되는 심장박동 사이에서 생기는 변위
- **Long-term** : 5~30초 이상 발생하는 심박의 누적된 변위
- **Average** : normal
- **Increased** : 25 bpm 이상
- **Decreased** : 6 bpm 이하,
- **Absent** : flat line
- **Sinusoidal** : 2~5 cycles/min, 5~15 bpm
- **Marked** : 15 bpm 이상

(3) 주기적/비주기적 변화

(Periodic and Nonperiodic Changes)

- **Acceleration** : 태아 심박수의 증가
 - * **Uniform**
 - * **Variable**
 - * **Special patterns** : Periodic, Lambda, Prolonged, Atypical, Marked
- **Deceleration** : 태아 심박수의 감소
 - * **Uniform** : Early, Late
 - * **Variable** : Classic, Mild, Moderate, Severe
 - * **Combined**
 - * **Mixed**
 - * **Prolonged**

(4) 진통중 태아감시 해석방법의 분류⁵⁾

Class I : Normal Pattern

- stress 를 받지 않은 건강한 태아 심박패턴

Class II : Stress Pattern

- hypoxia 혹은 다른 stress 를 가한 반응으로 발생하는 건강한 태아의 심박패턴

Class III : Nondiagnostic pattern

- 진단이 불가능한 경우, 더 많은 정보가 필요한 패턴

Class IV : Patterns with Atypia

- 패턴이 불규칙한 경우

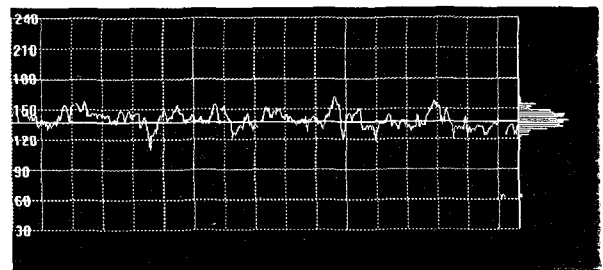
Class V : Distress-like Patterns

- 매우 위험한 경우, 조급한 분만 요망

3. 태아 전자감시 시스템 신호의 해석 알고리즘

(1) 히스토그램을 이용한 기준선의 검출

기준선은 평균적인 태아 심박을 구하는 중요한 지표이다. 전자 태아감시 장치에서 입력되는 태아 심박수는 여러 형태의 Short-term/Long-term 변위가 입력되며, 따라서 기준선을 검출하기 위해서는 태아 심박 그래프의 히스토그램(Histogram)을 구하여 검출한다. 태아 심박 그래프의 히스토그램을 구하면 기준선 부분이 가장 높은 분포를 가지게 된다.



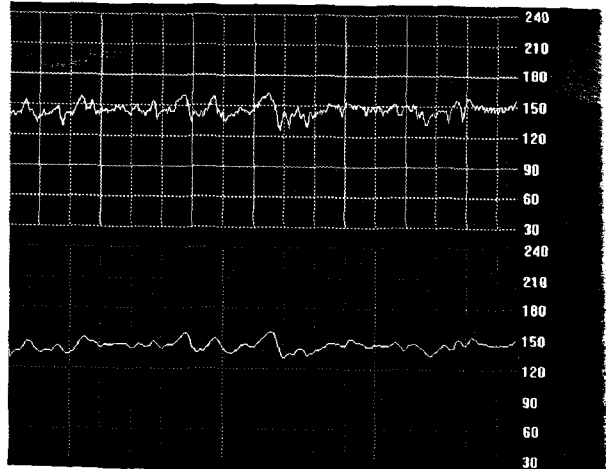
<그림 1 : 히스토그램으로 기준선을 추출한다>

(2) 지역통과 필터를 이용한 태아 심박 그래프의 해석

산모와 태아의 일반적인 상황에서 태아 심박만을 이용하여 태아의 상태를 검사하는 비수축검사에서는 태아 심박 그래프의 Acceleration 횟수가 검사의 기준이 된다. 태아심박 그래프에서 Short-term 변위와 Long-term 변위가 같이 검출되는 데, 그래프의 전체적인 추이를 보기 위해서는 Long-term 변위만을 골라내어야 한다.

디지털 지역통과 필터를 구현하는 방법에는 FIR 필터, IIR 필터 등 여러가지 방법이 있고, 구현이 간단하며 속도가 빠른 적분형 필터를 사용하기도 한다.

지역통과 필터를 통과한 신호에서 변곡점을 검출하여 Acceleration 횟수를 구한다.



<그림 2 : 지역통과필터로 고주파를 제거한 신호>

(3) 지역통과 필터를 이용한 자궁 수축 그래프의 해석

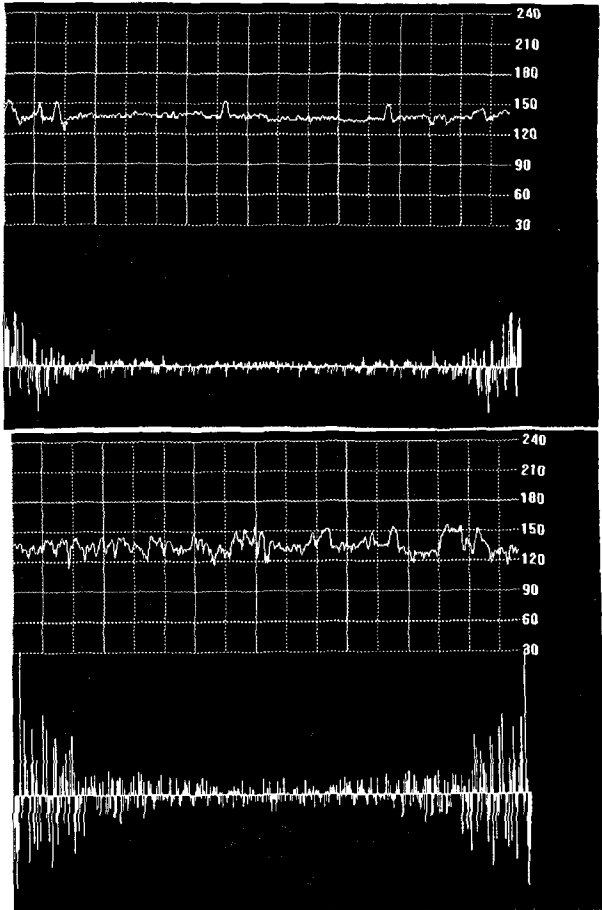
태아에게 고의적으로 Stress 를 가하여 심박의 변화를 검사하는 자궁수축검사는 태아 심박 그래프와 자궁 수축 그래프를 동시에 관찰하여야 한다. 자궁수축검사를 수행하고 있는 경우, 태아 심박 그래프에서 자궁 수축 압력이 가해지는 시간 차이에 따라 Early Deceleration/Late Deceleration 을 검출하여야 한다.

자궁 수축 그래프에서도 역시 고주파 잡음이 같이 섞이게 되며, 지역통과 필터를 이용하여 고주파 신호를 제거함으로써 깨끗한 신호를 검출한다. 자궁 수축 그래프의 빈폭점과 태아 심박 그래프의 빈폭점을 구하여 Early Deceleration/Late Deceleration 을 구한다.

(4) Fourier 계수를 이용한 고주파 성분의 검출

태아 심박 그래프에서 Short-term 빈위를 검출하는 방법으로 Fourier 계수를 사용한다.

일반적인 Discrete Fourier Transform 방법을 이용하면 속도가 느린 단점이 있으므로 고속 Fourier 변환을 사용하여 계수를 구한다. 따라서, 2의 배수 크기를 가지도록 비위를 입력한다. 검사에 필요한 데이터의 갯수가 600개이므로, 512개의 데이터를 이용하여 계수를 구한다.



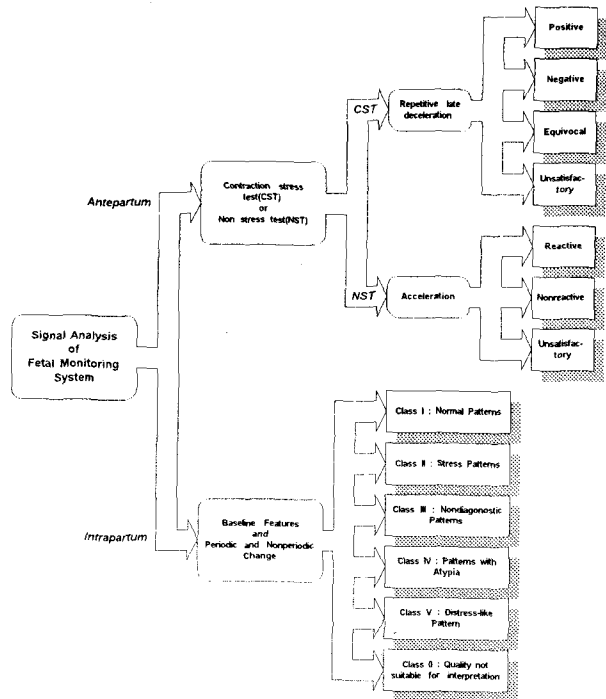
<그림 3 : Fourier 계수를 이용하여 주파수 분석한 모습. 빈위가 클수록 계수가 크게 나타난다.>

(5) 검사 주기

태아 심박수와 자궁 수축압은 2초마다 한민씩 샘플링하여 데이터를 얻고, 검사는 모든 항목을 매 20 분마다 한민씩 행한다. 태아 심박수와 자궁수축압의 데이터가 각각 600개씩 필요하다. 다만, Fourier 계수는 고속 알고리즘의 적용을 위하여 512개의 비피 데이터를 이용하여 값을 구한다.

(6) 신호의 해석

입력된 신호에서 원하는 특성을 검출한 다음에는, 획득한 특성을 이용하여 신호를 해석한다.



<그림 4 : 추출한 특징을 이용하여 신호를 해석한다>

4. 실험 및 결과

PC를 이용한 중앙 집중식 태아감시 시스템에 적용하여 사용하기 위하여 프로그램 코드를 작성하였다.

매 20분마다 한 민씩 검사하도록 하여, 그래프의 해석에 필요한 모든 특징을 다음 데이터를 입력받기 이전에 모두 획득할 수 있었다. 수행하고자 하는 검사의 종류를 미리 입력하여 대체적으로 원하는 해석 결과를 얻어낼 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 중앙 집중식 태아 전자감시 시스템에 적용할 수 있는 전자 태아감시 장치 신호의 해석 방법에 대해서 연구하고, 그에 필요한 고속 알고리즘을 제안하였다. 해석에 필요한 특징들을 빠르게 획득할 수 있었으며, 해석 프로그램이 첨가된 상태에서 전체 시스템이 무리없이 동작하였다.

그러나, 더욱 정확하고 실용적인 시스템으로 설계하기 위해서는 획득한 그래프의 특징들을 평가하는 실용적인 방법이 필요하다. 향후, 보다 많은 임상사례를 분석하여 신호의 독특한 특징을 추출 및 분류하고, 그 특징들을 이용하여 해석 결과를 추론하는 빠르고 정확한 방법을 연구하여 적용할 계획이다.

참고문헌

- 1) 대한산부인과학회, 산과학, 칼민서적, pp 210-241, 1991.
- 2) K. Hammacher, *Fruherkennung intrauteriner gefahrenzustande durch electrophonokardiographie and fokographie*. In Elert R., Huter KA(eds) : *Prophylaxe Fruhkindlicher Hirnshadea*, Stuttgart, Georg Thieme, pp 120, 1966.
- 3) E. H. Hon, *Fetal heart rate monitoring*, In Gluck L(ed) : *Modern perinatal medicine*. Chicago. Year Book, 1974.
- 4) 전병문 외, 산모 영상감시 겸용 중앙집중식 태아 전자감시 시스템의 개발 및 임상적 응용, 대한의용생체공학회 추계학술대회논문집, pp 40-43, 1993.
- 5) Micki L. Cabaniss, *Fetal Monitoring Interpretation*, J. B. Lippincott Company Philadelphia, pp 1-14, 1993.
- 6) Marvin L. Hage, *Interpretation of nonstress tests*, Am J Obstet Gynecol, 153, pp 490-495, 1985.
- 7) A.K. Hiatt et al, *A comparison of visual and automated methods of analyzing fetal heart rate tests*, Am J Obstet Gynecol, 168, pp 1517-1521, 1993.