

영상인식을 이용한 혈관조영기(Angiography)의 정량분석

°이동혁, *김희찬, *민병구

°서울대학교 공과대학 협동과정 의용생체공학전공

*서울대학교 의과대학 의공학교실

요 약

심장과 혈관의 고해상도 영상을 얻어 심질환에 관한 정보를 얻는데는 혈관조영기(Angiograph)가 가장 유용하게 사용되고 있다. 본 연구는 혈관조영기의 정량분석을 위한 영상 알고리즘을 구현하였다. 심장의 수축 이완에 따른 심벽의 부위별 움직임과 심장 체적 변화를 측정 수치화하고 혈관을 따라가면서 혈관의 두께를 기록하는 프로그램을 작성하였다. 영상 획득과정에서 생기는 잡음과 위치오차를 없애는 전처리를 거친 후에 구조적 형태 인식법(Structural Pattern Recognition)으로 인식 알고리즘을 구현하였다. 14장의 심장의 수축이완 연속사진과 2장의 관상동맥 혈관조영사진을 분석한 결과 비교적 정확한 측정을 해내는 것을 관찰할 수 있었다.

서 론

컴퓨터가 개발된 이후 지난 수십년간 영상처리에 관한 기술이 많이 발전하였다. 그러나, 영상인식은 엄청난 계산량을 따라가지 못하는 하드웨어와 범용 알고리즘 개발의 어려움으로 인하여 큰 발전을 하지 못하고 있었다. 그러나, 최근 하드웨어와 알고리즘의 급격한 발전이 계속되고 있어 영상인식 기법이 많이 응용되고 있는 상황이다. 문자인식시스템, 지문인식, 얼굴인식, 명함인식 등이 이런 응용의 대표적인 예이다.

의료영상은 가장 많이 그리고 가장 중요하게 쓰이는 영상들 중의 하나이다. 그러나, 의료영상의 비정형성과 사용자와 개발자의 교류부족으로 인하여 의료영상의 자동인식 기법은 아직 활발히 연구되고 있지 않은 상태다. 병원전상망(PACS)이 구축되어가고 있고 개인용 컴퓨터의 보급되어 일반적인 도구로 자리잡고 있는 시점에서 컴퓨터를 이용한 인식 자동화는 그 효과가 매우 크다고 할 수 있다. 본 연구는 이러한 영상인식시스템 개발의 기초 연구로 흉부 영상처리 시스템의 일부인 혈관조영기의 자동인식 알고리즘을 구현하였다.

혈관조영기는 심장의 크기와 기능적 특성과 관상동맥의 크기 등을 알아내는데 유용한 고화질의 영상을 제공한다. 이러한 크기와 기능적 특성에 관한 정량화된 데이터는 크게 심실과 혈관의 체적 계산, 심벽의 부위별 움직임(Wall Motion) 정도 그리고 혈관의 크기(Aortic Demension) 결정의 세가지로 나눌 수 있다.

1. 혈관조영기에 의한 체적계산에 의해서는 일박출량과 박출비, 반전 혈류의 양, 시간에 따른 체적의 추이곡선, 압력과 체적간의 상관성 그리고 심장의 질량(Mass) 등을 알 수 있으며, 이들 정보를 분석하여 판막이상, 심장의 기계적이상을 정량적으로 이야기해 줄 수 있다.
2. 심벽 움직임의 분석은 관상동맥 협착으로 인한 급성심근경색의 발병 위치와 처치 후의 효과를 관찰하는데 많이 사용된다. 그리고 판막이상에 대한 정보도 줄 수 있다.
3. 관상동맥의 혈관을 따라 계산된 혈관의 크기를 통해 협착의 위치와 협착의 정도를 백분율로 계산할 수 있다.

방 법

형인식의 기법은 크게 확률적 형인식(Statistical PR), 문법적 형인식(Syntactic PR) 그리고 신경회로망 형인식(Neural PR)이 있다. 여기에 사용된 것은 문법적 형인식으로 비교적 일정한 형태를 갖추고 있는 심실이나 관상동맥의 모양을 찾아내는데 적합한 방법이다.

다음은 알고리즘의 대략적인 내용이다.

전처리 (PreProcessing)

1. 영상획득 : 필름으로 저장되어 있는 환자의 사진을 프로젝터로 투영시킨 후 이를 CCD 카메라로 잡아 IBM-PC file로 저장했다.
2. 영상보강 (Image Enhancement) : 영상획득시의 잡음을 제거하기 위해 3x3 저주파 필터를 사용하였다.
3. 영상구분 (Image Segmentation) : 영상을 이치화시키는 방법으로 histogram을 이용한 Segmentation을 이용하였다.
4. 경계찾기 (Edge finding) : 원 영상의 경계를 이치화된 영상의 이진경계로 부터 찾았다.

체적계산 및 좌심벽 움직임 분석
(Left Ventricular wall motion analysis)

순서

0) 좌심방의 움직임을 찍은 연속된 Angiography 사진으로부터 영상을 획득한다. 1) 3x3 저주파 필터링을 통해 잡음을 제거한다. 2) 휘도의 일정 임계치(e.g.150)를 설정 후 이치화하여 영상을 구분한다. 3) 이진영상에서 화소의 명암이 변하는 곳을 경계로 찾는다. 4) 연속된 영상 중 기준영상을 정하고 여기서 기준 template을 잡아 이것을 각 영상위에서 진후좌우로 평행이동 시켜나가면서 상관성(Correlation)을 구하여 제일 상관성이 높은 상관성을 갖는 좌표로 영상 전체를 평행이동시켜 위치보정을 한다. 5) 끊어진 경계를 잇고 일정 크기 이하의 반점을 제거한다. 6) 기준영상위에 기준축을 설정하도록 한다. 7) 기준축의 중점을 중심으로 하여 각을 32등분하여 벽면의 위치를 정하고 이 위치들이 영상이 순차적으로 진행됨에 따라 변하는 모양을 그리고 분석한다. 8) 중심에서 가장 멀리 떨어져 있는 벽면까지의 선분을 찾고 이 선분 양쪽으로 경계가 나올 때까지 화소를 찍는다. 이런 화소의 갯수를 면적으로 구했다.

알고리즘 분석

좌심방이 한번 수축-이완 되는 연속 Angiography 영상 14 frame을 이용하였다. 저주파 필터링은 $\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$ 의 3x3 matrix convolution을 함으로써 구현하였다. 획득된 원 영상의 경계를 부드럽게 하기 위해 저주파 필터링을 하였다. 저주파 필터링을 많이 할수록 경계가 더 부드러워져서 나중에 분석하기에 용이하다. 영상 분석을 위해서는 원하는 모양의 경계를 찾아야 한다. 분석을 위해서는 경계가 끊이지 않는 단일선으로 추출해야 한다. 여기서는 영상의 밝기에 따라 이치화한 후 이진경계를 찾는 기법을 채택하였다. 다른 경계 추출법이 많이 있지만 단일선과 끊이지 않는 경계라는 조건을 만족시키기가 어려웠다. 영상 획득과정의 흔들림이나 심장의 움직임에 따른 흔들림 때문에 영상간의 심장위치가 다를 수 있다. 사용자가 기준영상에서 기준영역을 잡으면 이를 네게 방향으로 평행이동하면서 상관성이 제일 높은 위치를 찾아낸다. 기준점에서 찾은 위치만큼 영상을 평행이동을 하여 위치 보정을 한다. 테두리 추적(Contour following)으로 끊어진 경계를 잇고 영역내의 객체면적인식을 이용하여 심장모양내의 원하지 않는 반점을 제거한다. 분석에 들어가지 전에 분석 영역을 설정하는 기준축을 설정한다. 기준축은 주로 움직임이 적은 심장의 뿌리 부분을 선택한다. 기준축의 중점이 분석의 중심점으로 움직이지 않는 절대점으로 간주된다. 벽면의 움직임은 이 중심점으로 부터의 거리의 변화로 측정된다. 기준축으로 부터의 각이 같은 벽면은 frame에 상관없이 동일 벽면이라고 간주하였다. 여기서는 중심점으로 부터의 각을 32등분하여 측정된 벽면의 위치를 설정하였다. 매 frame마다 측정점들의 중심으로 부터의 거리를 그림으로 나타내었고 14 frame의 탐색이 끝난 뒤에는 특정 측정점의 움직임을 따로 볼 수 있도록 하였다. 측정하고자 하는 면에 일정간격으로 점을 찍었을 때 그 면적은 이 점들의 갯수로 나타낼 수 있다. 이 시스템에서

는 절대 크기는 보정을 따로 할 예정이므로 여기서는 상대적인 크기 비교하였다. 면적을 구하는 순서는 다음과 같다. 매 frame마다 32개의 측정점 중 가장 멀리 있는 측정점까지의 축을 찾는다. 이 장축위의 한 점에서 기준축의 각도로 벽면을 찾을 때까지 탐색하며 점을 찍어나간다. 장축위의 점을 중심점에서 끝점까지 변화시키면서 위의 과정을 반복한다.

혈관 모양 분석
(Coronary arterial width analysis)

순서

0) 관상동맥의 혈관조영기 사진으로 부터 영상을 획득한다. 1) 3x3 저주파 필터링을 통해 잡음제거한다. 2) 마우스로 보고자하는 영역(ROI)를 circular하게 잡는다. 3) 히스토그램을 이용 적당한 임계치를 설정하여 이치화한다. 4) 이진영상의 무게중심을 구하고 이를 중심으로 축을 일정각 단위로 회전이동하며 가장 긴 축을 찾는다. 5) 일정 간격을 두고 장축을 따라가며 양벽을 찾아 그 중심들을 구한다. 6) 중심과 중심을 연결하는 축을 만들고 그 축에 수직되는 방향으로 탐색을 하여 벽면을 찾아 양벽면을 찾을 때까지의 화소수를 혈관의 두께로 구했다.

알고리즘 분석

영상의 특성상 전영역을 한번에 이치화시키기가 어렵고 사용자가 보고자 하는 영역을 대부분의 경우 전영역이 아닌 국소부분이므로 ROI를 사용자가 정하도록 하였다. 영역을 직사각형이 아닌 원으로 잡은 것은 장축찾기에서 가능한 한 정확한 기준축을 찾기 위해서이다. 사용자는 마우스로 측정하고자 하는 점에서 부터 누른 후 적절한 크기만큼 잡아 당겨 놓으면 마우스를 누른 점을 중심으로 하고 잡아 당긴 길이를 반지름으로 하는 원 모양의 ROI가 설정된다. 부분영역마다 histogram 분포가 다르기 때문에 일괄적인 임계치를 잡아내기가 힘들다. 따라서 사용자가 그 임계치를 잡도록 하였다.

대부분의 임계치는 histogram에서 명도가 높은 쪽의 첫번째 극소점이 좋았다. 기준축을 찾아내기 위해 먼저 축을 회전시킬 중심이 필요한데 이 중심을 이진영상의 무게중심으로 설정하는 것이 가장 합리적이다. 이진영상의 무게중심은 백색 화소들의 x축 평균, y축 평균으로 계산한다. 이 중심점에서 축을 회전시키면서 구하는 축주위 각에서 다른 축들의 길이를 원 축의 길이에 더함으로서 평균치를 구한다. 평균치를 구한 이유는 일반적으로 구석점이 까지가 길이가 가장 길기 때문에 원하는 축을 찾아 주지 못하기 때문이다. ROI를 원으로 잡은 이유도 이런 구석점을 없애기 위해서이다.

기준축에서 양쪽으로 탐색하여 벽면을 찾아낸다. 양벽면과 만나는 두 점의 중심을 중앙점으로 저장해 둔다. 이 때 기준축의 모든 점 위에서 양쪽 벽면 탐색을 하는 것이 아니라 곡면의 요철 오차가 보정될 수 있는 정도의 스텝을 두고 탐색을 하고 중앙점을 찾는다. 여기에서는 스텝을 10 화소로 하였다. 저장해 둔 중앙점들을 연결하여 혈관의 부분 기울기를 정하고 연결된 선분위의

점들을 중심으로 하여 부분 기울기의 수직방향으로 벽면 탐색을 한다. 벽면 탐색까지 적힌 화소들의 갯수로 혈관의 두께를 정한다.

결 과

그림 에서 보는 것과 같이 심실 크기의 시간에 따른 추이곡선과 심벽의 움직임을 부위별로 얻을 수 있었다. 또한, 혈관의 수축정도를 정량적으로 분석한 결과는 그림 와 같다.

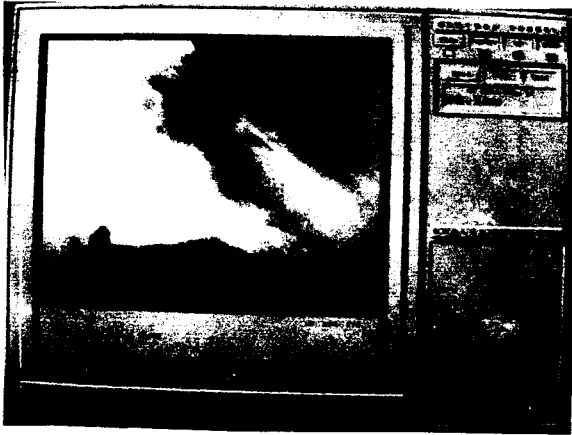


그림 1. 좌심실 심혈관조영사진에서 획득한 Raw영상.

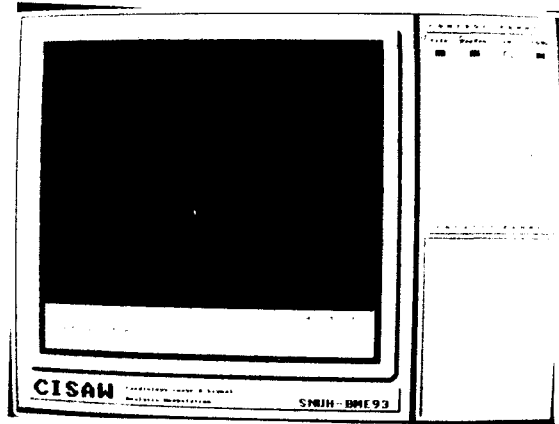


그림 4. 심벽 움직임 추적 및 심실 체적 추이 곡선 계산

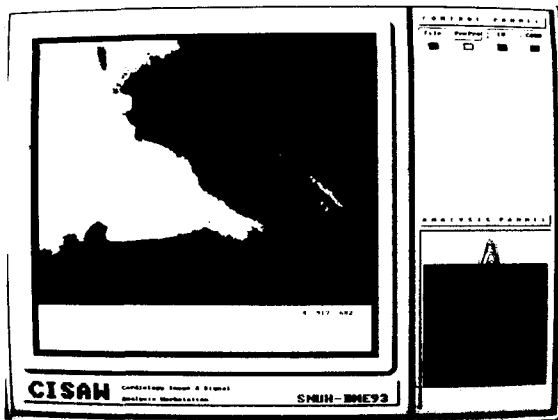


그림 2. Segmentation을 이용한 이치화 영상.

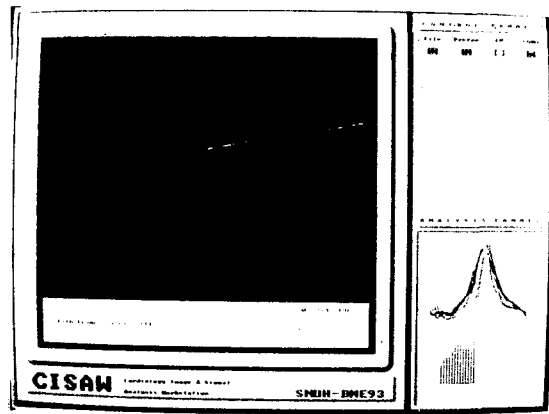


그림 5. 체적 및 좌심벽 움직임 분석이 완료된 모습.

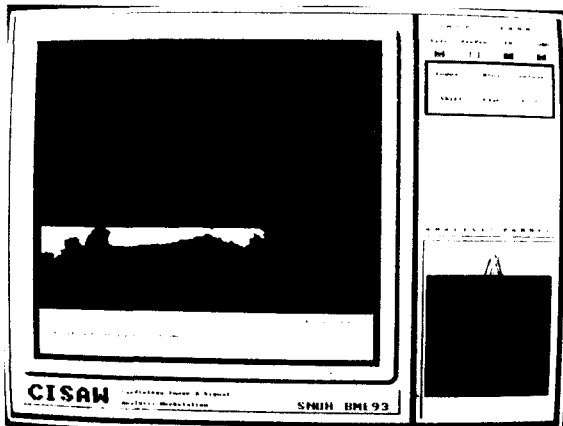


그림 3. 이치 영상의 테두리 찾기.

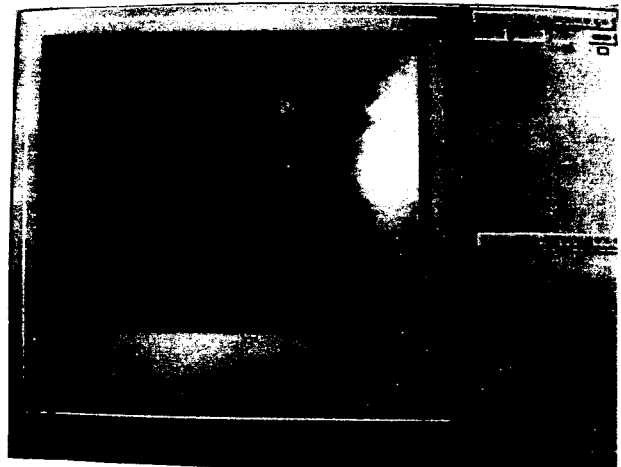


그림 6. 혈관 모양 분석을 수행한 화면.

토 의

참 조

개인용 컴퓨터의 일반적 사용과 의료 영상의 디지털 화 그리고, 병원전산망의 보급 등으로 의료영상의 자동 분석이 일반적으로 이용될 가능성이 커졌다.

본 연구의 결과는 다음 몇가지 사항에서 이 분야의 연구에 도움을 주었다고 할 수 있다. 먼저 영상의 전처리 등의 기본적인 프로그램 모듈들을 구현해 놓았기 때문에 개인용 컴퓨터에서 영상처리를 요하는 대부분의 프로그램 개발을 용이하게 하였고, 인식 알고리즘의 개발에 있어서 혈관조형영상 중 심실의 움직임 영상과 관상동맥 영상의 특성을 분석하였으며, PC를 통해 간편하게 심질환 질환 진단에 유용한 여러가지의 정량적인 자료를 제공할 수 있는 도구를 만들었다.

이후 수행되어야 할 연구 중 영상처리 부분에서는 X-ray나 CCD 카메라의 기계적 광학적 특성을 고려한 영상왜곡 보정, 영상인식 부분에서는 일반적이고 빠른 인식 알고리즘의 개발이 우선적으로 해결되어야 할 일이다.

1. William K. Pratt, "Digital Image Processing", Second Edition, Wiley-Interscience, 1991
2. William H. Press et al, "Numerical Recipes in C", Second Edition, Cambridge Univ. Press, 1992
3. Ioannis Pitas, "Digital Image Processing Algorithms", Prentice Hall, 1993
4. Herals T. Dodge et al, "Quantitative Angiographic Techniques", The Heart and Cardiovascular System, Second Edition, Raven Press Ltd., New York, 1992; 725-744