

## 영상분할을 이용한 의학영상에서의 심장혈류 측정

정철곤\*, 김중규\*, 김경섭\*\*

성균관대학교 전기전자 컴퓨터공학부\*, 삼성종합기술원 의료전자 Lab.\*\*

0331)290-7199 /Fax 0331)290-5819

### The Estimation of Blood Velocity from Heart in Medical Images using Regional Segmentation

Cheol.K. Jung\*, Joong.K. Kim\*, Kyeong.S. Kim\*\*

School of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University\*

Medical Electronics Lab., Samsung Advanced Institute of Technology\*\*

ckjung@gemmy.skku.ac.kr

#### Abstract

In this paper, we propose a non-invasive method to estimate blood velocity from the real medical images. To measure the magnitude and direction components associated with the blood velocity, we apply the optical flow analysis algorithm. It is demonstrated that the accuracy of the blood velocity estimate could possibly be increased by segmenting the optical flow region. We call this the Region Optical Flow(ROF) algorithm. We carried out some preliminary experiments using the aorta medical images, and corresponding regional optical flow diagrams are provided.

#### 서론

인체내부의 혈액은 영양분과 산소를 실어나르는 중요한 역할을 한다. 이를 위해 심장은 펌프와 같이 혈액을 뱉어내어 온몸에 보내어 준다. 따라서 균일한 혈류속도를 가지고 흐를 때에 인체내에 원활한 영양공급을 할 수가 있다.

대체로 상행대동맥의 평균혈류 속도는 150-175cm/s, 대퇴동맥은 80-120cm/s, 대뇌동맥의 경우는 40-70cm/s, 정맥은 20cm/s이다. 심장에서 흘러나오는 혈액은 온몸으로 흘러가기 때문에 혈류속도에 이상이 생기면 인체내에 여러 가지 질환을 동반한다. 그 대표적인 예로 심부전증과 같은 질환은 혈류속도가 너무 느릴 경우 발생하는 질병이다. 그러므로 인체내에서 혈류속도를 미리 측정하여 예방하는 것은 매우 중요하다. 따라서 혈류속도를 측정하기 위한 진단기법의 개발이 필수적이라고 할 수 있다.([1])

본 논문에서는 의학영상만으로 혈류속도를 측정하는 방법을 제안한다. 이를 위해 단지 흐름이 있는 의학영

상을 실험대상으로 사용하였고, 시간에 따른 혈류의 변화량을 측정하였다. 이를 위해 Optical Flow 이론을 도입하고, 움직임이 있는 부분을 분할하여 속도벡터를 구하였다. 이를 위해 영상간의 차를 구하여 Frame Difference를 구하고, 이진영상처리를 하였다. 결과적으로 움직임이 있는 영역에서의 속도벡터를 구할 수 있었고, 분할된 영역에 따른 혈류의 흐름을 볼 수 있었다.

#### 본론

##### 1. Optical Flow Analysis

##### 1.1 Aperture Problem

영상에서의 움직이는 물체는 광도패턴(brightness pattern)을 형성한다. optical flow란 이러한 광도패턴의 이동을 의미한다. 이는 관찰자나 물체의 이동에 의해 영상평면상에서 velocity field로 나타낼 수 있다.[2] 이러한 optical flow를 계산하기 위한 가장 대표적인 방법으로는 gradient-based 방식이 있는데, 그 구체적인 방식은 다음과 같다.([2])

시간  $t$ 에서, 영상평면상의 한 점  $(x, y)$ 의 영상의 intensity를  $I(x, y, t)$ 라고 표현하자. 움직임이 적은 경우라고 가정하면 이 점에서의 intensity  $I(x, y, t)$ 는 상수가 된다. 따라서

$$\frac{d}{dt} I(x, y, t) = 0 \quad (1)$$

이며, chain rule에 의해 다시 (1)식을 표현하면,

$$\frac{\partial I}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial I}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial I}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

여기서  $I = I(x, y, t)$ 이다.

$u = \frac{dx}{dt}$ ,  $v = \frac{dy}{dt}$  라고 하면, (2)식은

$$I_x u + I_y v + I_t = 0 \quad (3)$$

과 같이 나타내어진다.

여기서  $I_x = \frac{\partial I}{\partial x}$ ,  $I_y = \frac{\partial I}{\partial y}$ ,  $I_t = \frac{\partial I}{\partial t}$  이고,  $u$ 와  $v$ 는 optical flow vector를 이루는 구성성분들로서 velocity vector들이며, (3)식을 가리켜 optical flow constraint equation이라고 한다. ([3])

(3)식에서  $I_x$ ,  $I_y$ ,  $I_t$ 는 영상으로부터 측정되는 값이며, 이를 이용하여  $u$ ,  $v$ 를 계산하게 된다. 그런데 방정식은 하나이고 구해야할 미지수가 두 개 이므로, 다른 가정이 없이는 단지 한 점에서  $u$ ,  $v$ 의 값을 결정할 수 없다. 이를 Aperture Problem이라고 부른다.

Horn과 Schunck([4])는 Aperture Problem을 해결하기 위해 variation of calculus에 의해 오차함수(error function)를 최소화 시킴으로 optical flow field를 얻는 방법을 제안하였다. optical flow field가 평탄하다(smooth)고 가정하면, (3)식은 variational method에 의해 해를 계산해 낼 수가 있다.

이를 위하여 velocity field의 평탄성정도에 대한 척도(smoothness measure :  $E_s$ )와 optical flow constraint equation상의 오차 ( $E_i$ )는 각각 다음 식들로 표현할 수 있다.

$$E_i = \int \int (I_x u + I_y v + I_t)^2 dx dy \quad (4)$$

$$E_s = \int \int (u_x^2 + u_y^2 + v_x^2 + v_y^2) dx dy \quad (5)$$

가중상수(weighting constant)  $\lambda$ 를 이용하여 (4),(5)식을 종합하여 오차함수  $E_t$ 를 표현하면

$$E_t = E_i + \lambda E_s \quad (6)$$

이 된다.  $E_t$ 를 최소화함에 의해  $u$ ,  $v$ 를 구하면

$$\nabla^2 u = \lambda(I_x u + I_y v + I_t) I_x \quad (7)$$

$$\nabla^2 v = \lambda(I_x u + I_y v + I_t) I_y \quad (8)$$

와 같다.

여기서  $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$  이다. 그림1에서 Optical Flow algorithm을 간략하게 설명하여 나타내었다.

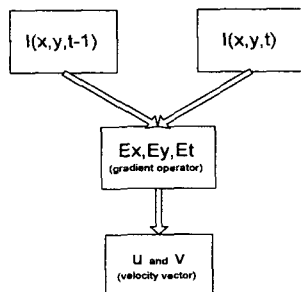


그림 1 Optical Flow 알고리즘  
Fig. 1 Optical Flow algorithm

## 2. Regional Segmentation

Regional Segmentation의 전체과정을 나타내면 그림 2와 같다.

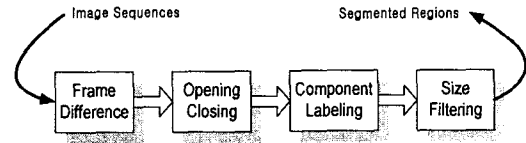


그림 2 영역분할  
Fig. 2 Regional Segmentation

### 2.1 Frame Difference

정확한 속도 벡터를 얻기 위해 Optical Flow 해석과는 독립적으로 영상분할을 한다. 영상분할이란 두 영상간의 차를 구해줌으로서 혈류의 움직임에 의한 영향을 나타내는 방법이다.  $FD$ 를 Frame Difference라고 표시하면

$$FD = I(x, y, t) - I(x, y, t-1) \quad (9)$$

로 나타낼 수가 있다. 그리고  $FD$  값에 일정한 임계값  $th$ 를 주면 움직임의 여부를 결정할 수 있다. 이를 식으로 나타내면

$$\begin{cases} \text{if } FD \geq th, \text{ motion exists} \\ \text{else otherwise, motion does not exist} \end{cases} \quad (10)$$

이다. 따라서  $FD$ 를 이용하면 motion이 존재하는 영역만을 영상에서 구분하여 나타낼 수가 있다. ([5])

### 2.2 morphology 기법 적용

morphology 기법이란 영상의 전처리 작업으로서 초기 객체 분류나 물체의 내재된 구조를 명확히 하는데 이용되는 기법을 의미한다. 이것은 물체의 외곽선을 물체의 가장 현저한 1-픽셀 두께의 외곽선이나 골격선을 간단하게 함으로써 이루어진다. morphology의 기본기법은 다음과 같은 침식, 팽창, 제거, 채움의 연산으로 설명될 수 있다. ([6],[7])

#### 2.2.1 침식(Erosion)연산

침식연산은 배경에 대해 물체의 크기를 축소하는 역할을 하며 주로 물체와 배경사이의 스파크 잡음을 제거하는데 사용된다. 전체평면  $Z^2$ 내의 집합  $A$ 와  $B$ 에 대해  $B$ 에 의한  $A$ 의 침식은 다음과 같이 정의 된다.

$$A \ominus B = \{x | (B)_x \subseteq A\} \quad (11)$$

침식연산을 수행하게 되면 최외각의 한 픽셀만큼 침식되어 나타나게 된다.

#### 2.2.2 팽창(Dilation)연산

팽창연산은 침식연산과의 반대성질을 가지고 있으며, 배경색을 줄이고 물체의 색을 확장시킨다.

$$A \oplus B = \bigcup_{b_i \in B} A_{b_i} \quad (12)$$

팽창연산을 적용할 경우 침식연산과는 반대로 최외각의 한 픽셀만큼 확장되어 나타나게 된다.

2.2.3 제거(Opening) 연산

제거연산은 침식연산다음에 팽창연산을 바로 사용하는 알고리즘이다. 침식연산으로 영상의 경계를 한 픽셀씩 없애고 다시 팽창연산으로 경계를 한픽셀씩 확장시키는 방법이다. 제거연산을 사용하게 되면 침식으로 인해 미세한 잡음을 제거해줄수 있다.

2.2.4 채움(Closing) 연산

채움연산은 팽창연산다음에 제거연산을 수행하는 알고리즘이다. 채움연산을 수행할 경우 형태는 유지하면서 내부에 있는 비어있는 픽셀을 채워주게 된다.

2.3 요소(component) 레이블링

Component Labeling 이란 영상에서 서로 연결된 픽셀들을 하나의 데이터 집합으로 명명해 줌으로서 묶어주는 알고리즘이다. 이 기법은 주위 픽셀과의 연결성(connectivity)을 이용하여 이진영상에 값을 할당한다.

2.4 사이즈 필터링(Size Filtering)

영상에 존재하는 잡음을 없애주기 위해서 작은 사이즈의 픽셀집합을 제거해주는 작업을 수행하게 된다. 이때 적용하는 필터가 사이즈 필터(size filter)이다. 요소의 픽셀의 개수가 임계값보다 적을 경우 0으로 값을 바꾸어주어 잡음을 제거한다.

3. Regional Optical Flow(ROF)

2.1-4 까지의 작업으로 인해 작은 잡음에 의한 요소들은 제거가 되고 움직임에 의한 영역만이 남게 된다. 이 영역에 대한 Optical Flow Vector를 구해줌으로서 정확한 속도의 변화량을 알수 있을 뿐만 아니라, 각 분할된 요소에 대한 속도를 각각 측정할 수가 있다.

$((x, y)|(x, y) \in R)$ 이 성립하는  $(x, y)$ 에 대하여 optical flow vector  $(\vec{u}, \vec{v})$  를 구하는 과정을 나타내면 그림 3과 같다.

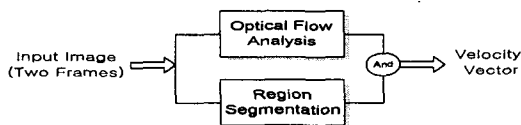


그림 3 Regional Optical Flow  
Fig. 3 Regional Optical Flow

여기서  $R$ 은 움직임이 있는 영역이며, 2번에서 얻어진 영역을 의미한다. 또한  $(x, y)$ 는  $R$ 내부의 픽셀위치를 의미한다. 따라서 구해진  $(\vec{u}, \vec{v})$ 를 이용하면 원하는 Regional Optical Flow를 얻어낼수 있다.

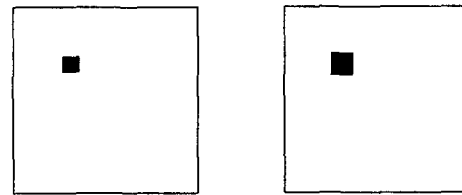
4. 실험결과

본 실험은 Pentium-II 233MHz CPU, 32MB의 메모리

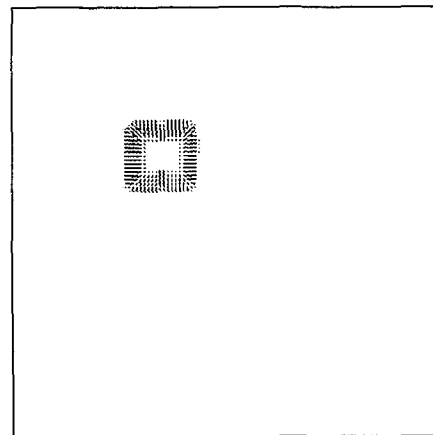
를 가지는 IBM호환 PC상에서 수행하였으며, OS는 Windows 98로서 Visual C++ 6.0을 사용하였다.

4.1 모의실험

먼저 모의실험에서는 Optical Flow 이론의 영상에의 적용 가능성을 살펴보고자 한다. 그림 4-a)는 모의실험에서 사용한 영상이다. 그림과 같이 직사각형의 영역이 확장되는 형태의 그림이다. 그림 4-b)는 이 두 영상을 연속되는 입력영상으로 하여 속도벡터를 구한 결과 속도벡터가 직사각형의 중심점을 중심으로 하여 사방으로 퍼져 나가는 것을 볼수 있다.



a) 모의실험 영상



b) 측정된 속도벡터

그림 4 Optical Flow의 실험  
Fig.4 The Example of Optical Flow

4.2 실제 영상에의 적용

4.2.1 실험영상



그림 5 실험영상

Fig. 5 Input Images

실험영상은 심장대동맥환자(aneurysm)로부터 얻은 256×256 크기의 8bit DSA(Digital Subtraction Angiogram)를 이용하였다. 그림5는 실험에서 사용된 영상이며, 두영상의 시간차는 약 0.3초정도 이다.

#### 4.2.2 optical flow

그림6은 그림5의 두영상에 대해 Horn과 Schunck에 의해 제안된 optical flow algorithm을 적용해 얻은 결과이다.([4]) 그림에서 보는 바와 같이 혈류의 흐름이 화살표에 나타내는 모양과 같이 나타나는 것을 알 수가 있다. 각 픽셀의 이동에 관한 정보가 선의 크기와 각도로서 알 수가 있다.

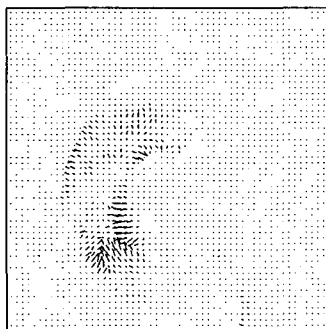


그림 6 계산된 Optical Flow  
Fig. 6 Computed Optical Flow

#### 4.2.3 영역분할(Regional Segmentation)

그림 7은 본론에서 제시한 Frame Difference, Opening and Closing, Component Labeling, Size Filtering과정을 거쳐 얻어진 결과이다. 흐름이 일어나고 있는 두영역을 그림에서 표시하고 있다.

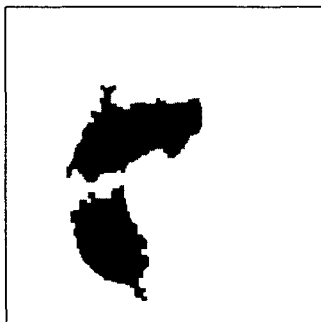


그림 7 영역분할  
Fig. 7 Regional Segmentation

#### 4.2.4 Regional Optical Flow

그림 8은 그림6과 그림7의 결과를 토대로 혈류의 흐름이 일어난 영역에 대한 Optical Flow vector를 구해낸 것이다.

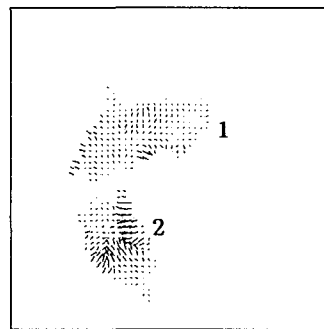


그림 8 Regional Optical Flow  
Fig. 8 Regional Optical Flow

#### 결론

그림 8은 본 논문에서 제안한 ROF를 이용해 얻어낸 결과이다. Frame Difference를 이용해 얻어진 영역중 가장 큰 영역 두 개의 Optical Flow를 구하여 나타내었다. 그림에서 특히 2영역에서 혈류의 흐름의 변화가 많이 일어나는 것을 알 수 있다. 이 부분은 심장의 대동맥(cardiac aorta)으로서 심실을 빠져 나오는 부분이다. 그림에서 보는 바와 같이 135° 와 180° 방향으로 혈류가 많이 흘러가는 것을 알 수 있다. 이 방법을 심장 혈류진단에 이용할 경우 다음과 같은 잇점이 있다.

1. 벡터로 표시함으로 인해 혈류의 흐름의 방향과 크기를 확인할 수 있다.
2. 혈관내부에서 일어나는 혈류의 흐름을 볼 수 있다.
3. 비침습적인 방법으로 혈류의 속도를 측정할 수 있다.

#### 참고문헌

- [1] 서울대학교 병원편저, "진공의진료편람", 의학출판사 1994
- [2] R. Jain and R. Kasturi and B.G. Schunck, "Machine Vision", MIT Press 1995
- [3] B.Klaus and P. Horn, "Robot Vision", MIT Press 1980
- [4] Berthold K.P.Horn and Brian G.Schunck, "Determining Optical Flow", Artificial Intelligence 17 185-203 1981
- [5] D.R.Walker and K.R.Rao, "Improved Pel-Recursive Motion Compensation", IEEE Tran. On Communication, Vol. Com-32, No 10, October 1984
- [6] Henning Bassmann and Philipp W. Besslich, "Ad Oculos Digital Image Processing", Tompson Publishing 1995
- [7] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, "Digital Image Processing", Addison Wesley, 1992