

論文93-30B-2-7

## 새로운 공간경사를 사용한 시공간 경사법에 의한 운동경계 검출 및 이동벡터 추정

(Motion Boundary Detection and Motion Vector Estimation by  
Spatio-temporal Gradient Method using a New Spatial Gradient)

金 二 漢\*, 金 聖 大\*

(Yi Han Kim and Seong Dae Kim)

### 要 約

운동영상으로 부터 이동벡터의 추정과 운동경계의 검출은 영상내 물체의 구조나 운동영상의 해석에 있어 중요한 단서가 되는 3차원 속도를 구하는 데 이용될 수 있기 때문에 이에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 이런 연구들의 목적은 이동벡터와 운동경계를 보다 정확하게 구하는 것이다. 그러나 이들을 언제나 정확하게 구할 수는 없는 데 그 원인으로는 크게 두가지가 있다. 하나는 밝기함수에 대한 경사 측정오차이고 다른 하나는 smoothness 제한으로 인한 운동경계의 흐려짐이다. 본 논문에서는 기존의 경사 측정방법들에 대한 측정오차를 일차원적으로 해석해보고, 이에 근거하여 새로운 경사 측정방법을 제안한다. 그리고 이들을 Horn과 Schunck의 이동벡터 추정과 Schunck의 운동경계 검출 알고리즘에 적용해 봄으로써 제안한 방법이 우수함을 보인다.

### Abstract

The motion vector estimation and motion boundary detection have been briskly studied since they are an important clue for analysis of object structure and 3-d motion. The purpose of this researches is more exact estimation, but there are two main causes to make inaccurate. The one is the erroneous measurement of gradients in brightness values and the other is the blurring of motion boundaries which is caused by the smoothness constraint. In this paper, we analyze the gradient measurement error of conventional methods and propose new technique based on it. When the proposed method is applied to the motion boundary detection in Schunck and motion vector estimation in Horn & Schunck, it is shown to have much better performance than conventional method in some artificial and real image sequences.

### 1. 서 론

영상 해석에 있어서 물체의 움직임 정보는 물체의 구조를 이해하거나 3차원 속도를 구하는데 중요한 단

서가 되기 때문에 이의 추정은 매우 중요하다. 실제로 이런 정보는 미사일의 목표물 탐사, 비행기의 자동 이착륙 및 항해와 같은 움직임을 근거로 한 유도, 인간의 시각으로 감지할 수 없는 radar, sonar 및 자외선 영상으로 부터의 정보 추출, 대역폭을 감축하기 위한 TV신호 처리등 그 응용 분야가 급속히 증가함에 따라 이에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다.<sup>(1)</sup>

연속 영상으로 부터 속도 정보를 구하기 위해서 지금까지 연구된 방법들은 일반적으로 특징을 근거로

\*正會員, \*韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科

(Dept. of Electronical Eng., KAIST)

接受日字 : 1992年 6月 22日

한 방법(feature-based method)과 시공간 경사를 근거로 한 방법(spatio-temporal gradient-based method)으로 나눌 수 있다. 특징을 근거로 한 방법은 연속 영상에서 뚜렷한 특징들을 뽑아내어 이를 정합(matching)시킴으로 해서 속도 정보를 추정하는 것이며, 시공간 경사를 근거로 한 방법은 시간에 따른 밝기 함수의 움직임과 밝기의 지역적인 구조, 즉 공간경사와 시간경사의 관계로 부터 이동벡터(motion vector or optical flow)를 구하는 것이다.

본 논문에서 다루고자하는 시공간 경사를 근거로 한 방법에서는 이동 벡터를 구하기 위하여 공간경사와 시간경사로 표시되는 운동제한식(motion constraint equation)외에 또 하나의 식이 더 필요하다. Horn과 Schunck는 이동벡터가 공간적으로 크게 변하지 않는 다는 가정을 한 뒤 이로부터 추가적인 제한(smoothness constraint)을 유도함으로써 이동벡터를 구하였다.<sup>[2]</sup> 그러나 이들이 제안한 smoothness 제한은 운동경계를 흐려지게(motion boundary blurring) 한다는 단점이 있기 때문에 이를 해결하기 위한 연구가 진행되어 왔다. Yachida는 꼭지점과 같은 특징점에서는 정확한 이동벡터가 구해진다는 가정하에 그런 점에서 구한 이동벡터로 Horn과 Schunck가 제안한 반복적 접근식을 이용하여 경사가 큰 이웃 영역으로 전파시켰다.<sup>[3]</sup> 또한 Cornelius와 Canade는 영상내의 경계 근처에서는 smoothness를 약하게 함으로써 이동벡터가 흐려지는 것을 막았으며<sup>[4]</sup>, Wu등은 꼭지점에서 속도를 구한 뒤에 경계선을 따라서 추정된 속도를 전파시켰고<sup>[5]</sup>, Nagel은 꼭지점에서는 추가적인 제한 없이 이동벡터를 구할 수 있다는 사실에 기초하여 cornerness가 큰 곳에서는 smoothness가 약해지는 방향성 smoothness 제한(oriented smoothness constraint)을 제안하였다.<sup>[6,7]</sup> 그리고 Schunck는 속도의 크기와 경사의 방향으로 구성된 운동제한식을 제안하고 관측 화소의 제한선(constraint line)과 이웃 화소들의 제한선들의 교점을 따라서 clustering하는 constraint line clustering(CLC)을 이용하여 이동벡터와 운동경계를 동시에 추정해 가는 방법을 제안하였다.<sup>[8, 9]</sup>

한편 시공간 경사를 근거로한 방법의 기본이 되는 경사는 근원적으로 미분개념므로 표본화된 영상에서 측정된 경사들은 오차를 포함하게 된다. Nagel등은 제안한 방법에서 경사의 측정시 밝기의 비선형으로 인한 오차를 줄이기 위해 displaced frame difference(DFD)를 사용하였다.<sup>[10]</sup>

일반적으로 이동벡터를 측정할 때의 문제점은 다음

두가지로 요약할 수 있다.<sup>[11]</sup> 첫째는 smoothness 제한으로 인하여 운동경계에서 구해진 이동벡터가 흐려지는 것이고, 둘째는 경사의 측정오차로 인하여 부정확한 이동벡터가 구해지는 것이다. 본 논문에서는 기존의 경사 측정방법들의 측정오차를 해석해 보고, 이에 기초하여 새로운 개념의 경사를 도입한다. 그리고 새로운 방법을 기존에 제안된 이동벡터 추정 및 운동경계 검출 알고리즘에 적용하여 성능을 비교하였다.

본 논문의 구성은 II장에서는 경사 측정방법들에 대한 오차를 해석하고, III장에서 실험 결과를 보였으며, IV장에서 결론을 맺었다.

## II. 공간경사의 측정과 오차의 해석

일반적으로 시공간 경사를 근거로 한 방법에서는 영상내 물체의 밝기함수는 시간에 따라 변하지 않고, 단지 물체의 운동에 의해서만 변한다는 가정을 한다. 따라서 영상에서 밝기 함수를  $f(x, y, t)$ 로 정의하면,  $\Delta t$ 동안 임의의 점  $(x, y)$ 에 위치한 화소가  $(dx, dy)$ 만큼 이동했을 때  $t$ 와  $t - \Delta t$ 에서 밝기 함수의 관계는

$$f(x, y, t) = f(x - dx, y - dy, t - \Delta t) \tag{1}$$

이 되며, 우변을 Taylor 급수로 전개하면 아래와 같다.

$$f(x - dx, y - dy, t - \Delta t) = f(x, y, t) - f_x dx - f_y dy - f_t \Delta t + h.o.t \tag{2}$$

여기서  $h.o.t$ 은 고차항을 의미하며,  $f_x, f_y, f_t$ 는 각각  $x, y, t$ 방향으로 밝기 함수의 편미분을 나타낸다. 식(2)에서 고차항을 무시하고  $\Delta t$ 를 단위로 하는 속도  $(u, v)$ 를 다음과 같이 정의하면,

$$u = \frac{dx}{\Delta t}, v = \frac{dy}{\Delta t}$$

식(1), (2)로 부터 아래 식으로 표시되는 운동제한식을 얻을 수 있다.

$$f_x u + f_y v + f_t = 0 \tag{3}$$

위의 운동제한식은 영상내 밝기함수가 선형(linear)이라는 가정하에서 유도된 것이다. 그러나 대부분의 경우에 있어서 실제영상의 밝기함수는 비선형이므로 이 식은 무시했던 고차항들의 영향을 받게 되며, 잡음이 많은 경우는 그 영향이 급격히 증가한다. 이러한 고차항에 기인한 측정 오차를 Kearney등

<sup>[11]</sup> 이 분석하였으나 해결 방안을 제시하지는 못했다. 본 논문에서는 기존의 시공간경사 측정방법에 대하여 고찰한 뒤, 결과를 참조하여 새로운 공간경사 측정방법을 제안하고, 이를 운동제한식에 대입했을 때 고차항들의 영향을 살펴 보았다.

제안하는 방법을 효율적으로 설명하기 위하여 2차원 영상 대신 1차원 곡선을 고려한다. (그림1)은  $t-\Delta t$ 에서 밝기함수  $g_1(x)$ 가  $\Delta t$ 시간동안  $g_2(x)$ 로 이동한 그림이다.

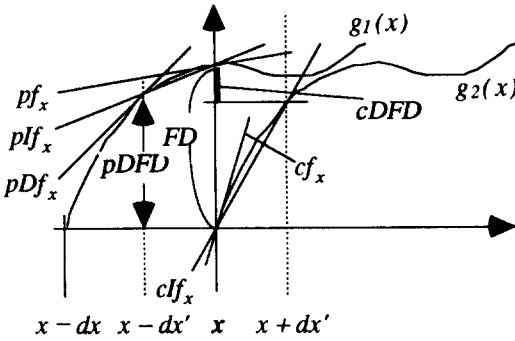


그림 1. 경사 측정방법  
Fig. 1. Gradient Measurement Methods.

(그림1)에서  $dx$ 는 실제 이동변위이고  $dx'$ 는 예측된 변위이다. 기존의 각 방법에서 사용한 경사 측정방법과 운동제한식을 (그림1)에서 표시한 기호들을 가지고 정리하면 (표1)과 같다.

표 1. 기존의 경사 측정방법  
Table 1. Methods of conventional gradient measurement.

	Horn & Schunck <sup>[21]</sup>	Nagel <sup>[10]</sup>	참고문헌 <sup>[12]</sup>
운동제한식	$FD + f_x u \approx 0$	$pDFD \approx 0$	$EFD + Df_x u \approx 0$
공간경사	$f_x = \frac{Df_x + Cf_x}{2}$	$Df_x = \frac{pDf_x + Cf_x}{2}$	$Df_x = \frac{pDf_x + Cf_x}{2}$

(표1)에서  $EFD = pDFD - Df_x u'$ 이며,  $u'$ 는 예측된 이동벡터이다.<sup>[12]</sup>

한편 (그림1)에서 보듯이 기존의 운동제한식에 사용한 공간경사 측정방법은 한 화소를 중심으로 해서 구하기 때문에 밝기함수가 비선형이거나 잡음이 첨가될 경우 오차가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 이러한 오차를 최소화하는 방안으로 (표1)의 경사 측정방법 외에  $pIf_x, cIf_x$ 를 제안하고자 한다. 이는 경사

(gradient)개념보다는 밝기함수에 선형성을 주어 운동제한식의 오차를 줄이기 위하여 유도한 것이다.

$$pIf_x = \frac{g_1(x) - g_1(x - dx')}{dx'} \quad (4-1)$$

$$cIf_x = \frac{g_2(x + dx') - g_2(x)}{dx'} \quad (4-2)$$

이들을  $FD, DFD$ 와 함께 정리하면 아래와 같이 되고

$$FD + pIf_x \frac{dx'}{\Delta t} = pDFD \quad (5-1)$$

$$FD + cIf_x \frac{dx'}{\Delta t} = cDFD \quad (5-2)$$

다시 잡음의 영향을 줄이기 위하여 두 식을 평균하면 식(6)이 된다.

$$FD + If_x dx' = \frac{pDFD + cDFD}{2}, If_x = \frac{pIf_x + cIf_x}{2} \quad (6)$$

윗 식은 측정된 공간경사가 운동제한식에 적용될 수 있음을 보여주는 것이다.

이렇게 측정된 공간 경사를 운동제한식에 대입했을 때의 오차를 기존의 방법들의 오차와 비교하기 위하여 다음 식들을 이용하였다. 이 식들은  $g_1(x)$ 와  $g_2(x)$ 의 여러 점들을  $g_2(x)$ 와 고차항들로 표시한 것이다.

$$FD = \frac{g_2(x) - g_1(x)}{\Delta t}, pDFD = \frac{g_2(x) - g_1(x - dx')}{\Delta t}, cDFD = \frac{g_2(x + dx') - g_1(x)}{\Delta t} \quad (7)$$

$$g_1(x) = g_2(x + dx) = g_2(x) + g_2' dx + \frac{g_2''}{2} dx^2 + \frac{g_2'''}{6} dx^3 + h.o.t \quad (8)$$

$$g_1(x \pm \Delta) = g_2(x) \pm g_2' \Delta + \frac{g_2''}{2} \Delta^2 \pm \frac{g_2'''}{6} \Delta^3 + h.o.t \quad (9)$$

$$g_1(x \pm \Delta) = g_2(x + dx \pm \Delta) = g_2(x) + g_2'(dx \pm \Delta) + \frac{g_2''}{2} (dx \pm \Delta)^2 + \frac{g_2'''}{6} (dx \pm \Delta)^3 + h.o.t \quad (10)$$

$$g_1(x - dx) = g_2(x + dx - dx) = g_2(x) + g_2'(dx - dx) + \frac{g_2''}{2} (dx - dx)^2 + \frac{g_2'''}{6} (dx - dx)^3 + h.o.t \quad (11)$$

여기서  $g_2' = \frac{dg_2(x)}{dx}, g_2'' = \frac{d^2g_2(x)}{dx^2}, g_2''' = \frac{d^3g_2(x)}{dx^3}$  이다. 우리는 위의 식(8~10)을 이용해서 여러 방법으로 공간경사를 측정할 수 있는데, 이들을 식으로 표시하면 아래와 같다.

$$g_{x_1} = \frac{g_2(x + \Delta) - g_2(x)}{\Delta} \quad (12-1)$$

$$g_{x_2} = \frac{g_2(x) - g_2(x - \Delta)}{\Delta} \quad (12-2)$$

$$g_{1s} = \frac{g_1(x + \Delta) - g_1(x)}{\Delta} \quad (12-3)$$

$$g_{1s} = \frac{g_1(x) - g_1(x - \Delta)}{\Delta} \quad (12-4)$$

Horn과 Schunck의 운동제한식<sup>[2]</sup>에 식(7~12)를 이용하여 시간경사와 공간경사를 구하는 경우를 생각해 보자. 그 때 시간경사( $f_t$ )는  $FD$ 이고, 공간경사( $f_x$ )는  $\frac{g_{2s} + g_{3s}}{2}$ 이다. 이들을 운동제한식에 대입한 뒤 4차이상의 고차항을 무시하면 다음과 같은 오차를 구할 수 있다.

$$f_t + f_x u = FD + \frac{g_{2s} + g_{3s}}{2} u = \left\{ \frac{g_2''}{2} \Delta + \frac{g_2'''}{12} (dx + \Delta)(dx + 2\Delta) \right\} \cdot u \quad (13)$$

이와 유사하게 식(12)의 다른 조합을 생각할 수 있다.

$$f_{1s} = (g_{2s} + g_{3s})/2, FD + f_{1s} u = \left\{ \frac{g_2''}{2} \Delta + \frac{g_2'''}{12} (dx - \Delta)(dx - 2\Delta) \right\} \cdot u \quad (14-1)$$

$$f_{2s} = (g_{1s} + g_{3s})/2, FD + f_{2s} u = \left\{ \frac{g_2''}{12} (dx - \Delta)(dx - 2\Delta) \right\} \cdot u \quad (14-2)$$

$$f_{3s} = (g_{1s} + g_{2s})/2, FD + f_{3s} u = \left\{ \frac{g_2''}{12} (dx + \Delta)(dx + 2\Delta) \right\} \cdot u \quad (14-3)$$

이상으로 부터 Horn과 Schunck가 사용한 공간경사보다 식(14-2.3)을 사용하는 것이 타당함을 알 수 있다.

한편 참고문헌 [12]에서 사용한 운동제한식의 오차를 구하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} EFD + Df_x u &= pDFD + Df_x(u - u') \\ &= \frac{g_2(x) - g_2(x - dx')}{\Delta t} + \frac{(g_2(x + \Delta) - g_2(x)) + (g_2(x - dx') - g_2(x - dx' - \Delta))}{2\Delta} \cdot (u - u') \\ &= \frac{g_2'''}{12} (dx - dx' - \Delta)(dx - dx' - 2\Delta) \cdot (u - u') \end{aligned} \quad (15)$$

윗 식은 식(14-2)과 비교해 볼 때 이론적인 면에서 오차의 많은 개선이 있음을 알 수 있으며, 실제로 이들을 이동벡터 추정 및 운동경계 검출에 적용하여 성능 개선을 확인하였다. 이에 대한 실험 결과는 참고문헌<sup>[12]</sup>을 참조하기 바란다.

한편 식(12)에서  $\Delta$ 는 화소사이의 간격으로 보통 "1"로 정의 되기때문에 변위가 큰 경우에는 오차가 증가한다. 만일 실제 속도의 근사값  $dx'$ 를  $\Delta$ 대신에 사용한다면, 즉 시간경사( $f_t$ )는 Horn과 Schunck의  $FD$ 를 사용하고, 공간경사는 아래식을 사용할 경우 오차의 개선이 기대된다.

$$If_x = \frac{g_{2s}' + g_{3s}'}{2}, g_{2s}' = \frac{g_2(x + dx') - g_2(x)}{dx'}, g_{3s}' = \frac{g_1(x) - g_1(x - dx')}{dx'} \quad (16)$$

이를 운동제한식에 대입했을 때의 오차는 식(14-2)로부터 쉽게 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} FD + If_x u &= \frac{g_2'''}{12} (dx - dx')(dx - 2dx') \cdot u \\ &= \frac{g_2'''}{12} (dx)(dx - 2dx')(u - u') \end{aligned} \quad (17)$$

결국 윗 식에서 사용한 공간경사는 밝기함수에 선형성을 부여하기 위하여 고려한 식(4)와 일치한다. 식(17)이 식(15)보다 오차면에서 좋다고 단정할 수는 없지만, 식(17)을 이동벡터 추정과 운동경계 검출에 적용할 경우 기존의 방법에 비해서는 성능이 개선될 것으로 기대된다.

### III. 실험 및 비교 검토

본 장에서는 II장에서 살펴본 여러 경사 측정 방법들의 성능을 비교하였다. 1절에서는 전체적 최적화 방법으로 이동벡터를 추정할 경우에 대하여 검토하였으며, 2절에서는 CLC를 이용한 운동경계 검출에 적용하였다.

#### 1. 이동벡터 추정에 대한 성능 비교

Horn과 Schunck가 사용한 전체적 최적화 방법에 II장에서 알아본 경사 측정방법을 적용하면 (표2)와 같다.

표 2. 전체적 최적화 방법

Table 2. Global Optimization Method.

Horn & Schunck <sup>[2]</sup>	$u^{n+1} = \bar{u} - \frac{FD + f_x \bar{u} + f_y \bar{v}}{\alpha^2 + f_x^2 + f_y^2} f_x$ (식13)
Horn & Schunck - 2	$u^{n+1} = \bar{u} - \frac{FD + f_x \bar{u} + f_y \bar{v}}{\alpha^2 + f_x^2 + f_y^2} f_x$ (식14-2)
DFD <sup>[10]</sup>	$u^{n+1} = \bar{u} - \frac{pDFD}{\alpha^2 + Df_x^2 + Df_y^2} Df_x$ (식15)
Proposed	$u^{n+1} = \bar{u} - \frac{FD + If_x \bar{u} + If_y \bar{v}}{\alpha^2 + If_x^2 + If_y^2} If_x$ (식17)

본 논문에서는 앞에서 언급한 EFD는 고려하지 않았는데 성능은 DFD와 유사하다<sup>[12]</sup>. 모든 실험은 Horn과 Schunck가 사용한 정현파 형태(sinu-

soidal)의 밝기 분포를 갖는  $64 \times 64$ 크기의 영상(그림 2)을 이용하였다. 연속 영상은 전체 영상을 panning 하여 얻었으나 경계를 고려하여 영상의 중심  $32 \times 32$  부분에 대해서만 실험하였다. 실험은 변위의 크기와 여러 준위의 잡음에 대한 RMSE(Root Mean Square Error)의 변화에 대하여 알아 보았으며, 여기서 사용한 RMSE는 아래 식과 같다. 식에서 N은 실험에 사용된 영상의 크기(32)이다.

$$RMSE = \frac{1}{N^2} \sum_{y=0}^{n-1} \sum_{x=0}^{n-1} \sqrt{(dx - dx')^2 + (dy - dy')^2} \quad (18)$$

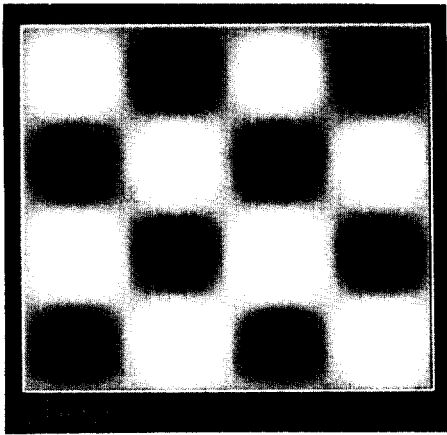


그림 2. 이동벡터 추정을 위해 사용한 영상  
Fig. 2. Image using motion vector estimation.

1) 잡음의 영향

(x, y)방향으로 각각 (2, -2)화소 만큼 panning 한 영상을 사용하였다. 그리고 각 방법들의 잡음에 대한 수렴 속도 및 정상상태의 오차를 알아보기 위하여 과거와 현재 영상에 독립적으로 일정한 표준편차(std)를 갖는 가우시안 랜덤 잡음을 섞었다. (그림3)는 여러 잡음에 대한 실험 결과이다. 그림에서 보듯이 잡음이 증가함에 따라 Horn과 Schunck가 제안한 방법은 성능이 급격히 하락하는 것을 볼 수 있는데, 이는 잡음의 증가로 인해 고차항들의 영향이 커지고 이는 운동제한식의 오차를 증가시키기 때문이다. 반면 DFD와 제안된 방법은 고차항의 증가에도 불구하고 비교적 안정된 성능을 가지는데, 이는 예측된 변위가 실제 변위에 접근함으로써 운동제한식의 전체 오차를 상쇄하기 때문이다.

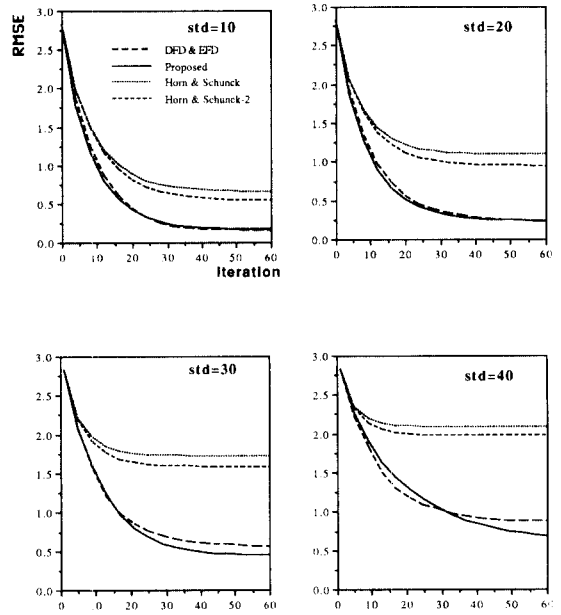


그림 3. 잡음에 대한 성능 분석  
Fig. 3. Performance analysis about Noise.

2) 변위에 대한 영향

일정한 잡음 환경(std=15)하에서 변위의 크기를 조절하면서 성능을 비교하였다.

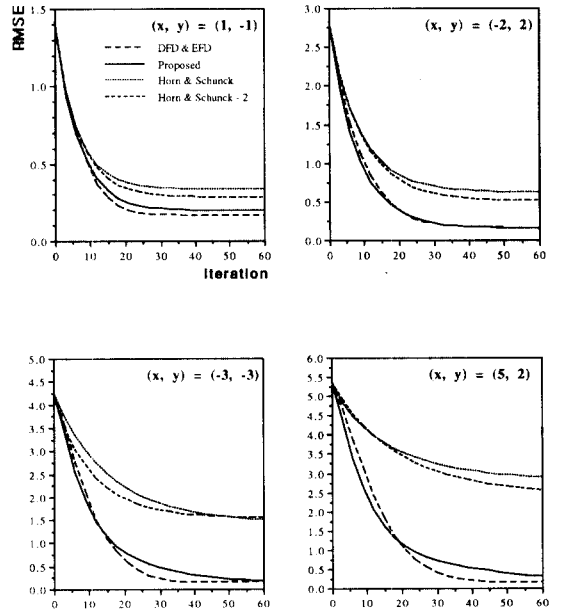


그림 4. 변위에 대한 성능 분석  
Fig. 4. Performance analysis about Displacement.

(그림4)는 실험결과이며, 실험a)의 경우와 마찬가지로 Horn과 Schunck의 방법은 변위의 증가와 함께 성능이 급격히 하락하는 데 이는 II장에서 알아본 바와 일치한다.

2. 운동경계 검출에 대한 성능 비교

먼저 Schunck가 제안한 알고리즘(CLC)을 간단히 알아보기 위하여 (그림5)와 같이 고려중인 화소를 중심으로 5 x 5 마스크(mask)를 생각해 보자. 고려중인 화소의 경사각과 경사방향 속도는 식(19)에 의해 계산된다.

$$d = \frac{|FD|}{\sqrt{f_x^2 + f_y^2}}, \alpha = \tan^{-1}\left(\frac{f_y}{f_x}\right) \quad (19)$$

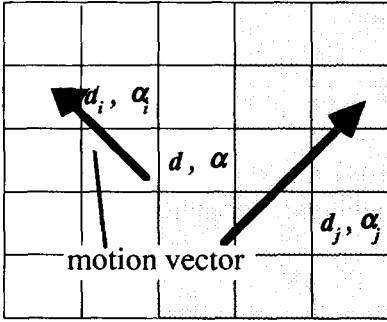


그림 5. 운동경계 검출을 위한 5x5 마스크  
Fig. 5. 5x5 mask for motion boundary detection.

여기서 d 는 경사방향 속도이고  $\alpha$  는 경사각이며, 경사는 Horn 과 Schunck가 사용한 것이다.

식(19)의 d와  $\alpha$  는 (그림6)의 굵은 선으로 표시되는 (u, v)평면에서 하나의 제한선을 구성한다. 주위 화소들의  $d_i, \alpha_i$ 을 (u, v)평면에 그리면 고려중인 화소의 제한선과 교차하게 된다. 위 교차점들의 50%를 포함하면서 그 영역의 폭이 가장 좁은 부분을 찾아 그 값들의 평균을 고려중인 화소의 속도로 한다. 이와 같이 해서 얻은 속도장에 가우시안 필터를 씌워 smoothing한 후, Prewitt 연산자를 이용하여 속도의 각 성분의 경사를 구하고 결과를 Non - maxima suppression 함으로써 운동경계를 찾는다.

또한 이동벡터와 운동경계를 반복적으로 개선하기 위하여 식(20)과 같은 비용함수를 최소화하는 속도장을 구한다.

$$\iint \left\{ K^2(\bar{u}_x^2 + \bar{u}_y^2 + \bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2) + (u - \bar{u})^2 + (v - \bar{v})^2 \right\} dx dy \quad (20)$$

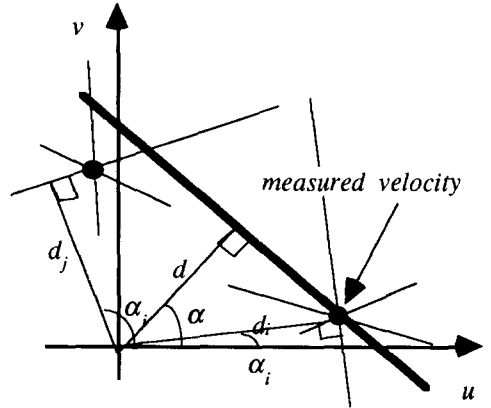


그림 6. CLC  
Fig. 6. CLC.

참고문헌 [2] 와 유사한 방법으로 위 식을 풀면 식(21)과 같은 반복적 접근식을 얻을 수 있다.

$$u^{n+1} = \frac{u^n + K^2 S(\bar{u}^n)}{1 + 20K^2} \quad (21)$$

여기서  $(u^n, v^n)$ 은 n번째 단계에서 CLC에 의해 추정된 속도이고,  $(\bar{u}^n, \bar{v}^n)$ 은 n-1번째 단계에서 CLC에 의해 추정된 속도를 운동경계 검출 후에 식(21)를 사용하여 smoothing한 속도이다. 그리고  $S(\cdot)$ 는 운동경계를 고려한 주위 8화소에서의 라플라시안(Laplacian)을 의미하는 데, (그림7)의 마스크에서 화소 e, f가 운동경계라면 이들의 이동벡터 값은 a의 이동벡터로 대체해서 8화소에 대하여 가중치 합을 구한다. 이를 수식으로 나타내면 아래와 같으며, 이 식에서 밑줄친 부분은  $\bar{u}^n(e)$ 나  $\bar{u}^n(f)$ 대신에  $\bar{U}^n(a)$ 를 대입한 것이다.

$$S(\bar{u}^n(a)) = \left\{ \bar{u}^n(c) + \bar{u}^n(i) + \bar{u}^n(g) + \bar{u}^n(a) \right\} + \left\{ \bar{u}^n(d) + \bar{u}^n(b) + \bar{u}^n(h) + \bar{u}^n(a) \right\} \cdot 4$$

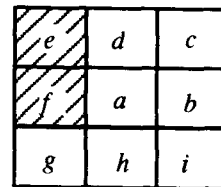


그림 7. S(·) 계산을 위한 mask  
Fig. 7. Mask for S(·) calculation.

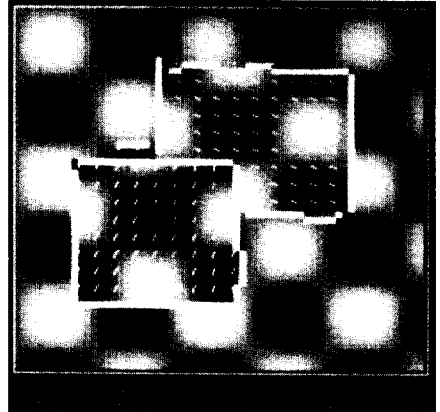
실제로 Schunck가 사용한 경사들은 반복해서 구할 필요가 없는 데, 그 이유는 식(19)에 의해 계산되는 경사각이나 경사방향 속도는 반복 단계 n에 관계없이 항상 일정하기 때문이다. 그러나 참고문헌 [12]의 EFD와 제안한 경사 측정방법은 이동벡터와 관계하기 때문에 매번 다시 구해야 한다. 즉,

$$\text{참고문헌 [12]} \quad d = \frac{|EFD(n)|}{\sqrt{Df_x^2(n) + Df_y^2(n)}}, \alpha = \tan^{-1}\left(\frac{If_y(n)}{If_x(n)}\right) \quad (22)$$

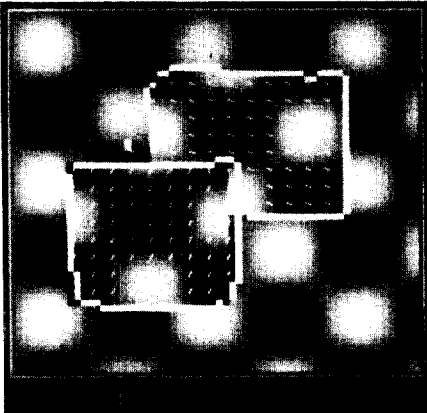
$$\text{Proposed} \quad d = \frac{|FD|}{\sqrt{If_x^2(n) + If_y^2(n)}}, \alpha = \tan^{-1}\left(\frac{If_y(n)}{If_x(n)}\right) \quad (23)$$

이상의 3가지 경사각과 경사방향 속도의 측정 방법(식(19, 22, 23))을 Schunck의 알고리즘에 적용하여 인공영상과 실제영상에 대하여 운동경계의 검출 실험을 하였다. (그림8-10)은 실험 결과를 나타낸다. 그림으로부터 참고문헌 [12]와 제안한 방법이 식

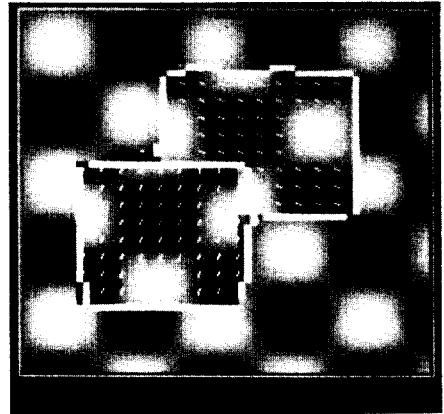
(19)를 사용한 Schunck의 방법보다 개선된 성능을 가짐을 확인하였다.



a. Horn & Schunck  
a. Horn & Schunck



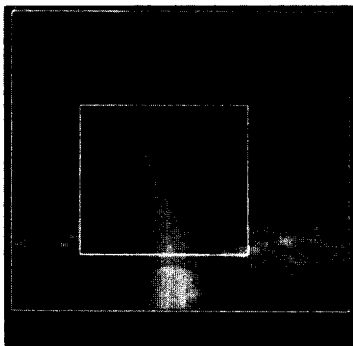
b. 참고문헌[12]  
b. reference[12]



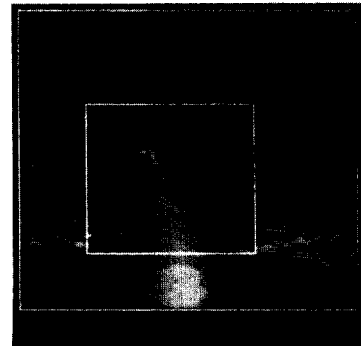
C. 제안한 방식  
C. Proposed method

그림 8. 인공영상의 운동경계 검출

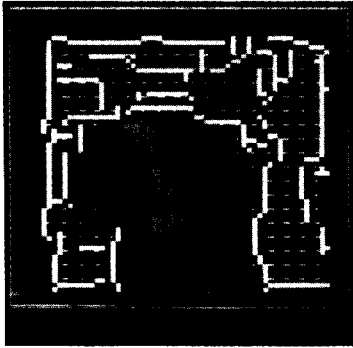
Fig. 8. Motion boundary detection of artificial image.



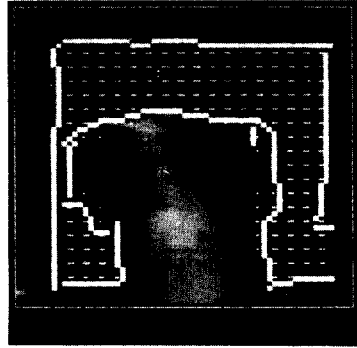
a. 전영상  
a. Previous Image



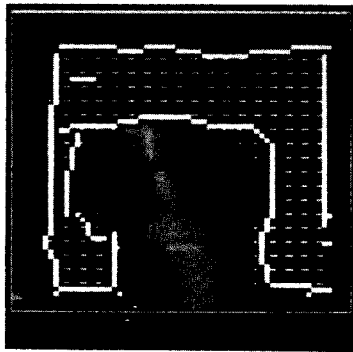
b. 현재영상  
b. Current image



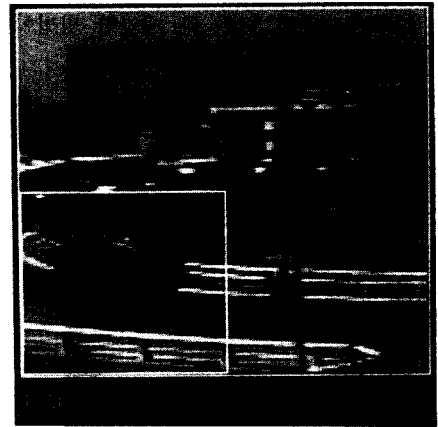
c. Horn & Schunck  
c. Horn & Schunck



d. 참고문헌[12]  
d. reference[12]

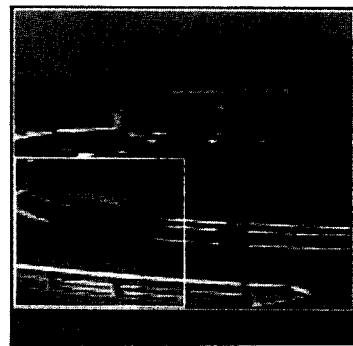


e. 제안한 방식  
e. Proposed method

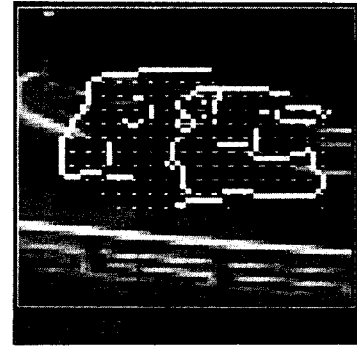


a. 전영상  
a. Previous Image

그림 9. 실제영상의 운동경계 검출(1)  
Fig. 9. Motion boundary detection of real image(1)

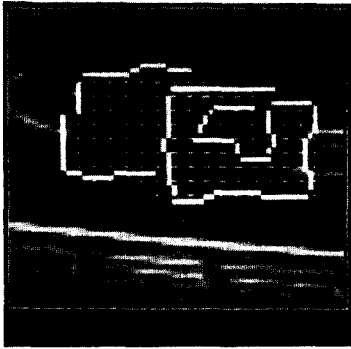


b. 현재영상  
b. Current image

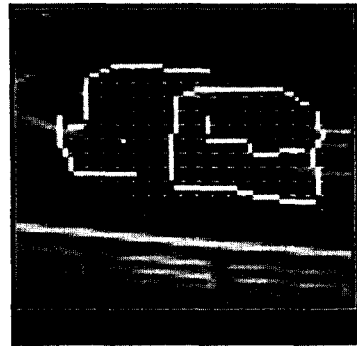


c. Horn & Schunck  
c. Horn & Schunck





d. 참고문헌[12]  
d. reference[12]



e. 제안한 방식  
e. Proposed method

그림 10. 실제영상의 운동경계 검출(2)

Fig. 10. Motion boundary detection of real image(2)

#### IV. 결론

본 논문에서는 시공간 경사를 근거로 하는 운동영상의 해석 방법에서 문제점인 경사 측정오차에 대하여 알아보고, 이를 개선하기 위하여 새로운 공간경사 측정방법을 제안하였다. 제안한 방법을 Horn과 Schunck의 이동벡터 추정 알고리즘과 Schunck가

제안한 운동경계 검출 알고리즘을 가지고 기존의 방법들과 비교하였으며, 실험 결과 제안한 방법이 우수함을 확인하였다. 앞으로의 연구 과제로는 본 논문에서 제안한 방법과 DFD와의 관계를 해석하는 것이며, 그 결과로 잡음에 강한 경사 측정방법을 얻을 것으로 기대된다.

#### 參考文獻

- [1] J. K. Aggarwal and N. Nandhakumar, "On the computation of motion from sequences of images - A review," Proc. of IEEE, Vol. 76, no.8, pp. 917-935, Aug. 1988
- [2] B. K. Horn and B. G. Schunck, "Determining optical flow," Artificial Intelligent, Vol. 17, pp. 185-203, 1981
- [3] M. Yachida, "Determining velocity by spatio-temporal neighborhoods from image sequences," Computer Vision, Graphics, Image Processing, Vol. 21, pp. 262-279, 1983
- [4] N. Cornelius and T. Kanade, "Adapting optical flow to measure object motion in reflectance and X-ray image sequences," in Proc. ACM Siggraph/Sigart Interdisciplinary Workshop on Motion : Representation and Perception, Toronto, Ont., Canada, pp. 50-58, Apr. 1983
- [5] Z. Wu, H. Sun and L. S. Davis, "Determining velocities by propagation," in Proc. Int. Conf. Pattern Recognition, Munich, West Germany, pp. 1147-1149, Oct. 1982
- [6] H. H. Nagel, "On the estimation of optical flow : Relations between different approaches and some new results," Artificial Intelligence, Vol. 33, pp. 299-324, 1987
- [7] H. H. Nagel, "Constraints for the estimation of displacement vector fields from image sequences," in Proc. of Int. Joint. Conf. on Artificial Intelligence, pp. 945-951, 1983
- [8] B. G. Schunck, "Image flow : Fundamentals and future research," in Proc. of IEEE Conf. on Pattern Recognition and image Processing, pp. 560-571, 1985
- [9] B. G. Schunck, "Image flow segmentation and estimation by

- constraint line clustering," IEEE Trans. on PAMI, Vol. 11, no.10, pp. 1010-1027, Oct. 1989
- [10] H. H. Nagel and W. Enkelmann, "An investigation of smoothness constraints for the estimation of displacement vector fields from image sequences," IEEE Trans. on PAMI, Vol. 8, no.5, pp. 565-593, 1983
- [11] J. K. Kearney, W. B. Thompson, and D. L. Boley, "Optical Flow Estimation : An Error Analysis of Gradient-Based Methods with Local optimization," IEEE Trans. on PAMI, Vol. 9, no.2, pp. 229-244, 1987
- [12] 김이한, 김종대, 김성대, "외삽시간 경사를 이용한 이동벡터 추정 및 운동경계 검출," 제3회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵, 2, 1991.

---

 著者紹介
 

---



金二漢 (正會員)

1966年 1月 29日生. 1988年 2月, 忠南大學校 工學大學 電子工學科 (學士). 1990年 2月 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科 (碩士). 1990年 2月 ~ 現在 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科 博士 과정.

주관심분야는 다차원 신호처리, 컴퓨터 비전, 멀티미디어 등임.

金聖大 (正會員) 第 25 卷 第 12 號 參照

현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 부교수