

論文95-32B-8-7

## 상호관계 사쌍자를 이용한 물체군의 인식

## (Recognition of Object Families Using Interrelation Quadruplet)

韓 東 一 \* , 卞 增 男 \*\*

(Dongil Han, and Zeungnam Bien)

## 요 약

본 논문에서는 2차원 평면상에 존재하는 두 개의 선분간의 상호관계를 나타내는 상호관계 사쌍자를 이용하여 물체군의 인식에도 적용 가능한 물체인식 방법을 제안한다. 상호관계 사쌍자는 한쌍의 선분의 유사 변화에 무관한 값을 가지며 다각형으로 근사화 된 물체를 인식하기 위한 특징치로 사용되었다. 본 연구에서는 상호관계 사쌍자를 이용하여 물체군의 인식에 유용한 여러 가지 성질을 유도 하였으며 이를 이용하여 물체군들을 손쉽게 인식할 수 있었다. 제안된 방법과 기존의 방법을 비교해 보았으며 기존의 방법과 비교하여 간단한 계산만으로 빠르고 효율적으로 처리할 수 있는 장점이 있다.

## Abstract

By using a concept of interrelation quadruplet between line segments, a new method for recognition of object families is introduced. The interrelation quadruplet, which is invariant under similarity transform of a pair of line segments, is used as a feature information for polygonal shape recognition. Several useful properties of the interrelation quadruplet are derived in relation to efficient recognition of object families. Compared with the previous methods, the proposed method requires only small space of storage and is shown to be computationally simple and efficient.

## I. 서 론

시각장치를 이용한 물체인식 분야에서 현재 널리 연구되고 있는 문제로서 가려지거나 겹쳐진 물체의 인식 문제를 들 수 있다. 이러한 문제를 풀기 위해서 여러 가지 방법들<sup>[1]-[17]</sup>이 제안되고 있으며 여러 종류의

물체들에 적용하여 그 정당성을 검증하고 있다.

그러나 물체인식의 대상이 되는 물체들 중에서 물체 내부에 서로 움직이는 부분을 가지는 경우가 많이 있다.

예를 들어 가위 같은 경우 두 개의 가위 날이 연결되어 있으며 같은 가위의 경우에도 가위 날의 각도에 따라서 여러 가지 모양을 가질 수 있다. 그러나 기존의 방법들의 경우 단지 일정한 모양의 상태를 모델로써 저장하고 이와 같은 물체를 찾는 것으로 제한하고 있으며<sup>[14]-[17]</sup> 이 경우 기존의 물체인식 방법으로 여러 가지의 각도로 존재할 수 있는 가위를 인식하는 것은 매우 어려운 일이다.

\*正會員, LG電子 映像미디어 研究所  
(LG Electronics INC. Image & Midea Lab.)

\*\*正會員, 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科  
(Dept. of Elec. Eng., KAIST)

接受日字: 1994年12月23日, 수정완료일: 1995年7月29日

한가지의 인식 방법으로써 여러 가지 각도로 놓여져 있는 가위 모양을 모두 가위에 대한 모델로써 저장하는 방법이다. 그러나 이 경우에는 가위 하나를 인식하기 위한 탐색 영역(search space)이 너무 늘어나서 실제적으로 적용하는 것은 힘든 일이다. 또한 가위에는 1개의 회전축만 존재하나 여러 개의 회전축이 존재하는 물체의 경우 각각의 경우에 대한 모델을 전부 저장하는 것은 불가능하다. 여기서 가위나 렌치, 가변익 비행기처럼 물체 내의 일부분들이 서로 회전하거나 상대적으로 움직이는 부분을 가진 물체를 물체군(object family)이라고 정의한다. 이와 같이 물체군들 - 즉 여러 가지 각도로 놓여져 있는 가위나 여러 가지 값을 가리키는 버어니어 캘리퍼스 등-을 하나의 물체로 인식하기 위해서는 기존의 방법을 적용하는 데에 문제가 있으며 이에 새로운 방법의 필요성이 대두된다.

기존에 물체군을 인식하기 위해 제안된 방법은 거의 찾아 볼 수 없으며 Grimson<sup>[18]</sup>, Umeyama<sup>[19]</sup> 등이 제안한 방법들이 있다. Umeyama는 트리 탐색(tree search) 및 점변수 패턴 매칭(parameterized point pattern matching) 방법을 이용한 물체군 인식 방법을 제안하였다. 이 방법은 물체군의 변화양상을 물체의 꼭지점들의 변화양상으로써 기술하며 꼭지점들의 변화양상을 위치 벡터 및 방향 벡터로써 표현하고 방향 벡터의 변화량을 변형 변수(deformation parameter)로 나타냄으로써 물체를 모델링한다. 매칭시에는 트리(tree)를 탐색하면서 변형 변수와 크기변화 요소(scaling factor)를 계속적으로 계산해 나가는 방법이다. 이 방법은 수학적으로 잘 정리된 방법이나 모델링시 물체의 변화를 일차원의 방향 벡터로만 표현함으로써 물체가 내부의 회전축에 대해서 회전할 경우 잡음이 없는 상태에서 모델링 오차가 존재하며 회전축이 2개 이상 존재하는 약간 복잡한 물체군에 대해서는 적용이 불가능하다. 또한 트리 탐색을 통한 방법이므로 물체가 복잡해질수록 처리 시간이 크게 증가하는 단점이 존재한다.

본 연구에서는 [20]에서 제안한 상호관계 벡터를 상호관계 사쌍자로 다시 정의한 후 이를 이용해서 물체군을 인식할 수 있는 방법을 제안한다. 상호관계 사쌍자는 물체군 인식에 유용한 여러가지 성질을 가지고 있으며 이를 이용하여 가려진 물체의 인식을 효율적으로 수행할 수 있었다. 본 논문에서는 물체군의 인식을 위해서 상호관계 사쌍자의 새로운 성질을 유도하고 이를

통해서 물체군을 효율적으로 인식할 수 있는 방법을 제안하며 Umeyama의 방법과 비교하여 효율적으로 적용될 수 있음을 보인다.

## II. 상호관계 사쌍자

[20]에서는 상호관계 벡터(interrelation vector)를 정의한 후에 물체군 인식에 필요한 여러 가지 성질을 유도한 후에 가려진 물체의 인식에 적용하였다. [20]에서 사용한 벡터의 의미가 기존에 사용되는 벡터의 의미와 다르게 사용되었으며 본 연구에서는 상호관계 벡터를 상호관계 사쌍자로 다시 정의한다.

[정의 1] 상호관계 사쌍자(Interrelation Quadruplet)

서로 교차하지 않는 두개의 선분을 각각  $S_i = (x_i, y_i, l_i, \theta_i)$ 와  $S_j = (x_j, y_j, l_j, \theta_j)$ 라고 할 때 두 선분간의 기하학적인 관계를 나타내는 4개의 성분으로 이루어진 상호관계 사쌍자(Interrelation Quadruplet)  $IQ_{ij}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$IQ_{ij} = (\theta_{ij}, \phi_{ij}, l_{ij}, ld_{ij}) \quad (1)$$

여기서

$$\theta_{ij} = \theta_j - \theta_i \quad (2)$$

$$\phi_{ij} = \gamma_{ij} - \theta_i \quad (3)$$

$$l_{ij} = \frac{l_j}{l_i} \quad (4)$$

$$ld_{ij} = \frac{d_{ij}}{l_i} \quad (5)$$

사쌍자(Quadruplet)는 4개가 한 조를 이루는 양을 나타내는 값이며 본 연구에서는 식(ref{eq:iqexp})에서와 같이  $\theta_{ij}$ ,  $\phi_{ij}$ ,  $l_{ij}$ , 및  $ld_{ij}$ 의 4개로 이루어진 값을 상호관계 사쌍자로 정의하였다. [20]에서는 상호관계 사쌍자의 여러 가지 성질을 유도하였으며 이를 이용하여 가려진 물체의 인식에 적용하였다. 본 연구에서는 상호관계 사쌍자에서 물체군의 인식에 필요한 여러 가지 성질을 유도하고 이를 이용한 물체군의 인식 방법을 제안하고자 한다.

물체군의 변화 양상은 크게 두 가지 종류로 분류할 수 있다. 첫 번째 경우는 물체의 내부에 물체의 일부분이 서로 회전할 수 있는 회전축을 가지는 경우이다. 즉 가위나 니퍼, 가변익 비행기 등과 같이 물체의 내부에

존재하는 회전축에 대해서 물체의 일부분이 회전할 수 있는 구조를 가지고 있는 경우이다. 두 번째 경우는 물체 내의 일부분이 상대적으로 서로 직진 운동을 하는 경우이다. 즉 렌치나 버어너 캐리퍼스와 같이 물체 내의 일부분이 다른 부분에 대해서 직진 운동하는 경우이다.

대부분의 물체군의 경우 위의 두 가지 경우의 조합으로 표현될 수 있으며 본 연구에서는 위의 두 가지 조합으로 표현되는 물체군을 인식하고자 한다.

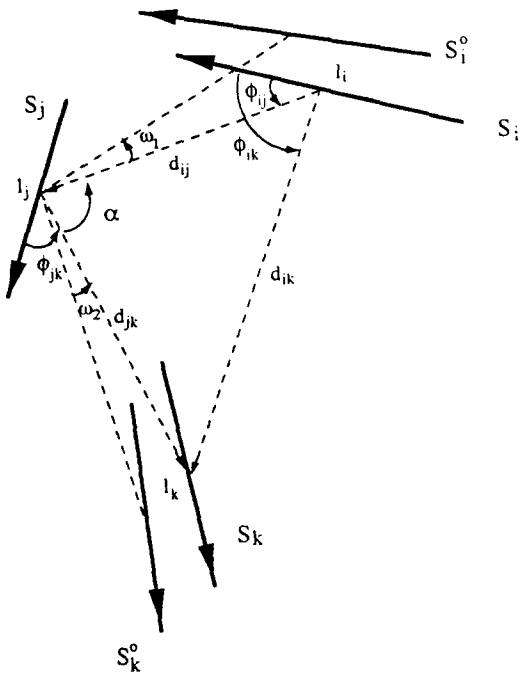


그림 1. 역회전쌍  
Fig. 1. Oppositely turned pair.

먼저 설명의 편의를 위해서 역회전쌍(oppositely turned pair)과 직진이동쌍 (rectilinearly moved pair)을 다음과 같이 정의한다.

[정의 2] 역회전쌍(oppositely turned pair)

서로 교차하지 않는 두 개의 선분 쌍  $(S_i, S_k)$ 와  $(S_j^o, S_k^o)$ 에서 한 쌍의 선분 쌍  $(S_i, S_k)$ 를 회전축  $x$ 에 대해 각각 반대 방향으로 회전시켜서 다른 선분 쌍  $(S_j^o, S_k^o)$ 를 얻을 수 있을 때 두 선분 쌍을 회전축  $x$ 에 대한 역회전쌍이라고 한다.

[정의 3] 직진이동쌍(rectilinearly moved pair)

서로 교차하지 않는 두 개의 선분 쌍  $(S_i, S_j)$ 와  $(S_i, S_k)$ 에서 한 선분  $S_k$ 가 다른 선분  $S_j$ 를  $\phi$ 방향으로

이동시켜서 얻을 수 있을 때 두 선분 쌍을  $\phi$  방향의 직진이동쌍이라고 한다.

그림 1에서와 같이  $S_i$ 를 회전축  $x$ 에 대해서  $w_1$  만큼 회전시킨 선분을  $S_i^o$ 라하고  $S_k$ 를 회전축  $x$ 에 대해서  $-w_2$  만큼 회전시킨 선분을  $S_k^o$ 라고 하면 두 개의 선분 쌍  $(S_i, S_k)$ 와  $(S_i^o, S_k^o)$ 는 회전축  $x$ 에 대한 역회전쌍이라고 정의된다. 이때 역회전각은  $w_1 + w_2$ 로 나타내어진다. 그림 2에서와 같이 선분  $S_j$ 를  $\phi$ 방향으로 직진이동시킨 선분을  $S_j^o$ 라고 할 때  $(S_i, S_j)$ 와  $(S_i, S_j^o)$ 는  $\phi$  방향의 직진이동쌍이라고 정의된다. 여기서  $\phi$ 는  $S_j$  선분의 이동방향과 방향각과의 관계로 결정되는 상대적인 값이며 선분의 이동방향을  $\gamma$ , 선분의 방향각을  $\theta$ 라고 나타낼 때 다음과 같이 나타낸다.

$$\phi = \gamma - \theta \quad (6)$$

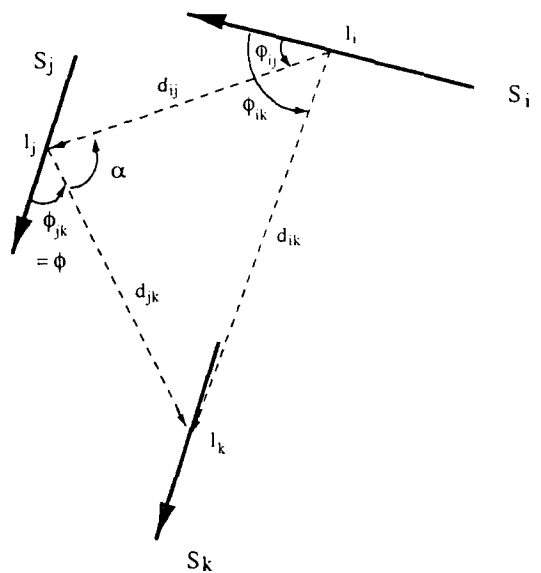


그림 2. 직진이동쌍  
Fig. 2. Rectilinearly moved pair.

이때 [정의 2]과 [정의 3]를 이용하여 다음과 같은 성질을 얻을 수 있다.

[성질 1]

서로 교차하지 않는 두개의 선분 쌍이 회전축  $x$ 에 대한 역회전쌍이라면 두 선분 쌍의 관계는 상호관계 사쌍자로 표현할 수 있다.

증명)

두개의 서로 교차하지 않는 선분을 각각  $S_i, S_k$ 라

고 하자. 그리고 회전축  $x$ 에 대해 선분  $S_i$ 와 선분  $S_k$ 를 각각 반대 방향으로 역회전시킨 선분들을 각각  $S_i^o$ ,  $S_k^o$ 라고 하고 회전축  $x$ 에 중심을 둔 다른 선분들과 교차하지 않는 임의의 선분을  $S_j$ 라고 하자. 그러면 두 선분  $S_j^o$ ,  $S_k^o$ 으로부터 계산할 수 있는 상호관계 사쌍자  $IQ_{jk}^o$ 는  $IQ_{ij}$ ,  $IQ_{jk}$ ,  $IQ_{ik}$ , 및 역회전각  $w_1+w_2$ 를 이용하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$l'_{jk} = l_{jk} \quad (7)$$

$$\theta'_{jk} = \theta_{ij} - w_1 + \theta_{jk} - w_2 \quad (8)$$

$$= \theta_{jk} - (w_1 + w_2) \quad (9)$$

위 식에서 계산된 역회전각  $w_1+w_2$ 를 이용하여  $ld'_{jk}$ 와  $\phi'_{jk}$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$ld'_{jk} = \sqrt{ld_{ij}^2 + (ld_{jk}l_{ij})^2 - 2ld_{ij}ld_{jk}l_{ij}\cos(\alpha + w_1 + w_2)} \quad (10)$$

$$\phi'_{jk} = \phi_{ij} + \sin^{-1}\left(-\frac{ld_{jk}l_{ij}}{ld'_{jk}}\sin(\alpha + w_1 + w_2)\right) \quad (11)$$

여기서,  $\alpha = \pi - (\theta_{ij} - \phi_{ij}) - \phi_{jk}$  이고  $ld'_{jk} \neq 0$ 이다. (증명 끝).

[성질 1]을 이용하여 두 선분  $S_j^o$ ,  $S_k^o$ 로부터 계산할 수 있는 상호관계 사쌍자  $IQ_{jk}^o$ 를 회전축  $x$ 에 놓여진 임의의 선분을 가정한 후  $IQ_{ij}$ ,  $IQ_{jk}$ 와  $IQ_{ik}$ 를 이용하여 계산할 수 있음을 보였다. 두 선분 쌍이 역회전 쌍일 경우 식 (7)이 만족해야 함을 알 수 있으며 식 (9)로부터 역회전각  $w_1+w_2$ 를 추출해 낼 수 있다. 추출된  $w_1+w_2$ 를 이용하여 식 (10)과 식 (11)의 관계를 보일 수 있으며 두 선분 쌍이 역회전 쌍이 아닐 경우 식 (10)과 식 (11)이 성립하지 않기 때문에 이를 이용하여 역회전 쌍 여부를 검증할 수 있다.

[성질 1]의 증명시 설명의 편의를 위해서 두 선분 쌍의 회전축이 일치하는 것으로 가정하였다. 그러나 이러한 가정은 필요 없는 것으로 [20]에서 설명한 바와 같이 같은 상호관계 사쌍자를 갖는 선분 쌍은 그 크기나 위치, 놓여진 각도 등이 달라도 기하학적인 구조는 서로 같다. [성질 1]의 증명시 상호관계 사쌍자만을 사용하였으며 실제적인 기하학적인 좌표를 사용하지 않았다.

그러므로 그림 3에 나타난 바와 같이 각각의 선분 쌍과 회전축과의 기하학적인 관계가 그림 1과 같으면 앞에서 유도한 식 (7) - 식 (11)들이 만족함을 알 수 있다.

이때 두 선분 쌍이 각각 회전축을 가지는 모델과 인식대상 물체에서 추출한 선분 쌍이라고 가정하면 기하학적인 관계를 [성질 1]을 이용함으로써 쉽게 추출할 수 있음을 알 수 있다. 이때 그림 3에 나타난 바와 같이 모델 데이터에서는 선분  $S_j$ 에 해당하는 정보를 이용하여 식 (7) - 식 (11)들의 우변부들을 추출해 내며 인식대상 물체에서 추출한 선분 쌍에서는 선분  $S_j$ 에 해당하는 정보를 이용하지 않고 식 (7) - 식 (11)들의 좌변부들을 추출해 내어 서로 비교하게 된다.

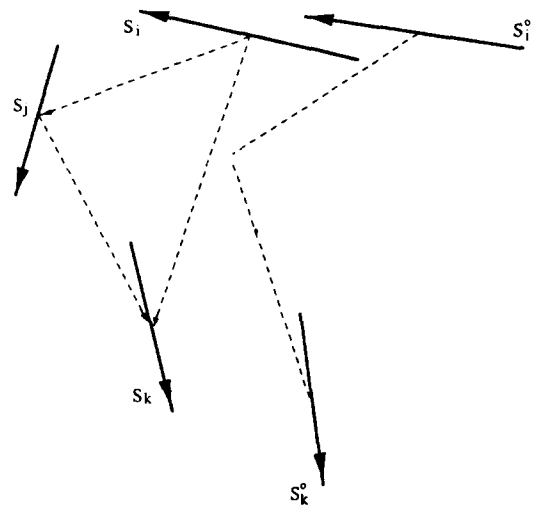


그림 3. 역회전쌍  
Fig. 3. Oppositely turned pair.

[성질 2]

서로 교차하지 않는 두개의 선분 쌍이  $\phi$ 방향에 대한 직진이동쌍이라면 두 선분 쌍의 관계는 상호관계 사쌍자로 표현할 수 있다.

증명)

두개의 서로 교차하지 않는 선분을 각각  $S_i$ ,  $S_k$ 라고 하자. 그리고 선분  $S_i$ 를  $\phi$ 방향으로 직진이동시킨 선분을  $S_k$ 라고 하자. 그러면 두 선분  $S_j$ ,  $S_k$ 로부터 계산할 수 있는 상호관계 사쌍자  $IQ_{jk}$ 는  $IQ_{ij}$ ,  $IQ_{ik}$ 를 이용하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

상호관계 사쌍자의 정의로부터

$$\theta_{jk} = 0, \quad l_{jk} = 1 \quad (12)$$

그러므로

$$\theta_{jk} = \theta_{ij} + \theta_{jk} = \theta_{ij} \quad (13)$$

$$l_{ik} = l_{ij} l_{jk} = l_{ij} \quad (14)$$

이 성립한다. 직진이동쌍의 정의로부터

$$\phi_{jk} = \phi \quad (15)$$

이 성립함을 알 수 있으며,  $ld_{jk}$ 는 코사인 법칙을 이용함으로써 다음과 같이 쉽게 계산할 수 있다.

$$ld_{jk} = \frac{1}{l_{ij}} \sqrt{ld_{ij}^2 + ld_{ik}^2 - 2ld_{ij}ld_{ik}\cos(\phi_{ik} - \phi_{ij})}. \quad (16)$$

(증명 끝).

[성질 2]로부터 두 선분 쌍이 직진이동쌍일 경우 그 이동거리를 구할 수 있음을 알 수 있다. 즉, 두 선분 쌍이 직진이동쌍이라면 식 (12), (13), (14), (15) 이 만족해야 함을 알 수 있으며 그 직진이동거리는 식 (16)로부터 계산할 수 있음을 알 수 있다.

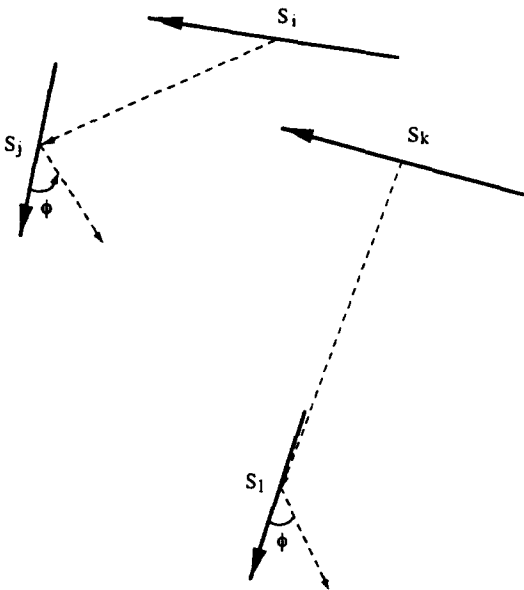


그림 4. 직진이동쌍  
Fig. 4. Rectilinearly moved pair.

[성질 1]의 증명과 마찬가지로 [성질 2]의 증명 시 설명의 편의를 위해서 두 선분 쌍 중에서 선분  $S_i$  가 일치하는 것으로 가정하였다. 그러나 이러한 가정은 필요 없는 것이다. 그러므로 그림 4에 나타난 바와 같

이 각각의 선분 쌍과 회전축과의 기하학적인 관계가 그림 2와 같으면 앞에서 유도한 식 (12) - 식 (16) 들이 만족함을 알 수 있다. 이때 두 선분 쌍이 각각 직진이동 부분을 가지는 모델과 인식대상 물체에서 추출한 선분 쌍이라고 가정하면 그 기하학적인 관계를 [성질 2]를 이용함으로써 쉽게 추출할 수 있음을 알 수 있다.

### III. 물체군 인식 방법

물체군의 인식을 위하여 [20]에서 제안한 상호관계 사쌍자 및 그의 성질들을 이용하고 또한 앞 절에서 설명한 상호관계 사쌍자의 [성질 1과 [성질 2]를 이용한다. 본 연구에서 인식 대상이 되는 물체군은 다음 가정을 만족하는 물체군으로 제한한다.

[가정 1] 물체의 일부분이 물체 내에 존재하는 회전축에 대해 회전하는 물체군.

[가정 2] 물체의 일부분이 상대적으로 직진운동하는 물체군.

[가정 1]을 만족하는 물체들은 가위나 니퍼 등을 들 수 있으며 [가정 2]를 만족하는 물체들은 렌치나 버어너 캐리퍼스 등을 들 수 있다. 본 연구에서는 [가정 1]과 [가정 2]의 조합으로 표현되는 물체들을 물체군(object family)으로 인식할 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 일반적으로 볼 수 있는 많은 물체들이 [가정 1]과 [가정 2]의 조합으로 나타내어짐을 알 수 있으며 위의 가정은 많은 경우 합당한 가정이라고 생각된다.

Umeyama는 물체군의 인식대상을 꼭지점들이 움직임이 직선적으로 표현될 수 있는 것으로 가정하였으며 이 경우 회전하는 물체에 대한 처리 시 계산 오차가 많이 발생하며 또한 회전축이 2-3개 이상 존재하거나 [가정 1]과 [가정 2]의 조합으로 표현되는 물체의 경우는 모델링의 어려움으로 인해서 인식이 불가능한 경우가 많이 발생한다. 이에 비교하면 본 연구에서 제한한 가정은 매우 많은 경우를 처리할 수 있을 것으로 사료된다.

가위나 니퍼와 같이 물체내의 일부분이 상대적으로 움직이는 부분을 갖는 물체군들은 움직이지 않는 부분들로 분해할 수 있다. 가위의 경우 두 개의 가위 날로

분해할 수 있으며 각각의 날들에 대해서는 기존의 인식 방법을 적용할 수 있다. 두 개의 가위 날을 합칠 경우 두 개의 가위 날이 접촉하는 부위의 모양은 가위 날의 각도에 따라서 여러 가지 형태를 가지게 된다. 그러므로 각각의 가위 날에서 추출한 상호관계 사쌍자는 각각의 가위 날의 기하학적인 구조를 나타냄을 알 수 있다. 그리고 두 개의 가위 날이 접촉하는 부위는 그 기하학적인 구조가 각도에 따라 변화하므로 이 부분의 정보는 가위 날의 각도를 제공하나 일반적인 물체군의 경우 공통된 정보를 제공하지 않으므로 이 부분의 정보는 물체군의 모델링시 무효(null)로 간주하여 사용하지 않는다. 두 개의 가위날 간의 관계는 [성질 1]을 이용하여 그 각도를 계산 및 검증할 수 있다. 버어니어 캘리퍼스과 같이 직진이동부를 갖는 물체의 경우도 움직이지 않는 물체로 분해하여 각각에 대해 기존의 방법을 적용하고 [성질 2]를 이용하여 그 이동거리의 검증이 가능하다.

위와 같은 방법으로 물체군의 인식을 위해서 상호관계 사쌍자를 특징치로 사용할 수 있으며 본 연구에서 유도한 성질들을 이용하여 검증할 수 있다. 모델링 단계와 인식 단계에서의 특징치 추출 방법은 다음과 같다.

### 1. 특징치 추출 방법

물체군 인식을 위한 특징치로서 본 연구에서는 상호관계 사쌍자를 사용한다. 이때 모델링 단계 및 인식 단계에서 공통적으로 상호관계 사쌍자를 추출해야 하며 모델링 단계에서는 부가적인 처리 단계가 필요하다. 모델링 단계 및 인식 단계에서 공통적으로 적용되는 특징치 추출 방법은 3 단계로 나타내어지며 다음과 같이 기술된다.

[단계 1] 물체의 경계 점들로부터 [6]의 다각형 근사화 방법을 이용하여 꼭지점을 추출한다.

[단계 2] 꼭지점의 개수를  $m$ 개라고 할 때 임의의 꼭지점을 시작점으로 하여  $m$ 개의 선분  $S_i, i=1, \dots, m$ 을 추출한다.

[단계 3]  $m$ 개의 선분을 이용하여  $m$ 개의 상호관계 사쌍자  $IQ_{ij}$ 를 추출한다. 이때 첫 번째 선분  $S_{j=1}$ 을 중심선분으로 하고 다음 번째 선분을 전방선분  $S_{j=i-1}$ 으로 하여 상호관계 사쌍자  $IQ_{ij}$ 를 구하며 인덱스  $i$ 를 증가시키면서 상호관계 사쌍자를 추출한다.

모델링 단계에서는 추가적으로 2 단계가 더 필요하

며 다음과 같다.

[단계 4] 물체 내에 회전축들이 존재할 경우 각각의 회전축에 임의의 선분을 할당시킨다. 이때 선분의 중심을 회전축에 일치시키고 물체의 외곽을 이루는 선분들과 교차되지 않도록 한다. 물체내의 일부분들이 상대적으로 직진운동을 할 경우 이동하는 선분들의 이동방향을 저장한다.

즉 모델링 단계에서 물체 내의 회전축의 위치들이나 직진운동 부위의 방향정보를 추출하여 저장하고 있어야 하며 이 정보를 물체군의 인식 단계에서 활용하게 된다.

[단계 5] 물체군을 움직이지 않는 부분으로 분해한 후 각각의 부속품(subpart)에 해당하는 선분과 상호관계 사쌍자에 부속품 번호를 할당한다. 그리고 각각의 부속품이 연결되는 부위에 해당하는 선분과 상호관계 사쌍자에는 무효(null)를 할당한다.

위의 5단계를 통해서 모델로 저장하는 데이터를 정리하면 다음과 같다.

- 상호관계 사쌍자 리스트 및 해당 부속품 번호
- 선분 리스트 및 해당 부속품 번호
- 회전축에 중심이 위치한 선분
- 직진이동부의 방향벡터

### 2. 물체군 인식 방법

물체군의 인식을 위해서는 두 개의 상호관계 사쌍자 리스트를 주로 이용하며 두 개의 선분 리스트들도 보조적으로 사용된다. 그리고 모델링 시에 저장된 모델에 대한 부속품 번호 및 회전축에 할당된 선분, 직진이동부의 방향벡터 등이 이용된다. 상호관계 사쌍자를 이용한 물체군 인식 방법은 다음과 같다.

[단계 1] 모델과 인식대상 물체에 대한 상호관계 사쌍자 리스트로부터 모든 일치쌍들을 추출한다.

[20]의 방법과 같이 주어진 임계값(threshold level) 이하의 값을 갖는 쌍을 찾으면 되며 모델이  $m$ 개의 선분, 인식대상 물체가  $n$ 개의 선분으로 이루어져 있을 경우 최대  $m \times n$ 번의 비교를 하면 된다.

[단계 2] 단계 1)에서 추출한 일치쌍들을 이용하여 모델의 부속품들에 대해 각각 모든 정합쌍들을 추출한다.

즉 두개의 일치쌍이 찾아지면 각 일치쌍의 중심선분쌍을 찾을 수 있으며 모델 물체를 이루는 두개의 중

심선분간에 계산된 상호관계 사쌍자와 인식 대상 물체를 이루는 두개의 중심선분간에 계산된 상호관계 사쌍자가 서로 같으면 두개의 일치쌍은 정합쌍이 될 가능성이 높다. 그리고 세 개 이상의 일치쌍에 대해서 위의 방법을 적용하여 얻은 일치쌍 간의 상호관계 사쌍자가 각각 같은 값을 가질 때 각 일치쌍은 정합쌍이 된다고 할 수 있다.

[단계 3] [성질 1]과 [성질 2]를 이용하여 각각의 부속품들로부터 각 부속품 간의 역회전각이나 직진이동거리를 계산해 내고 검증한다. 그후 모델 물체군과 인식대상 물체군간의 위치이동량, 회전이동량, 및 크기 변화량들을 계산한다.

회전축을 가지는 물체의 경우 [성질 1]로부터 역회전각  $w_1 + w_2$ 를 계산할 수 있으며 이 값을 이용하여 회전상태를 검증할 수 있다. 두 물체가 같은 물체군일 경우 모델에 저장된 회전축을 중심으로 하여 각각의 선분들을 회전시킬 수 있으며 이 결과 인식대상 물체와 같은 모양을 얻을 수 있다. 직진이동 부분을 갖는 물체의 경우 [성질 2]로부터 직진이동량을 계산할 수 있으며 이 값을 이용하여 마찬가지로 검증이 가능하다. 같은 물체군일 경우 이와 같은 방법으로 역회전각이나 이동거리들을 추출할 수 있으며 이때 추출된 값을 이용하여 모델을 변환시키면 변환된 모델과 인식대상 물체는 같은 모양을 갖게 된다. 그리고 변환시킨 모델과 인식대상 물체로부터 위치이동량, 회전이동량, 크기변화량 등을 쉽게 추출할 수 있다.

#### IV. 실험 결과

VME 버스에 기초한 비전 시스템을 이용하여 앞절에서 제안된 물체인식 방법을 실험하였으며 MC68030을 장착한 주 프로세서(CPU30)를 사용하였다. 실시간 O/S인 VxWorks를 사용하였으며 C 언어를 이용하여 소프트웨어를 구현하였다. 영상 획득을 위하여 흑백 CCD 카메라(Javelin JE-2002)가 이용되었으며 영상 신호는 512 × 512의 공간 해상도를 가지며 256 단계의 밝기 해상도를 가진다.

그림 5에 가위와 렌치의 꼭지점을 연결함으로써 얻어진 모델들의 외형을 나타내었다. 표 1에 가위에서 추출한 모델링 데이터를 나타내었으며 각각의 선분들로부터 얻어진 상호관계 사쌍자 그리고 해당 부속품

번호 등을 나타내었다.

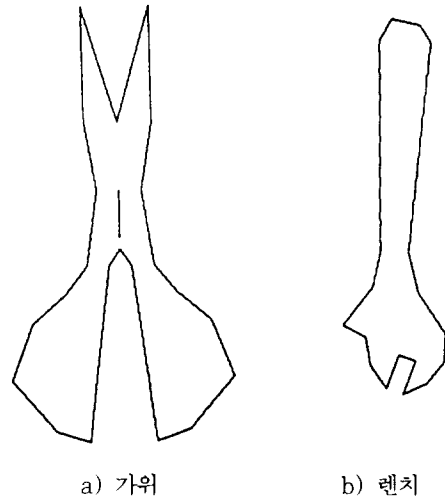


그림 5. 모델의 외형  
Fig. 5. The boundary curves of models.  
a) a pair of scissors  
b) wrench

표 1. 가위에 대한 모델링 데이터  
Table 1. The modeling data of a pair of scissor.

The axis of rotation				subpart number	direction of movement
$x_{si}$	$y_{si}$	$x_{ei}$	$y_{ei}$	-	-
212	266	212	306	-1	-
Interrelation Quadruplets					
$\theta_{ij}$	$\phi_{ij}$	$l_{ij}$	$ld_{ij}$		
- .165	-0.062	.608	.801	1	-
.317	.165	1.081	1.027	1	-
.522	.169	.486	.721	2	-
.201	.110	1.219	1.104	2	-
-.495	-.288	1.378	1.154	2	-
-1.107	-.588	1.118	.901	2	-
-.522	-.178	.525	.739	2	-
-1.764	-1.560	4.942	2.425	2	-
.459	0.046	.115	.552	2	-
1.965	.982	1.000	.554	-1	-
.459	.413	8.669	4.787	-1	-
-1.764	-.203	.202	.490	1	-
-.522	-.344	1.903	1.407	1	-
-1.107	-.519	.894	.806	1	-
-.495	-.207	.725	.836	1	-
.201	0.090	.819	.905	1	-
.522	.352	2.054	1.481	1	-
.317	.152	.924	.950	1	-
-.165	-.102	1.643	1.317	2	-
-2.850	-1.570	1.044	.150	2	-
2.558	1.279	1.000	.287	-1	-
-2.850	-1.279	.957	.143	-1	-

부속품 번호는 1번부터 차례로 할당시켰으며 -1인 부분은 두 부속품이 접촉하는 부분이며 무효(null)로 처리하여 매칭시 비교를 하지 않아도 되는 부분이다. 그리고 회전축의 위치도 나타내었으며 직진이동부는 없으므로 직진이동부의 방향벡터를 "-"로 나타내었다. 이 경우 직진이동부가 없다고 해서 0으로 나타내면 선분의 방향과 직진이동 방향이 같음을 의미하기 때문에 직진이동 부분을 가지는 것으로 간주된다. 그리고 렌치에 대해서도 표 2와 같은 모델링 데이터를 가지게 된다.

하게 찾은 것을 알 수 있다.

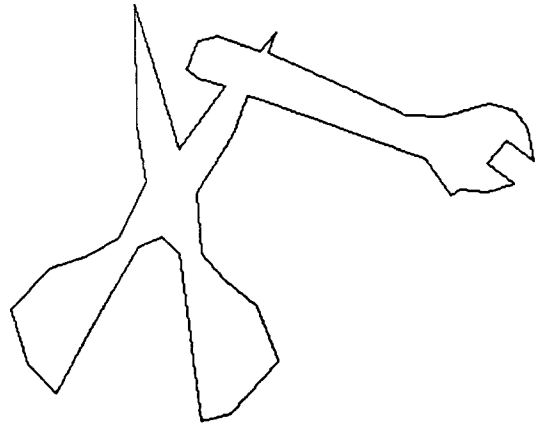


표 2. 렌치에 대한 모델링 데이터  
Table 2. The modeling data of a wrench.

The axis of rotation				subpart number	direction of movement
$x_{si}$	$y_{si}$	$x_{ei}$	$y_{ei}$	-	-
-	-	-	-	-	-
Interrelation Quadruplets				-	
$\theta_{ij}$	$\phi_{ij}$	$l_{ij}$	$ld_{ij}$	-	-
-584	-531	9.646	5.247	1	-
.217	0.029	.159	.578	1	-
.455	.267	1.414	1.176	1	-
-1.727	-509	.519	.526	1	-
.909	.486	1.140	.961	-1	-
-.446	-.220	.980	.965	2	-.909
-2.176	-1.307	1.264	.538	2	-.463
1.570	.463	.500	.559	2	-1.428
1.570	1.107	2.000	1.118	-1	-
-2.356	-.785	.707	.353	1	-
-.463	-.244	1.118	1.030	1	-
-.643	-.321	1.000	.948	1	-
-.620	-.394	1.720	1.300	1	-
.341	.156	.846	.909	1	-
.330	.278	5.226	3.090	1	-
-.640	-0.052	0.094	.538	1	-
-.902	-.530	1.391	1.079	1	-
-1.118	-.484	.786	.75	1	-

그림 6. 인식대상 영상  
Fig. 6. The scene image.

표 3. 부속품 1에 대한 일치쌍  
Table 3. The compatible pairs of subpart 1.

model segment	scene segment
1	1
1	7
1	15
1	19
1	29
2	2
2	4
2	16
2	18
2	32
12	12
12	22
13	13
13	31
13	40
14	6
14	14
15	7
15	15
15	19
15	24
15	29
15	37
16	16
16	32
17	17
18	2
18	4
18	16
18	32

그림 6에 인식하고자 하는 영상을 나타내었으며 가위와 렌치가 겹쳐진 채로 놓여져 있음을 알 수 있다. 그림 6과 가위에 대해서 물체군 인식 방법을 적용시키면 단계 1)의 출력으로 모든 일치쌍들을 추출할 수 있으며 임계값을 0.5로 했을 때 각각의 부속품에서 얻어진 일치쌍들을 표 3과 표 4에 나타내었다.

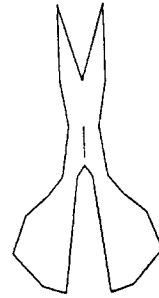
얻어진 일치쌍들은 대응하는 위치에 관계없이 비슷한 기하학적인 구조를 가짐을 알 수 있다. 단계 2)를 수행시켜서 얻어진 정합쌍들을 표 5에 나타내었으며 각각의 부속품에 대해서 대응하는 선분의 위치를 적절



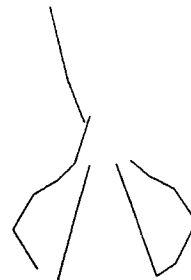
표 4. 부속품 2에 대한 일치쌍

Table 4. The compatible pairs of subpart 2.

model segment	scene segment
3	3
3	21
4	4
5	5
5	30
6	6
6	14
7	7
7	15
7	19
7	29
7	37
9	9
9	21
20	35



a) 모델 영상



b) 역회전된 모델

그림 7. 역회전된 모델

Fig. 7. Oppositely turned model.

표 5. 가위에 대한 정합쌍

Table 5. The matched pairs of a pair of scissors.

model segment	scene segment
1	1
12	12
2	2
13	13
14	14
15	15
16	16
17	17

(a) 부속품 1에 대한 정합쌍

model segment	scene segment
3	3
5	5
4	4
6	6
7	7
9	9

(b) 부속품 2에 정합쌍

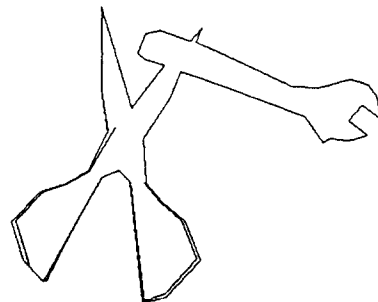


그림 8. 모델을 중첩시킨 인식결과 : 가위

Fig. 8. Superimposed recognition result: a pair of scissors.

단계 3)에서 정합쌍간의 역회전각  $w_1 + w_2$ 를 추출할 수 있으며 얻어진 역회전각을 이용해서 정합쌍에 해당하는 모델 부분을 변환시킨 결과를 그림 7에 나타내었다. 변환된 모델과 인식 대상 영상으로부터 위치이동, 회전이동, 크기변화 양을 추출해 낼 수 있으며 이 값을 이용해 인식 대상 영상측에 모델을 중첩시킨 결과를 그림 8과 그림 9에 나타내었다.

제안된 방법의 계산량은 모델의 꼭지점 수가  $m$ , 인식 대상 물체의 꼭지점 수가  $n$ 일 경우  $O(mn)$ 의 계산량을 가지며 기존의 가려진 물체인식 방법과 같은 양의 계산량을 가짐을 볼 수 있다. Umeyama의 방법은 시간적으로 매우 비효율적인 방법이며  $O(m^n)$ 의 계산량을 가짐을 볼 수 있다. 각각의 비교 데이터를 표 6에 나타내었다. 표 6에서 알 수 있는 바와 같이 제안된 방법은 비교적 효율적으로 물체군을 인식할 수 있는 반면 Umeyama의 방법은 대단히 비효율적으로 물

체군을 인식하며 데이터 량이 커질수록 엄청난 시간이 필요함을 알 수 있다.

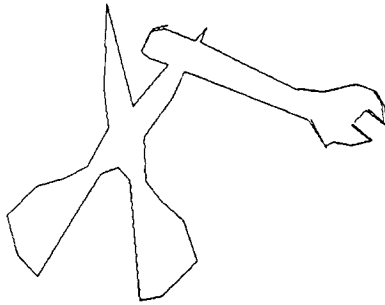


그림 9. 모델을 중첩시킨 인식결과 : 렌치  
Fig. 9. Superimposed recognition result: wrench.

표 6. 계산량 비교표  
Table 6. The comparison of computational load.

function	# of comp.
feature extraction	$n$
find all compatible pair	$mn$
find all matched pair	$mn$

(a) 제안된 방법의 계산량

function	# of comp.
update $\alpha$	$m^n$
update scaling factor	$m^n$
bound check	$m^n$

(b) Umeyama 방법의 계산량

V. 결 론

본 연구에서는 물체군의 인식 방법에 대해 다루었다. 물체군의 인식 문제는 그 필요성이 많음에도 불구하고 기존에는 거의 다루어지지 않았던 문제이다. 많은 연구에서 가위나 렌치 등을 인식대상 물체로 선정한다. 그 인식 방법을 제안하였으나 거의 대부분의 연구가 가위의 회전성 등을 고려하지 않고 일정한 상태에서의 가위 모양에 대한 인식문제를 다루었으며 이 경우 실제적으로 여러 가지 형태로 놓여질 수 있는 가위를 인식할 수 없을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 [20]에서 제안한 상호관계 사쌍자의 정의에서 물체군의 인식에 사용 가능한 상호관계 사쌍자의 여러 성질을 유도하였다. 본 연구에서는 두

가지 종류의 물체군을 대상으로 하였으며 각각의 물체군에 대한 인식을 효율적으로 수행함을 보였다. 그리고 현재 알려진 방법과 비교하여 제안된 방법의 효용성을 입증하였다.

참 고 문 헌

[1] W. A. Perkins, "A model based vision system for industrial parts," *IEEE trans. Comput.*, vol. C-27, pp. 126-143, Feb. 1978.

[2] W. Eric L. Grimson, "The combinatorics of heuristic search termination for object recognition in cluttered environments," *IEEE trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 13, pp. 920-935, Sep. 1991.

[3] W. Eric L. Grimson and T. Lozano-perez, "Localizing overlapping parts by searching the interpretation tree," *IEEE trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 9, no. 4, pp. 469-482, 1987.

[4] N. Ayache and O. D. Faugeras, "HYPER: A new approach for the recognition and positioning of two-dimensional objects," *IEEE trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-8, pp. 44-54, Jan. 1986.

[5] J. W. Gorman, O. R. Mitchell and F. P. Kuhl, "Partial shape recognition using dynamic programming," *IEEE trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 10, no. 2, pp. 257-266, March 1988.

[6] H.-C. Liu and M. D. Srinath, "Partial shape classification using contour matching in distance transformation," *IEEE trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 12, no. 11, pp. 1072-1079, Nov. 1990.

[7] W. Eric L. Grimson, "On the Recognition of Curved Objects," *IEEE trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 11, no. 6, pp. 632-643, June 1989.

[8] C.-H. Chien, and J. K. Aggarwal, "Model Construction and Shape

- Recognition from Occluding Contours," *IEEE trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 11, no. 4, pp. 372-389, April 1989.
- [9] M. Das, and M. J. Paulik, and N. K. Loh, "A Bivariate Autoregressive Modeling Techniques for Analysis and Classification of Planar Shapes," *IEEE trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 12, no. 1, pp. 97-103, Jan 1990.
- [10] W. Eric L. Grimson, and D. P. Huttenlocher, "On the Verification of Hypothesized Matches in Model-Based Recognition," *IEEE trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 13, no. 12, pp. 1201-1213, Dec. 1991.
- [11] C. C. Lin, and R. Chellappa, "Classification of Partial 2-D Shapes Using Fourier Descriptors," *IEEE trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 9, no. 5, pp. 686-690, Sep. 1987.
- [12] Y. He, and A. Kundu, "2-D Shape Classification Using Hidden Markov Model," *IEEE trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 13, no. 11, pp. 1172-1184, Nov. 1991.
- [13] J. L. Turney, and T. N. Mudge, and R. A. Volz, "Recognizing Partially Occluded Parts," *IEEE trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 7, no. 4, pp. 410-421, July 1985.
- [14] B. Bhanu, and O. D. Faugeras, "Shape Matching of Two-Dimensional Objects," *IEEE trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 6, no. 2, pp. 137-156, March 1984.
- [15] M. W. Koch, and R. L. Kashyap, "Using Polygons to Recognize and Locate Partially Occluded Objects," *IEEE trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-9, no. 4, pp. 483-494, 1987.
- [16] N. Ansari, and E. J. Delp, "Partial Shape Recognition: A Landmark-Based Approach," *IEEE trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 12, no. 5, pp. 470-483, May 1990.
- [17] H. J. Wolfson, "On curve matching," *IEEE trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 12, no. 5, pp. 483-489, May 1990.
- [18] W. Eric L. Grimson, "Recognition of Object Families Using Parameterized Models," *Proc. of First Int. Conf. Comput. Vision*, pp. 93-101, 1987.
- [19] S. Umeyama, "Parameterized Point Pattern Matching and Its Application to Recognition of Object Families," *IEEE trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 15, no. 2, pp. 136-144, Feb. 1993.
- [20] 한동일, 변증남, "상호관계 벡터를 이용한 이차원의 가려진 물체 인식", 대한전자공학회 논문지 제31권 B편, 7호, pp 917-927, 1994.

---

 저 자 소 개
 

---


**韓 東 一(正會員)**

1966년 2월 23일생. 1988년 2월 고려대학교 전자전산공학과(학사), 1990년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(석사), 1995년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(박사). 1995

년 2월 ~ 현재 LG전자 영상미디어 연구소 선임연구원. 주 관심 분야는 패턴인식 및 영상처리, 시각장치를 이용한 자동화, DSP 처리 기술 및 Real Time OS를 이용한 실시간 처리기술 등임.

**卞 增 男(正會員)**

제 31권 B편 제 7호 참조.

현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 교수