

상호관계 벡터를 이용한 이차원의 가려진 물체 인식

(Two-Dimensional Partial Shape Recognition Using Interrelation Vector)

韓 東 一*, 卞 增 男*

(Dongil Han and Zeungnam Bien)

要 約

본 논문에서는 2차원 평면상에 존재하는 두 개의 선분간의 상호관계를 나타내는 상호관계 벡터를 이용하여 가려진 물체에도 적용 가능한 물체인식 알고리즘을 제안한다. 상호관계 벡터는 한쌍의 선분의 위치 이동, 회전 이동 및 크기 변화에 무관한 값을 가지며 다각형 형태의 물체를 인식하기 위한 특징치로 사용되었다. 상호관계 벡터를 이용하여 물체 인식에 유용한 여러가지 다른 성질도 유도되었으며 제안된 알고리즘은 간단한 계산만으로 빠르고 효율적으로 처리할 수 있는 장점이 있다.

Abstract

By using a concept of interrelation vector between line segments, a new algorithm for partial shape recognition of two-dimensional objects is introduced. The interrelation vector, which is invariant under translation, rotation, and scaling of a pair of line segments, is used as a feature information for polygonal shape recognition. Several useful properties of the interrelation vector are also derived in relation to efficient partial shape recognition. The proposed algorithm requires only small space of storage and is shown to be computationally simple and efficient.

1. 서론

컴퓨터를 이용한 영상처리 분야에서 물체인식 문제는 중요한 문제 중의 하나이다. 그리고 최근에는 가려지거나 겹쳐진 물체를 인식하는 연구가 널리 행해지고 있다. 물체 인식을 필요로 하는 여러 분야에서 인식 대상 물체간의 접촉이나 겹쳐짐, 조명이나 배경 등의 변화, 구름이나 연기과 같은 제어하기 힘든 외부환경등에 의해서 대상 물체의 형태를 완전하게 얻

을 수 없는 경우가 자주 발생한다. 이러한 경우에는 인식 대상 물체가 저장되어 있는 모델 물체와 서로 같은 물체일 경우에도 서로 다른 형태의 영상을 나타낼 수 있다. 이와 같이 가려짐이나 겹쳐짐은 물체 인식에 있어서 커다란 장애가 되며 이 문제를 풀기 위하여 여러가지 방법들이 제안되고 있다.

고전적인 연구로써 Perkins^[1]는 물체의 외형을 선분과 원호들의 집합으로 표시하고 저장하고 있던 모델 집합과 서로 비교함으로써 물체를 구분하였으며 가려진 물체에도 적용가능한 방법을 제시하였다. 그러나 물체의 크기 변화에 적응하지 못하는 단점이 있다. 그 이후로 많은 알고리즘이 개발, 제안되었으나 대부분의 알고리즘들은 모델과 실제 물체간의 변환 관

*正會員, 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科

(Dept. of Electrical Eng., KAIST)

接受日字 : 1993年 10月 20日

계를 검색을 이용하여 찾는 방법을 사용하고 있다.^[2] 이 방법에 기초한 연구로서 변환관계를 가정한 후 테스트하는 방법^[3], tree 검색 방법^[4] 등이 있다. 그러나 이 방법들은 모델과 실제 물체 사이의 변환 관계를 구하기 위하여 많은 수의 변환을 필요로 하며 이에 따라서 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 이와 다른 방법으로 모델과 실제 물체간의 변환관계를 직접 구하지 않고 모델과 실제 물체 각각에서 물체의 위치 변화나 회전이동 그리고 크기의 변화에 무관한 특징치를 추출한 후 이 값들을 서로 비교하는 방법이 있다. 이와 관련된 연구로서 Fourier 급수를 쓰는 방법^[5], shape signature^[6]를 쓰는 방법등이 있으나 시간이 오래걸리는 단점이 있다. Liu^[7]는 간단하고 빠른 알고리즘을 제안하였으나 가려진 정도가 클 경우 인식율이 저조하다.

본 연구에서는 이차원 평면상에 존재하는 물체를 다각형으로 근사화한 후에 물체에 가려짐이 존재할 때에도 적용이 가능한 물체인식 방법을 제안하고자 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 한 쌍의 선분간의 기하학적인 관계를 나타내는 “상호관계 벡터(interrelation vector)”를 정의한 후에 이 정의로부터 두 선분의 위치변화나 회전이동, 그리고 크기 변화에 무관한성질을 유도할 수 있음을 보인다. 그리고 이 성질을 확장하여 물체의 외형을 선분으로 근사화하여 이루어진 폐 다각형에 대해서 같은 성질을 가짐을 보일 수 있다.

제안된 상호관계 벡터의 성질을 이용함으로써 물체의 위치 변화나 회전이동, 크기 변화에 무관하게 물체를 인식할 수 있으며 가려진 물체의 인식에도 적용할 수 있음을 보인다. 제안된 방법은 널리 알려진 다른 방법들과 비교하여 보았으며 빠르고 효율적으로 적용될 수 있음을 보인다.

II. 상호관계 벡터

영상내에 존재하는 물체에 대한 정보를 얻기 위한 방법으로 많은 알고리즘들이 물체의 경계에 대한 정보를 이용하고 있다. 이진영상의 경우 물체의 경계 정보로써 물체를 완전히 표현할 수 있으며 1차원 데이터를 처리하기 때문에 기억 용량 및 처리시간을 줄일 수 있다. 본 연구에서는 패턴 인식에 이용하기 위한 특징치를 얻기 위하여 일차원 경계 데이터를 다각형으로 근사화 한 후 각각의 선분들을 이용한다.

1. 상호관계 벡터의 정의

m개의 선분으로 이루어진 다각형을 고려해보자.

각각의 선분 S_i 는

$$S_i = (x_i, y_i, l_i, \theta_i), i = 1, \dots, m \quad (1)$$

으로 표현할 수 있으며 여기서 x_i, y_i 는 선분의 중점 좌표, l_i 는 선분의 길이 그리고 θ_i 는 선분과 x축과 이루는 각도이다. 선분의 다른 표현 방법으로 두 개의 꼭지점으로써 선분을 표현하는 방법이 있다. 즉 선분의 시작점을 (x_s, y_s), 선분의 끝점을 (x_e, y_e)로 나타내면 각각의 선분 S_i 는

$$S_i = (x_{si}, y_{si}, x_{ei}, y_{ei}), i = 1, \dots, m \quad (2)$$

으로 표시할 수 있다. 이때 두 선분의 중점을 잇는 선분을 다음과 같이 정의한다.

[정의 1] 상호연결 선분(Interconnection Segment)

서로 교차하지 않는 두개의 선분을 각각 S_i, S_j 라고 할때 선분 S_i 의 중점을 시작점으로 하고 선분 S_j 의 중점을 끝점으로 하는 선분을 상호연결 선분 IS_{ij} 라고 한다.

상호연결 선분 IS_{ij} 는

$$IS_{ij} = (x_{ij}, y_{ij}, d_{ij}, \gamma_{ij}) \quad (3)$$

와 같이 4개의 성분으로 나타낼 수 있으며 각각의 성분은 식(1)과 같은 값들을 나타낸다.

즉 d_{ij} 는 상호연결 선분의 길이, γ_{ij} 는 상호연결 선분과 x축과 이루는 각도이다. 이때 상호연결 선분을 이용하여 두 선분간의 관계를 나타내는 상호관계 벡터(Interrelation Vector) IV_{ij} 를 다음과 같이 쉽게 정의할 수 있다.

[정의 2] 상호관계 벡터(Interrelation Vector)

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

$$IV_{ij} = (\theta_{ij}, \phi_{ij}, l_{ij}, ld_{ij}) \quad (4)$$

여기서

$$\theta_{ij} = \theta_j - \theta_i \quad (5)$$

$$\phi_{ij} = \gamma_{ij} - \theta_i \quad (6)$$

$$l_{ij} = \frac{l_j}{l_i} \quad (7)$$

$$ld_{ij} = \frac{d_{ij}}{l_i} \quad (8)$$

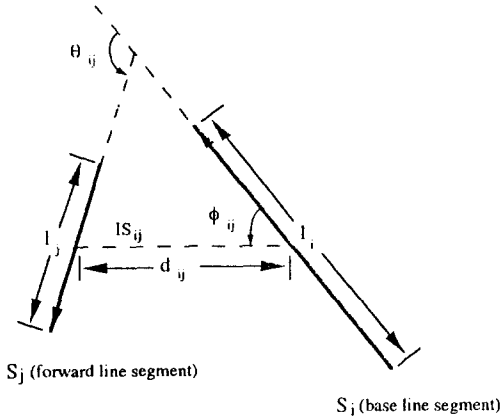


그림 1. 두 선분간의 기하학적인 관계

Fig. 1. The geometrical relationship between two line segments.

그림 1과 같이 상호관계 벡터 IV_{ij} 는 이차원 평면상에 존재하는 두 개의 선분 S_i 와 S_j 의 기하학적인 관계를 나타내는 값이다. 두개의 선분중 S_i 를 중심으로 하여 S_j 의 상대적인 관계를 계산한 값이 상호관계벡터 IV_{ij} 이며 이때 S_i 를 중심선분(base line segment), S_j 를 전방선분(forward line segment)이라고 한다. 선분 S_i 를 중심으로 한 경우는 상호관계벡터 IV_{ij} 가 구해지며 이때 S_i 가 중심선분 S_i^c 가 전방선분이 된다. 상호관계 벡터 IV_{ij} 는 IV_{ji} 와 다른 값을 가지며 상호관계 벡터의 정의로부터 4개의 성분들은 각각 다음과 같은 관계를 가짐을 쉽게 알 수 있다.

$$(\theta_{ji}, \phi_{ji}, l_{ji}, ld_{ji}) = (-\theta_{ij}, \phi_{ij} + \pi - \theta_{ij}, l_{ij}^{-1}, ld_{ij} l_{ij}^{-1}) \quad (9)$$

두 개의 선분 S_i 와 S_j 를 각각

$$S_i = (x_{si}, y_{si}, x_{ei}, y_{ei}) \quad (10)$$

$$S_j = (x_{sj}, y_{sj}, x_{ej}, y_{ej}) \quad (11)$$

라 할때 상호관계 벡터 IV_{ij} 의 4개의 성분은 다음과 같이 표현된다.

$$\theta_{ij} = \tan^{-1} \frac{y_{ej} - y_{sj}}{x_{ej} - x_{sj}} - \tan^{-1} \frac{y_{ei} - y_{si}}{x_{ei} - x_{si}} \quad (12)$$

$$\phi_{ij} = \tan^{-1} \frac{y_{ej} + y_{sj} - y_{ei} - y_{si}}{x_{ej} + x_{sj} - x_{ei} - x_{si}} - \tan^{-1} \frac{y_{ei} - y_{si}}{x_{ei} - x_{si}} \quad (13)$$

$$l_{ij} = \frac{\sqrt{(x_{ej} - x_{sj})^2 + (y_{ej} - y_{sj})^2}}{\sqrt{(x_{ei} - x_{si})^2 + (y_{ei} - y_{si})^2}} \quad (14)$$

$$ld_{ij} = \frac{\sqrt{(x_{ej} + x_{sj} - x_{ei} - x_{si})^2 + (y_{ej} + y_{sj} - y_{ei} - y_{si})^2}}{2\sqrt{(x_{ei} - x_{si})^2 + (y_{ei} - y_{si})^2}} \quad (15)$$

여기서 $\tan^{-1}(y/x)$ 은 다음과 같이 표시되는 양이다.

$$\theta = \tan^{-1}(y/x) = \begin{cases} 0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ & \text{for } +x \text{ and } +y \\ 90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ & \text{for } -x \text{ and } +y \\ -180^\circ \leq \theta \leq -90^\circ & \text{for } -x \text{ and } -y \\ -90^\circ \leq \theta \leq 0^\circ & \text{for } +x \text{ and } -y \end{cases}$$

2. 상호관계 벡터의 성질

상호관계 벡터의 정의로부터 물체 인식에 유용한 여러가지 성질들을 추출할 수 있으며 다음과 같다.

[정리 1] Necessary Condition for Invariance of Similarity Transform

상호관계 벡터는 한 쌍의 선분의 위치 변화, 회전 이동, 및 크기 변화에 무관한 값을 가진다.

증명)

서로 교차하지 않는 두개의 선분을 각각 S_i, S_j 라고 하자. 이 선분들을 m배 확대시키고 또 위치 변화시킨 선분들을 각각 S_i^m 와 S_j^m 라고 하면 S_i^m 와 S_j^m 는 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_i^m = (mx_{si} + tx, my_{si} + ty, mx_{ei} + tx, my_{ei} + ty) \quad (16)$$

$$S_j^m = (mx_{sj} + tx, my_{sj} + ty, mx_{ej} + tx, my_{ej} + ty) \quad (17)$$

여기서 tx 와 ty 는 각각 x 축과 y 축 방향으로 위치 변화된양을 나타낸다 [정의 2] 로 부터 상호관계 벡터 IV_{ij}^m 를 계산하면 4개의 성분은 각각 다음과 같이 나타내어 진다.

$$\theta_{ij}^m = \tan^{-1} \frac{(my_{ej} + ty) - (my_{sj} + ty)}{(mx_{ej} + tx) - (mx_{sj} + tx)} - \tan^{-1} \frac{(my_{ei} + ty) - (my_{si} + ty)}{(mx_{ei} + tx) - (mx_{si} + tx)}$$

$$= \tan^{-1} \frac{y_{ej} - y_{sj}}{x_{ej} - x_{sj}} - \tan^{-1} \frac{y_{ei} - y_{si}}{x_{ei} - x_{si}}$$

$$\phi_{ij}^m = \tan^{-1} \frac{(my_{ej} + ty) + (my_{sj} + ty) - (my_{ei} + ty) - (my_{si} + ty)}{(mx_{ej} + tx) - (mx_{sj} + tx) - (mx_{ei} + tx) - (mx_{si} + tx)}$$

$$\begin{aligned}
 & -\tan 2^{-1} \frac{(my_{ei} + ty) - (my_{si} + ty)}{(mx_{ei} + tx) - (mx_{si} + tx)} \\
 & = \tan 2^{-1} \frac{y_{ej} + y_{sj} - y_{ei} - y_{si}}{x_{ej} + x_{sj} - x_{ei} - x_{si}} - \tan 2^{-1} \frac{y_{ej} - y_{si}}{x_{ei} - x_{si}} \\
 l_{ij}^{st} & = \frac{\sqrt{\left((mx_{ej} + tx) - (mx_{sj} + tx) \right)^2 + \left((my_{ej} + ty) - (my_{sj} + ty) \right)^2}}{\sqrt{\left((mx_{ei} + tx) - (mx_{si} + tx) \right)^2 + \left((my_{ei} + ty) - (my_{si} + ty) \right)^2}} \\
 & = \frac{\sqrt{(x_{ej} - x_{sj})^2 + (y_{ej} - y_{sj})^2}}{\sqrt{(x_{ei} - x_{si})^2 + (y_{ei} - y_{si})^2}} \\
 ld_{ij}^{st} & = \frac{\sqrt{(x_{ej} + x_{sj} - x_{ei} - x_{si})^2 + (y_{ej} + y_{sj} - y_{ei} - y_{si})^2}}{2\sqrt{(x_{ei} - x_{si})^2 + (y_{ei} - y_{si})^2}}
 \end{aligned}$$

위의 4개의 성분들이 각각 식(12) - 식(15)와 일치하므로 다음 식이성립함을 알 수 있다.

$$IV_{ij}^{st} = IV_{ij} \quad (18)$$

두개의 선분 S_i 와 S_j 를 θ 만큼 회전시킨 선분을 각각 S_i^T 와 S_j^T 라고 하면 l_{ij}^{st} 과 ld_{ij}^{st} 은 회전이동에 무관한 값을 가지며

$$\theta_{ij}' = (\theta_j + \theta) - (\theta_i + \theta) = \theta_{ij} \quad (19)$$

$$\phi_{ij}' = (\gamma_{ij} + \theta) - (\theta_i + \theta) = \phi_{ij} \quad (20)$$

그러므로

$$IV_{ij}' = IV_{ij} \quad (21)$$

이 성립한다. 식(18)와 식(21)으로부터 상호관계 벡터는 한 쌍의 선분의 위치 변화, 회전이동, 및 크기 변화에 무관한 값을 가짐을 알 수 있다. (증명 끝)

[정리 2] Sufficient Condition for Invariance of Similarity Transform

같은 상호관계 벡터를 갖는 두 쌍의 선분이 존재할 때, 한 쌍의 선분은 다른 한 쌍의 선분의 위치 변화, 회전이동, 및 크기 변화된 꼴로 표현된다.

(증명)

같은 상호관계 벡터를 갖는 두 쌍의 선분에 대한 일반적인 모양을 그림 2에 나타내었다. 그림 2(a)에서 그림 2(b)와 같은 삼각형 꼴을 추출할 수 있으며 [정리 2]의 가정으로부터 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\theta_{ij} = \theta_{ij}' \quad (22)$$

$$\phi_{ij} = \phi_{ij}' \quad (23)$$

$$\frac{l_j}{l_i} = \frac{l_j'}{l_i'}, \quad \frac{d_{ij}}{l_i} = \frac{d_{ij}'}{l_i'} \quad (24)$$

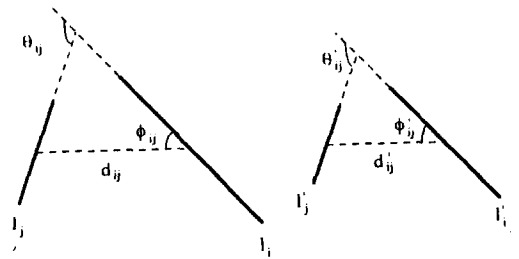
그러므로

$$\angle B = \angle B' \quad (25)$$

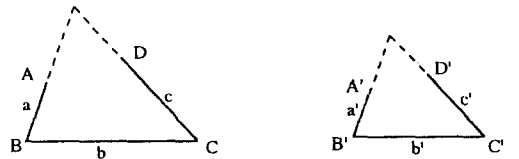
$$\angle C = \angle C' \quad (26)$$

$$\frac{a'}{b} = \frac{b'}{b} = \frac{c'}{c} \quad (27)$$

식을 얻을 수 있으며 같은 상호관계 벡터를 갖는 두 쌍의 선분은 서로 닮음 관계에 있음을 알 수 있다. 그러므로 한 쌍의 선분은 다른 한 쌍의 선분의 위치 변화, 회전이동, 및 크기 변화된 꼴로 표현된다. (증명 끝)



(a) 두개의 선분쌍



(b) 두개의 삼각형 형태

그림 2. 두개의 선분쌍

Fig. 2. Two pairs of line segments.

두 개의 선분간의 기하학적인 관계가 특별한 경우가 존재하며 이때의 모양을 그림 3에 나타내었다. 이러한 경우에 대해서도 유사 변환의 무관성에 대한 충분 조건을 쉽게 증명할 수 있다. 그림 3(d)의 경우는 중심 선분의 끝점이 전방 선분의 시작점과 일치하는 경우이며 이때는 상호관계 벡터의 4개의 성분중 두개의 성분 θ_{ij} , l_{ij} 만이 독립된 항이 된다.

m 개의 선분으로 이루어진 다각형의 경우 $m \times (m-1)$ 개의 상호관계 벡터가 존재하지만 많은 수의 상

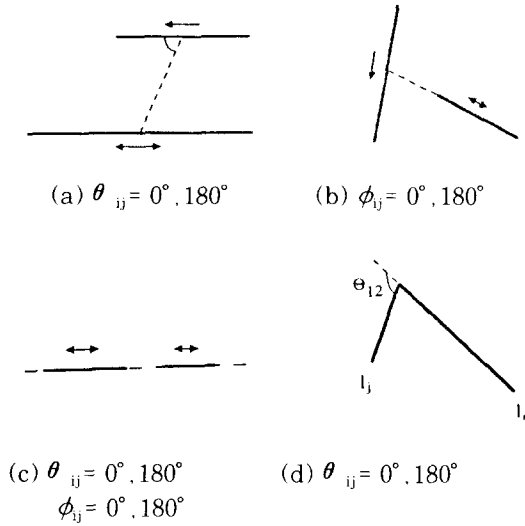


그림 3. 특별한 관계를 갖는 한쌍의 선분
Fig. 3. Special geometrical relations.

호관계 벡터가 서로 종속적인 관계에 있다. 그러므로 $m \times (m-1)$ 개의 상호관계벡터중에서 소수의 독립적인 것만을 이용함으로써 적은 수의 상호관계 벡터만으로 다각형을 기술할 수 있으며 이로 인하여 기억 용량을 줄일 수 있으며 처리 시간을 감소시킬 수 있다. 이를 위하여 다음의 정리들을 유도하였다.

[정리 3] 체인 관계(Chain Relation)

서로 교차하지 않는 세개의 선분 S_i, S_j 그리고 S_k 가 존재할 때 상호관계 벡터 IV_{ik} 는 두개의 상호관계 벡터 IV_{ij} 와 IV_{jk} 의 조합으로 유일하게 결정된다.

증명)

상호관계 벡터의 정의로부터 IV_{ij} 의 두개의 성분 θ_{ik} 와 l_{ik} 는 다음과 같이 표현된다.

$$\theta_{ik} = \theta_{ij} + \theta_{jk} \tag{28}$$

$$l_{ik} = l_{ij} l_{jk} \tag{29}$$

그림 4에 나타난 바와 같이 코사인 법칙을 이용함으로써 ld_{ik} 를 쉽게 계산할 수 있으며 사인 법칙을 이용함으로써 ϕ_{ik} 값을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$ld_{ik} = \sqrt{ld_{ij}^2 + (ld_{jk}l_{ij})^2 - 2ld_{ij}ld_{jk}l_{ij} \cos \alpha} \tag{30}$$

$$\phi_{ik} = \phi_{ij} + \sin^{-1} \left(\frac{ld_{jk}l_{ij}}{ld_{ik}} \sin \alpha \right) \tag{31}$$

여기서, $\alpha = \pi - (\theta_{ij} - \phi_{ij}) - \phi_{jk}$ 이다. 식 (31)에서 $ld_{ik} = 0$ 일 경우 그 값이 정의되지 않으나 가정에서 서로 교차하지 않는 세개의 선분으로 제한하였으므로 $ld_{ik} = 0$ 인 경우는 발생하지 않는다. 식 (30)과 식 (31)에서 $\alpha = 0$ 인 경우가 발생할 수 있으며 그림 5에 나타내었다. 그와 같은 경우에도 식 (30)과 식 (31)이 성립됨을 알 수 있다. 그러므로 서로 교차하지 않는 세개의 선분 S_i, S_j 그리고 S_k 가 존재할 때 상호관계 벡터 IV_{ik} 는 두개의 상호관계 벡터 IV_{ij} 와 IV_{jk} 의 조합으로 유일하게 결정된다. (증명 끝)

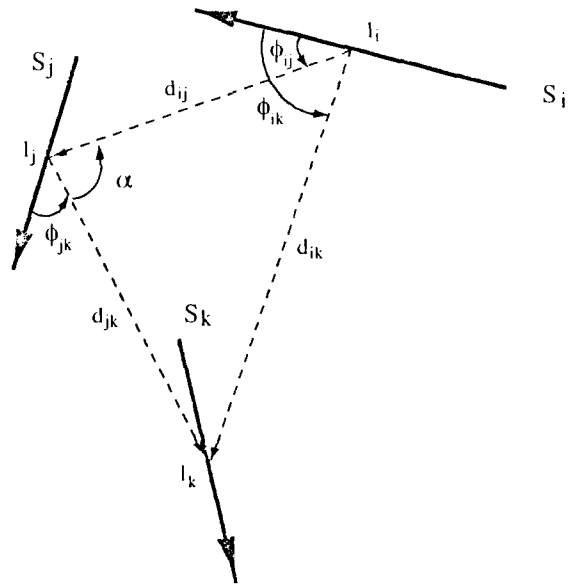


그림 4. 서로 교차하지 않는 세개의 선분들
Fig. 4. Three non-intersecting line segments.

[정리 3]의 체인 관계를 확장하여 m 개의 선분에 대해서 적용하면 다음의 성질을 만족한다.

[정리 4] 독립적인 상호관계 벡터(Independent Interrelation Vector)

서로 교차하지 않는 $m(m \geq 2)$ 개의 선분이 존재할 경우 $m-1$ 개의 독립적인 상호관계 벡터가 존재한다.

증명)

세개의 서로 교차하지 않는 선분이 존재할 경우 [정리 3]에서 증명한 바와 같이 2개의 독립적인 상호관계 벡터가 존재한다. k 개의 서로 교차하지 않는 선분이 존재할 경우 $k-1$ 개의 서로 독립적인 상호관계 벡터가 존재한다고 가정하자 이때 k 개의 선분과 서로 교차하지 않는 $k+1$ 번째 선분을 고려해보자. 이 선분과 k 번째 선분으로부터 독립적인 상호관계 벡터를 추출할 수 있으며 나머지 다른 선분들간의 관계는 체인

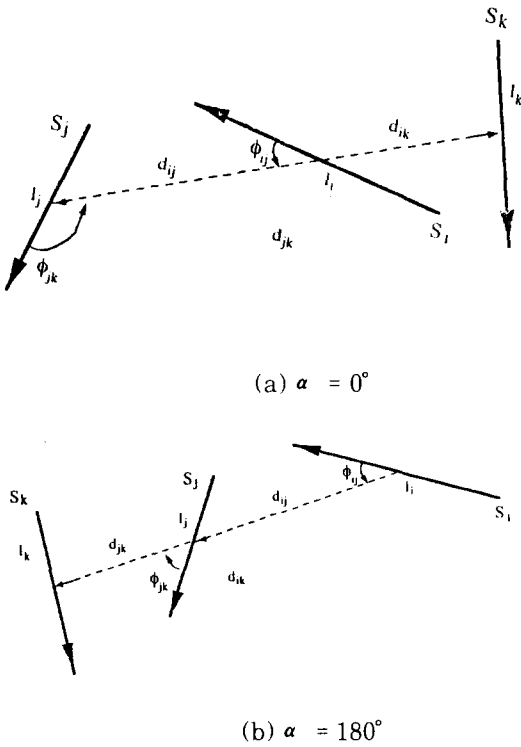


그림 5. 특별한 관계를 갖는 세개의 선분들
 Fig. 5. The special geometrical relations among three line segments.

관계를 이용함으로써 기술할 수 있다. 그러므로 $k+1$ 개의 선분에서는 k 개의 독립적인 상호관계 벡터가 존재한다. 그러므로, 서로 교차하지 않는 m 개의 선분이 존재할 경우 $m-1$ 개의 독립적인 상호관계 벡터가 존재한다. (증명 끝)

[정리 4]의 특별한 경우로써 m 개의 선분으로 이루어진 간단한 모양의 다각형(simple m -vertex polygon)에 적용하면 다음과 같은 따름정리가 만족됨을 보일 수 있다.

[따름정리 1]

m 개의 꼭지점을 가진 단순한 모양의 다각형에서는 $m-1$ 개의 독립적인 상호관계 벡터가 존재한다.

m 개의 꼭지점을 가진 다각형의 경우 기준이 되는 1개의 선분과 $m-1$ 개의 독립적인 상호관계 벡터로 표현할 수 있다. 그리고 두개의 다각형이 서로 닮음꼴일 경우 같은 값을 갖는 $m-1$ 개의 독립적인 상호관계 벡터를 추출할 수 있다. 즉 두개의 도형이 서로 닮음꼴일 경우 두개의 도형에서 대응하는 한변을 각각 시작점이되는 선분으로 하여 같은 규칙에 의해서 $m-1$

개의 독립된 상호관계벡터를 추출하면 $m-1$ 개의 상호관계 벡터는 각각 같은 값을 가지게 된다. 이때 기준이 되는 선분의 위치, 각도, 및 길이가 전체 도형의 위치, 회전각, 및 크기를 결정하게 된다.

Ⅲ. 물체인식 방법

제 2절에서 설명한 바와 같이 상호관계 벡터 IV_{ij} 는 두개의 선분 사이의 기하학적인 관계를 나타내는 값으로 두 선분의 위치변화나 회전이동, 크기변화에 무관한 값을 가짐을 보였다. 따라서 본 절에서는 상호관계 벡터의 성질을 이용하여 가려진 물체의 인식에도 적용 가능한 물체인식 방법을 제안한다. 많은 연구에서 물체의 외형을 다각형으로 근사화 한후 다각형에 대한 물체인식 방법을 개발하고 있으며^[3,7,8] 처리 시간을 감소시키고 알고리즘을 간략하게 구성할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서도 물체의 외형을 다각형으로 근사화한 후 다각형의 변을 이루는 각 선분 사이의 상호관계 벡터 IV_{ij} 를 물체 인식에 필요한 특징치로 사용한다. 물체의 외형을 다각형으로 근사화하는 방법으로 많은 연구가 이루어져왔으며 본 연구에서는 [7]에서 제안된 방법을 이용하였다. 상호관계 벡터의 추출 방법과 이를 이용한 물체인식방법은 다음과 같다.

1. 특징치 추출 방법

물체의 인식을 위해서는 먼저 인식하고자 하는 모델에 대한 정보를 가지고 있어야 하며 이 정보를 이용하여 인식대상이 되는 물체의 특징치를 모델 영상의 특징치와 비교함으로써 찾을 수 있다. 특징치로 사용되는 상호관계 벡터 IV_{ij} 의 추출 방법은 다음과 같다.

- 단계 1) 물체의 경계점들로부터 [7]의 다각형 근사화 방법을 이용하여 꼭지점을 추출한다.
- 단계 2) 꼭지점의 갯수를 m 개라고 할때 임의의 꼭지점을 시작점으로 하여 m 개의 선분 S_i , $i = 1, \dots, m$ 을 추출한다.
- 단계 3) m 개의 선분을 이용하여 m 개의 상호관계 벡터 IV_{ij} 를 추출한다. 이때 첫 번째 선분 $S_{i=1}$ 을 중심선분으로 하고 다음번째 선분을 전방 선분 S_{i+1} 으로하여 상호관계 벡터 V_{ij} 를 구하며 인덱스 i 를 증가시키면서 상호관계 벡터를 추출한다. 이때 $m-1$ 개만을 추출하면 서로 독립적인 상호관계 벡터를 추출할 수 있으나 시작점을 일치시킬 수가 없으므로 다음 단계에서의 계산량을 줄이기 위하여 m 개의 상호관계 벡터를 추출한다.

위의 3단계의 방법으로 모델에 대한 특징치들을 추출할 수 있으며 실제 인식해야 할 물체에 대한 특징치들도 같은 방법으로 구할 수 있다.

2. 물체인식 방법

물체의 인식을 위하여 두개의 상호관계 벡터 리스트를 이용한다. 즉 물체의 인식은 모델에 저장된 1개의 상호관계 벡터 리스트와 인식대상 물체에서 추출된 상호관계 벡터 리스트를 서로 비교함으로써 이루어진다. 이때 단계 2)에서 계산된 각각의 물체에서 추출된 두개의 선분 집합들도 처리 시간을 줄이기 위하여 보조적으로 사용된다.

모델에서 추출된 상호관계 벡터 IV_{ij}^m 와 인식대상 물체에서 추출된 상호관계 벡터 IV_{ki} 간의 거리는

$$d_{ijk} = \sqrt{(IV_{ij}^m - IV_{ki}^s)^2} \tag{32}$$

로 계산될 수 있으며 샘플링의 영향과 잡음의 영향을 고려하여 두 상호관계 벡터간에 계산된 d_{ijk} 이 실험적으로 계산된 문턱치(threshold level) 값 이하인 경우에 그 값이 같은 값을 가지는 것으로 생각한다.

설명 편의를 위해서 모델과 인식대상 물체에서 추출된 상호관계 벡터 리스트에서 같은 값을 갖는 쌍을 일치쌍(compatible pair)이라고 정의하고 두 물체가 일치하는 경우 대응하는 선분에서 얻은 상호관계 벡터쌍을 정합쌍(matched pair)이라고 정의한다. 이때 정합쌍은 항상 일치쌍이 된다. 그림 6에서와 같이 물체-A의 2-3번 선분과 물체-B의 10-11번 선분에서 계산된 상호관계 벡터는 서로 같은 값을 가지게 되며 일치쌍이 된다. 그리고 물체-A의 2-3번 선분과 물체-B의 2-3번 선분에서 계산된 상호관계 벡터는 서로 같은 값을 가지며 이 경우에는 일치쌍이면서 동시에 정합쌍이 된다.

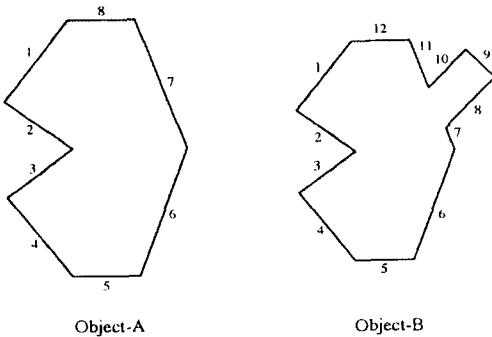


그림 6. 두개의 물체
Fig. 6. Two objects.

상호관계 벡터를 이용한 물체인식 방법은 다음과 같다.

단계 1) 두개의 상호관계 벡터 리스트로부터 여러개의 일치쌍을 추출한다. 추출된 일치쌍으로부터 정합쌍을 추출한다.

일치쌍을 구하기 위해서는 두개의 리스트에서 서로 비슷한 상호관계 벡터를 갖는 쌍을 추출하면 되며 정합쌍을 찾기 위해서는 일치쌍에 해당하는 선분쌍이 이용된다. 즉 두개의 일치쌍이 찾아지면 각 일치쌍의 중심선분쌍을 찾을 수 있으며 모델 물체를 이루는 두개의 중심 선분간에 계산된 상호관계 벡터와 인식 대상물체를 이루는 두개의 중심선분간에 계산된 상호관계 벡터가 서로 같으면 두개의 일치쌍은 정합쌍이 될 가능성이 높다. 그리고 세개 이상의 일치쌍에 대해서 위의 방법을 적용하여 얻은 일치쌍간의 상호관계 벡터가 같은 값을 가질 때 각 일치쌍은 정합쌍이 된다고 할 수 있다.

단계 2) 단계 1)에서 찾아낸 정합쌍을 시작으로 하여 모든 정합쌍들을 찾아낸다

선분이 연결된 순서에 따라서 상호관계 벡터를 추출하므로 정합쌍 다음의 상호관계 벡터가 일치쌍이면 그 일치쌍은 정합쌍이 된다. 만약 정합쌍 다음의 상호관계 벡터쌍이 일치쌍이 되지 않으면 다른 정합쌍을 찾아야 하며 이때 정합쌍이 되기 위해서는 먼저 일치쌍이 되어야 하며 이전에 찾은 정합쌍간에서 계산된 상호관계 벡터가 서로 같은 값을 가지면 된다.

위와 같은 방법으로 두개의 상호관계 벡터 리스트로부터 정합쌍들만으로 이루어진 리스트를 추출할 수 있으며 대응하는 선분쌍들은 두 물체간에 일치하는 부분을 가리킨다. 두 물체간의 기하학적인 관계는 대응하는 선분간의 위치 변화, 회전이동, 및 크기 변화를 구한 후 평균을 취하면 얻을 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 VRTX Velocity를 사용하였으며 C 언어를 이용하여 소프트웨어를 구현하였다. 영상 획득을 위하여 흑백 CCD카메라(Javelin JE-

2002)가 이용되었으며 영상 신호는 512×512의 공간 해상도를 가지며 256 단계의 밝기 해상도를 가진다.

종이를 잘라서 만든 여러가지 형태의 모형들을 실제 실험에 사용하였다. 각각의 모형에 대해서 추출된 상호관계 벡터 리스트를 사전에 모델 데이터로 저장하여 추후 사용할 수 있게 하였으며 [5,7] 에서 사용한 방법을 이용하여 부분적인 모양을 발생시켰다. 즉 20 - 40 % 정도의 외형을 없애 버린 후에 없어진 부분을 여러가지 방향의 선분으로 연결하였다.

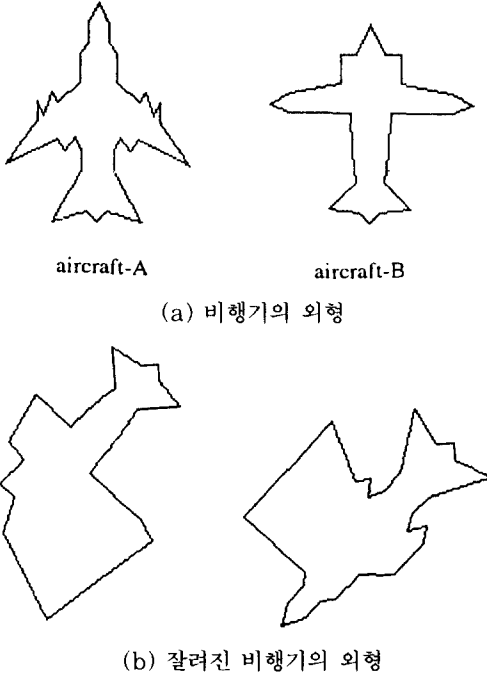


그림 7. 비행기의 외형
Fig. 7. The boundary curves of aircrafts.

그림 7(a)는 꼭지점을 연결함으로써 얻어진 모델들의 외형을 나타내었다. 그리고 그림 7(b)에 부분적으로 잘려지고 덧붙혀진 외형을 나타내었다. 비행기-A의 모델과 인식 대상 물체에서 얻어진 상호관계 벡터 리스트를 표 1과 2에 나타내었다. 두개의 상호관계 벡터 리스트를 비교해 보면 두 물체가 일치하는 부분에서 계산된 상호관계 벡터는 서로 비슷한 값을 가짐을 알 수 있다. 즉 그림 7의 모델에서 0 - 1번째 인덱스와 인식 대상물체의 18 - 19번째 인덱스가 서로 정합된다. 또 모델의 17 - 23번째 인덱스와 인식 대상물체의 11 - 17번째 인덱스가 서로 정합된다. 그러나 모델의 4번째 인덱스와 인식 대상물체의 5번째 인덱스가 서로 비슷한 값을 가지나 정합쌍이 아니다. 두개의 리스트에

표 1. 비행기-A의 특징치 리스트

Table 1. The feature list of moded aircraft-A.

model segment	θ_{ij}	ϕ_{ij}	l_{ij}	ld_{ij}
0*	0.653	0.449	2.010	1.498
1*	-2.224	-1.306	1.215	0.500
2*	0.918	0.411	0.823	0.818
3	-0.083	-0.047	1.323	1.161
4	1.521	0.948	1.498	0.921
5	-0.381	-0.100	0.359	0.670
6	-2.221	-1.190	1.083	0.464
7	-0.343	-0.236	2.186	1.573
8	1.373	0.477	0.588	0.628
9*	-1.571	-0.490	0.533	0.567
10*	1.134	0.785	2.069	1.326
11	-2.268	-1.134	1.000	0.423
12	1.134	0.349	0.483	0.641
13	-1.571	-1.081	1.875	1.062
14	1.373	0.896	1.700	1.067
15	-0.343	-0.107	0.457	0.720
16	-2.221	-1.030	0.924	0.429
17*	-0.381	-0.281	2.785	1.866
18*	1.521	0.573	0.667	0.615
19*	-0.083	-0.036	0.756	0.877
20*	0.918	0.507	1.215	0.994
21*	-2.224	-0.918	0.823	0.412
22*	0.653	0.204	0.467	0.700
23*	-1.571	-0.785	1.000	0.707

표 2. 잘려진 비행기-A의 특징치 리스트

Table 2. The feature list of chopped aircraft-A.

scene segment	θ_{ij}	ϕ_{ij}	l_{ij}	ld_{ij}
0*	0.938	0.427	0.846	0.824
1	-0.094	-0.037	0.647	0.823
2	1.541	1.094	2.056	1.157
3	-1.797	-0.994	1.165	0.677
4	-1.199	-0.329	0.423	0.610
5	1.436	0.877	1.449	0.934
6*	-1.611	-0.519	0.560	0.563
7*	1.138	0.785	2.045	1.313
8	-0.755	-0.547	2.523	1.661
9	-1.756	-1.052	1.341	0.759
10	-1.378	-0.178	0.190	0.527
11*	-0.371	-0.273	2.775	1.862
12*	1.492	0.564	0.668	0.623
13*	-0.061	-0.026	0.739	0.869
14*	0.905	0.504	1.236	1.007
15*	-2.191	-0.862	0.782	0.419
16*	0.620	0.210	0.523	0.729
17*	-1.571	-0.785	1.000	0.707
18*	0.666	0.446	1.978	1.416
19*	-2.237	-1.332	1.236	0.500

서 정합되는 부분을 별표로 표시하였다.

제한된 물체인식 방법을 이용해서 얻은 정합쌍들을 표 3에 나타내었다. 그리고 비행기-B에 대해 적용한 결과를 표 4에 보였다. 결과의 비교를 위하여 [7] 에

서 제안된 Liu의 방법을 실현하였으며 그 결과를 표 3(b)와 표 4(b)에 나타내었다. 표에서 나타난 바와 같이 Liu의 방법은 전체 정합쌍중에서 일부분만을 출력으로 나타내는 반면 제안된 방법은 전체 정합쌍을 출력으로 나타냄을 볼 수 있다. 표 5와 표 6에 처리 시간의 비교 데이터를 보였으며 비교적 빠른시간내에 처리함을 볼 수 있다. 제안된 방법의 계산량을 비교하는 데이터를 표 7에 나타내었으며 [5] 와 [7] 에서 제안한 방법의 계산량을 같이 나타내었다. 표 7에서 p 는 물체의 경계를 구성하는 화소의 수를 나타낸다. k 는 물체인식을 위하여 사용하는 Fourier Descriptor계수의 개수를 나타내며 대개 6-8 정도의 값이 사용된다. m 과 n 은 각각 모델과 인식대상 물체를 이루는 선분의 수를 나타낸다. α 와 β 는 다음 조건을 만족시키는 값이며 인식대상물체의 가려진 정도에 따라서 변화할 수 있다.

$$\alpha + \beta = 1, \alpha \geq 0, \beta \geq 0. \tag{33}$$

제안된 알고리즘이 다른 알고리즘에 비해서 계산량이 적으므로 빠른 처리속도를 가짐을 볼 수 있다. 그리고 그림 8에 여러가지 종류의 물체에 대해서 인식한 결과를 나타내었다. 제안된 방법을 이용하여 여러 가지 다른 종류의 물체에도 적용 가능하리라고 생각 된다.

표 3. 비행기-A의 정합쌍 리스트
Table 3. Segment matchin record(aircraft-A).

model segment	scene segment	distance
0	18	0.089
1	19	0.036
2	0	0.034
9	6	0.053
10	7	0.027
17	11	0.017
18	12	0.031
19	13	0.030
20	14	0.028
21	15	0.077
22	16	0.071
23	17	0.000

(a) Proposed method

model segment	scene segment	distance
0	18	0.034
1	19	0.025
2	0	0.030
17	11	0.014
18	12	0.028
19	13	0.027
20	14	0.025
21	15	0.052
22	16	0.065
23	17	0.000

(b) Liu's method

표 4. 비행기-B의 정합쌍 리스트
Table 4. Segment matchin record(aircraft-B).

model segment	scene segment	distance
0	0	0.081
2	2	0.085
3	3	0.083
14	9	0.139
15	10	0.102
16	11	0.074
17	12	0.082
18	13	0.176
19	14	0.048
30	20	0.068
31	21	0.028
32	22	0.046
33	23	0.040
34	24	0.032
35	25	0.016

(a) Proposed method

model segment	scene segment	distance
0	0	0.078
30	20	0.056
31	21	0.016
32	22	0.039
33	23	0.018
34	24	0.025
35	25	0.012

(b) Liu's method

표 5. 비행기-A의 처리시간 비교
Table 5. The comparison of processing time (aircraft-A).

method function	Processing Time		
	Gorman's Method	Liu's Method	Proposed Method
feature extraction	174(sec)	320(msec)	630(msec)
matching	5984(msec)	990(msec)	540(msec)

표 6. 비행기-B의 처리시간 비교

Table 6. The comparison of processing time (aircraft-B).

method function	Processing Time	
	Liu's Method	Proposed Method
feature extraction	470(msec)	940(msec)
matching	1960(msec)	730(msec)

표 7. 계산량 비교

Table 7. The comparison of complexity.

	Gorman's Method	Liu's Method	Proposed Method
feature extraction	$O(pk)$	$O(m), O(n)$	$O(m), O(n)$
matching	$O(mn+2mn)$	$O(mn)$	$O(mn) + \beta n$

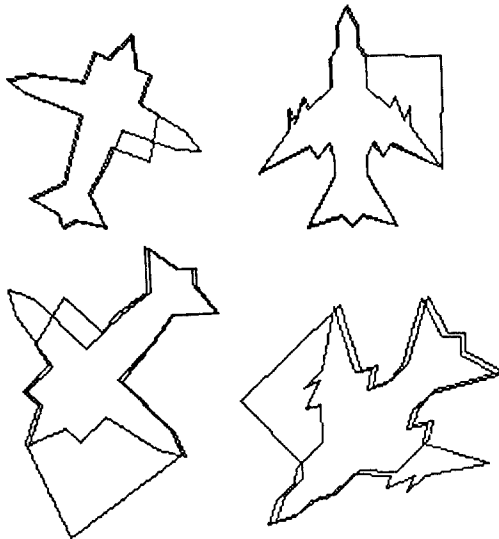


그림 8. 모델을 중첩시킨 인식결과

Fig. 8. Superimposed recognition results.

V. 결론

본 연구에서는 이차원 평면 내에 존재하는 가려진 물체의 인식을 위하여 상호관계 벡터의 개념을 도입하였다. 상호관계 벡터는 두개의 선분간의 기하학적인 관계를 나타내는 값이며 상호관계 벡터의 정의로부터 두 선분의 위치 변화나 회전이동, 및 크기 변화에 무관한 성질을 유도하였다. 그리고 이 성질을 확장함으로써 선분으로 이루어진다. 각형에 대해서 다각형의 위치 이동, 회전 이동, 및 크기 변화에 무관한 상호관계 벡터 리스트를 추출할 수 있음을 보였다.

본 연구에서 제안된 상호관계 벡터를 이용하여 가려진 물체의 인식에 적용하였으며 잘 알려진 다른 방

법들과 비교하여 빠르고 효율적으로 적용할 수 있음을 보였다.

參考文獻

- [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] L. 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.
- [4] 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.
- [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. J. Wolfson, "On curve matching," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 12, no. 5, pp. 483-489, May 1990.
- [7] 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.
- [8] M.W. Koch and R. L. Kashyap, "Using polygons to recognize and locate partiallyoccluded objects," *IEEE Trans.*

Pattern Anal. Machine Intell., vol. 9,

no. 4, pp. 483-494, July 1987.

著者紹介

韓 東 一(正會員) 第 27卷 第 6號 參照

현재 한국과학기술원 전기 및 전자
공학과 박사과정

下 増 男(正會員) 第 30卷 B編 第 10號 參照

현재 한국과학기술원 전기 및 전자
공학과 교수