

論文98-35S-1-14

# 등가 열회로를 이용한 물체의 적외선 특성 모델링

## (IR Signature Modeling Using an Equivalent Thermal Circuit)

洪顯基\*, 韓成鉉\*, 洪競杓\*, 崔宗秀\*

(Hyun-Ki Hong, Sung-Hyun Han, Gyoung-Pyo Hong, and Jong-Soo Choi)

### 요 약

다중 센서에 의한 입력 영상의 효과적인 해석을 위해 본 논문에서는 내부 열원을 고려한 새로운 3차원 모델링 방법이 제안된다. 제안된 방법은 대상 물체 내부의 열 전달을 등가 회로로 표현함으로써 복잡한 계산 없이 물체의 열적 특성을 구할 수 있으며, 면모델을 이용하여 vs-octree 방법에 비해 물체의 실제 형태를 비교적 정확하게 표현할 수 있다. 얻어진 표면 온도와 실제 측정치의 비교를 통해 제안된 방법의 정확도를 분석하였다. 제안된 방법에 의해 모델링된 열영상은 적외선 미사일 등의 추적 결과 예측을 위한 시뮬레이션에 효과적으로 이용된다.

### Abstract

For generation and analysis of the multi-sensory image, we propose a new three dimensional (3D) modeling method considering an internal heat source. We represent the heat conduction process within the object as an equivalent thermal circuit. Therefore, without a complex computation, our modeling approach can obtain thermal features of the object. By using the faceted model, the proposed method can express the accurate visual signatures of the object. Comparing the estimates datum with the obtained surface temperatures, we have demonstrated that the proposed method can provide a precise thermal features. The thermal images by our model is applicable to simulate a tracking loop of an IR missile.

### I. 서 론

실세계에 존재하는 물체에 대한 다양한 정보를 얻기 위해 여러 센서를 이용하는 센서 융합(sensor fusion) 기술이 현재 활발히 연구되고 있다. 이러한 기술은 사람의 시각으로 인지할 수 있는 가시 광선, 대상 물체에서 복사되는(radiant) 열 에너지를 분석할 수 있는 적외선, 그리고 마이크로 웨이브 등과 같이 다양한 센서를 통해 얻어지는 정보를 이용한다. 이렇게 얻어진 자료를 효과적으로 종합함으로써 대상 물체에 대한 보다 정확한 해석이 가능하다<sup>[1]</sup>. 대상 표적의 열원으로

부터 방사되는 에너지를 이용하는 적외선(infra-red) 추적(tracking) 기술은 호밍(homing) 유도탄에 널리 응용되고 있지만, 다양한 상황에 효과적으로 대처하기 어렵다. 또한 미사일 추적을 회피하기 위한 표적 자체의 대응능력(countermeasure) 발달로 인해 미사일의 다중 탐색 기법을 포함한 효과적인 반대응능력(counter-countermeasure) 기술이 절실히 요구되고 있다. 이와 같은 상황 하에서 다중 센서의 입력이 되는 대상 물체의 다양한 모델링 연구가 군사 분야를 포함한 산업 전반에서 필요하게 되었다.

본 논문에서는 복합 센서 입력을 위한 대상 물체의 3차원 모델링 방법이 제안된다. 물체의 인식 및 표현을 위한 대부분의 3차원 시뮬레이션 모델이 가시(visible) 대역에 한정되지만, 제안된 방법은 가시 영

\* 正會員, 中央大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Eng., Chung-ang Univ.)

接受日: 1997年1月14日, 수정완료일: 1997年11월14일

상과 물체의 복사 에너지 분포를 반영하는 적외선 영상을 동시에 모델링한다. 제안된 모델을 통해 대상 물체의 적외선 특징이나 상태 등을 예측할 수 있으며, 보다 효과적인 장면(scene)을 해석하기 위해 모델링된 대상 물체에 대한 가시 영상의 특징과 적외선 특징을 복합적으로 이용할 수 있다. 또한 제안된 방법은 미사일 등에 필요한 표적 추적 기술을 개발하기 위한 시뮬레이션의 입력으로 이용될 수 있다<sup>[2]</sup>.

대부분의 기존 열영상(thermal image) 시뮬레이션 모델은 대상 물체의 내부가 균일(homogeneous)하다는 조건 하에서 구성되었다<sup>[3] [4]</sup>. 즉, 대상 물체의 내부 열원(thermal source)을 고려하지 않고 표면의 온도와 상태만으로 복사량(irradiance)을 계산하였다. 따라서 대상 물체의 내부 구조나 특성 등을 고려할 수 없기 때문에 정확한 모델링이 될 수 없으며, 이런 문제점을 해결하기 위해 vs-octree를 이용하는 방법이 제안되었다<sup>[5]</sup>. 이 방법은 대상 물체를 vs-octree로 구성하고 물체에 대한 계층적인 모델을 통해 내부 열원으로부터의 전달되는 열 에너지를 계산하였다. Vs-octree 방법은 물체를 계층적으로 구성할 수 있기 때문에 자료 저장의 효율을 높일 수 있는 장점이 있다. 그러나 대상 물체 내부의 각 구성 요소들의 온도를 계산하여 표면으로 전달되는 최종 온도를 구하기 때문에, 물체의 구성 요소가 많아지게 되고, 물체의 복잡도에 따라 계산량이 상당히 증가하는 단점을 가진다. 또한 한 노드(node)에서 다른 노드로 전달되는 열 전달(heat transfer)의 방향에 따라 전달 결과가 달라질 수 있으며, 실세계에 존재하는 물체의 형태를 정확하게 표현하기 힘든 문제점이 있다.

본 논문에서는 대상 물체를 3차원 모델링에 널리 이용되고 있는 폴리곤(polygon) 방법으로 표현하였다. 이 방법은 대상 물체의 표면을 하나의 법선(normal) 벡터로 표현할 수 있는 기본적인 면(facet)으로 분리하여 대상 물체의 전체 형태를 3차원 모델링하는 방법이다. 제안된 방법은 물체의 구성 물질을 고려하여 열역학(thermal dynamics)의 열 전달에 따라 내부 열원에서 물체 표면으로 직접 전달되는 열 에너지를 해석한다. 대상 물체 내부에서의 이러한 열 전달 과정은 등가 열회로를 통해 표현될 수 있으며<sup>[6]</sup>, 내부 열원과 물체 표면간의 관계를 열저항으로 구성하였다. 따라서 기존의 3차원 모델링 연구와는 달리 내부 열원에 대한 고려가 이루어지며, vs-octree를 이용하는 방법

에 비해 적은 계산으로 물체 내부의 열적 특성을 구할 수 있고, 또한 대상 물체를 실제 형태에 보다 가깝게 구성할 수 있는 장점이 있다<sup>[7]</sup>.

서론에 이어 II 장에서 제안된 방법에 대해 기술하고, III 장에서는 제안된 모델링 방법을 통해 얻어진 결과를 분석하며, IV 장에서 결론을 맺는다.

## II. 등가 열회로의 구성

### 1. 대상 물체의 복사 에너지 계산

실세계에서 존재하는 모든 물체는 절대온도 0 K 이상에서 복사에너지를 방출한다. 이 에너지는 0 K 이상의 온도를 가진 물체 내부의 원자 및 분자의 진동과 회전에 의해 생성되며 물체로부터 바깥쪽으로 직진하고 진공 또는 공기, 가스, 액체 및 고체 등의 물리적 전달체를 통하여 전파된다. 대상 물체의 적외선 특성, 즉 물체의 표면 온도에 따른 복사량을 계산하기 위해 식 (1)과 같은 플랑크(Planck)의 복사(radiation) 식을 이용한다.

$$M_\lambda = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5 (e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1)} \quad (W/\lambda cm^2) \quad (1)$$

여기서,  $c$ 는 빛의 속도,  $h$ 는 플랑크 상수,  $k$ 는 볼츠만 상수,  $\lambda$ 는 파장(wavelength),  $T$ 는 절대 온도(K)이다.

표면 온도를 결정하고  $M_\lambda$ 를 고려 대역에 따라 적분하면, 식 (2)와 같이 진공 상태에서 물체의 표면에서 나오는 흑체(blackbody)의 복사량을 계산할 수 있다.

$$M = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5 (e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1)} d\lambda (w/cm^2) \quad (2)$$

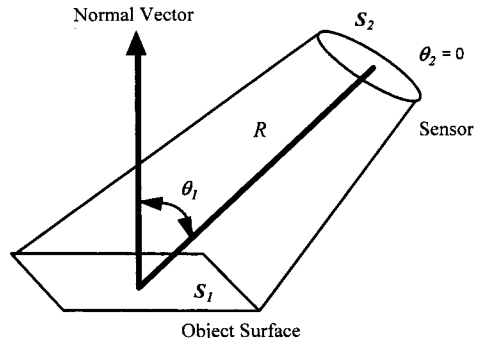


그림 1. 대상 물체와 센서간의 기하학적 관계.  
Fig. 1. Geometry of the optical sensor and the radiating surface.

물체와 센서간의 관계가 그림 1과 같을 때, 식 (3)를 이용하여 얻어지는 복사량을 계산할 수 있다. 식 (3)에서 물체의 표면 온도에 따라 복사되어 나오는 복사량은 물체에서 적외선 센서까지의 거리에 제곱에 반 비례한다는 것을 알 수 있다.

$$M_2 = \frac{L_1 \cos \theta_1 dS_1 d\Omega}{dS_2} \quad (3)$$

여기서,  $M_2$  는 센서에 얻어지는 복사량,  $L_1 (= M_1 / \Omega)$  은 물체에서 나오는 복사량,  $S_1$  은 물체의 면적,  $S_2$  는 센서에 투영된 면적,  $\Omega (= dS_2 / R_2^2)$  는 solid angle 이다<sup>[8]</sup>.

표면의 특성은 물체마다 달라지게 되는데, 물체의 재질에 따른 값을 정의함으로써 표면의 복사량과 반사량을 고려할 수 있다. 에너지 보존 법칙에 의해 표면의 특성을 식 (4)와 같이 정의하며, 실제계에 존재하는 물체들은 구성 물질에 따라 방사율, 반사율, 투과율 등이 각각 결정된다. 본 논문에서는 투과율을 0으로, 방사율은 0.85로 설정하였다.

$$\epsilon(\lambda) + \rho(\lambda) + \tau(\lambda) = 1 \quad (4)$$

여기서,  $\epsilon$  은 방사율(emissivity),  $\rho$  는 반사율(reflectivity),  $\tau$  는 투과율(transmitivity) 이다.

대상 물체에 대한 열적 특성을 정확하게 모델링하기 위해 태양으로부터 오는 태양의 복사 에너지, 구름 또는 하늘에서 반사되는 에너지, 지표면으로부터의 반사 에너지, 태양에 의한 물체의 반사 영향, 공기의 흐름에 의한 물체 주변의 온도 영향, 물체 표면 자체가 가지고 있는 복사율 등 여러 가지 요소가 고려되어야 한다. 또한 물체로부터의 복사 에너지는 대기로 전파되는 과정에서 대기 내에 있는 H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, NO 등과 같은 분자에 의해 감쇄(attenuation), 산란, 섭동 현상이 일어나게 된다. 이들의 분자구조나 원자 갯수 등에 따라 특정 스펙트럼 대역에 영향을 미치게 되는데, 특정 대역에 에너지가 들어오게 되면, 전자의 에너지 준위가 바뀌게 되어, 분자가 에너지를 흡수하게 된다. 이러한 대기 전파(atmospheric propagation)에 대해 많은 연구가 이루어지고 있으며, 개발된 대표적인 시뮬레이션 모델은 LOWTRAN과 HITRAN 등이 있다. 파장에 따른 흑체의 복사량을 구한 다음, CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O에 의한 투과율을 파장에 따라 곱하면 감쇄되어

나오는 복사량을 구할 수 있다. 본 연구에서는 주변 조건과 대기에 의한 영향은 고려되지 않았으며, 8  $\mu m$  12  $\mu m$  (far-wave IR) 대역의 대기 창(atmospheric window)에서 대상 물체를 모델링하였다.

2. 내부 열원 및 열 저항 정의

그림 2와 같이 대상 물체 내의 어떤 부분에서 다른 부분으로 열이 전달될 때, 온도가 상대적으로 높은 부분에서 낮은 부분으로 전달된다. 이러한 열속(heat flux)을 일차원적으로 식 (5), (6)과 같이 정의할 수 있다.

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} = \frac{kA}{L} (T_{s,1} - T_{s,2}) \quad (W) \quad (5)$$

$$q_x'' = \frac{q_x}{A} = \frac{k}{L} (T_{s,1} - T_{s,2}) \quad (W/m^2) \quad (6)$$

여기서,  $q_x$  는 열속, A는 통과 면적, k는 전도도(conductivity), L은 통과 길이이다<sup>[6]</sup>. 열적 비율(heat rate), 대상 물체의 상대적인 온도 차와 열적 비율의 관계를 이용하여 열전도와 관계된 열 저항(thermal resistance)을 식 (7)과 같이 정의할 수 있다.

$$R_{t,cond} = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{q_x} = \frac{L}{kA} \quad (7)$$

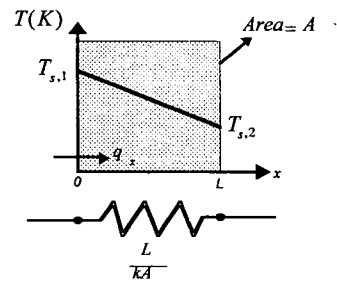


그림 2. 물체의 열저항  
Fig. 2. The heat transfer and the thermal resistance.

열속이 일정한 방향으로, 즉 상대적으로 온도가 높은 부분에서 낮은 부분으로 전달되는 3차원 대상 물체는 내부 열원과 면과의 거리, 구성 물질, 그리고 각 면의 면적을 고려하여 저항이 병렬로 연결되어 있는 회로라고 볼 수 있다. 하지만 각 면과 내부 열원이 서로 같은 면적을 가지고 열 전달을 하는 것이 아니기 때문에 이에 따른 보상이 고려되어야 한다. 위 식 (7)

에서 면과 열원 사이의 거리  $L$ 과, 전도도  $k$ , 표면 면적  $A$ 가 물체의 열적 저항을 결정한다. 대상 물체를 열원이 직접 영향을 미치지 못하는 부분으로 나누어 계산된 면의 저항을 직렬 및 병렬로 연결한다. 그림 3에서 전체 열속( $q$ )과 열 저항( $R$ )이 각 표면까지 도달하는 열속( $q_1, q_2, \dots, q_N$ )을 결정한다. 물체가 속도를 가지는 경우, 속도에 따른 표면 온도를 결정하는 식을 이용하여 플랑크 복사식에 의한 복사량을 계산한다. 그리고 구한  $q_1, q_2, \dots, q_N$  값에 선형적으로 더함으로써 대상 표면에서 외부로 복사되는 양을 구할 수 있다.

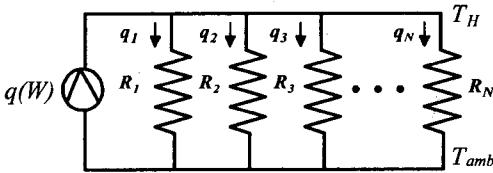


그림 3. 등가 열저항  
Fig. 3. An equivalent thermal circuit of the object.

위에서 구한 열원에서 각 표면  $N$ 으로 전달 되는  $q_N$ 값을 계산하여 표면 온도  $T_{C,N}$ 을 구할 수 있다. 그림 3에서  $R_N$ 은 식 (8)로 나타낼 수 있다.

$$R_N = R_{S,N} + \frac{1}{(h + h_{r,N}) A_{S,N}} \quad (8)$$

여기서,  $R_{S,N}$  은 열원에서부터 표면까지의 등가 저항,  $h$  는 대류 계수(convection coefficient),  $h_{r,N}$  는 방사(radiation) 계수,  $A_{S,N}$  는 각 표면의 면적이다. 식 (8)의 방사 계수는 Stefan-Boltzmann의 법칙에 의해 구할 수 있으며, 각 표면의 등가 저항을 그림 4에 나타내었다.

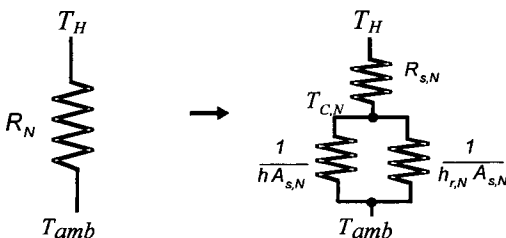


그림 4. 각 표면의 등가 저항  
Fig. 4. An equivalent thermal resistance of the surface.

물체가 속도를 가지고 있을 때, 특히 물체가 음속 이상으로 이동하는 경우, 공기와의 마찰 때문에 물체는 마찰 열을 발생시킨다. 물체가 음속 이상의 속력을 낼 때의 마찰열에 의한 표면 온도의 증가분을 식 (9)를 통해 구할 수 있다.

$$T_V = T_{amb} \left( 1 + \frac{(\gamma - 1)}{2} r M^2 \right) \quad (9)$$

여기서,  $T_V$  는 속도에 따른 물체 표면의 온도,  $T_{amb}$  는 주변의 공기 온도, 는 열 비율로 약 1.4,  $r$ 은 복구 요소(recovery factor)로 층류일 때 0.82, 난류일 때 0.87이며,  $M$ 은 물체의 비행 속도로 마하 수(Mach number) 이다.

식 (10)과 같이 위에서 구한  $T_{C,N}$ 과  $T_V$ 를 더하여 전체 표면 온도  $T_{S,N}$ 를 구하게 되며, 얻어진 표면 온도  $T_{S,N}$ 을 식 (11)을 이용하여 특정 파장에 대해 적분을 하면 각 표면의 단위 면적 당 복사량을 구할 수 있다.

$$T_{S,N} = T_{C,N} + T_V \quad (10)$$

$$Q_N = \epsilon \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{C_1 \tau_{CO_2}(\lambda) \tau_{H_2O}(\lambda)}{\lambda^5 (\exp(C_2/\lambda T_{S,N}) - 1)} d\lambda \quad (11)$$

여기서,  $Q_N$  는 각 면의 전체 복사량( $W/m^2$ ),  $C_1$  은  $3.742 \times 10^8 W \mu m/m^2$ ,  $C_2$  는  $1.439 \times 10^4 \mu m K$ ,  $\tau_{CO_2}(\lambda)$ 는  $CO_2$ 의 투과율,  $\tau_{H_2O}(\lambda)$ 는  $H_2O$ 의 투과율이다.

### 3. 물체의 구성

3차원 물체를 모델링하는 컴퓨터 그래픽 방법 가운데 폴리곤 방법을 이용하여 대상 물체를 구성하였으며, 구성된 면 모델을 그림 5에 나타내었다. 이 방법은 물체를 단순한 형태의 여러 부분으로 분해하고 이들을 결합시키는 모뎀화를 통해서 비교적 용이하게 대상 물체를 구성할 수 있다. 또한 물체 내부의 열 전달 과정을 표현하는 등가 회로의 구성에 적합한 방법이다. 열원은 어느 정도 부피를 가지고 있는 구 형태로 설정하였다.

먼저, 대상 물체의 표면 각 부분을 면으로 일정하게 나눈 다음, 각 면에서의 법선 벡터와 면적을 계산한다. 내부 열원에서 표면까지의 내부 열 저항을 구하기 위해 열원과 각 면의 중심까지의 거리를 계산한다. 이

때, 열 전달되는 면의 면적이 열원과 표면의 면적이 다르기 때문에 식 (12)와 같이 나타내어 단면적을 일정하게 놓고 내부 열저항을 구할 수가 있다.

$$R_N = \int_0^{L_N} \frac{1}{kA_N} dl = \int_0^{L_N} \frac{1}{kA(l)} dl$$

$$R_N = \frac{L_N}{kA_N} = \frac{1}{k} \int_0^{L_N} \frac{1}{A(l)} dl \tag{12}$$

$$A_N = \frac{L_N}{\int_0^{L_N} \frac{1}{A(l)} dl}$$

여기서,  $A_N$  는 구하고자 하는 면적이고,  $A(l)$ 은 거리  $l$  에 따라 열원 면적  $A_{1,N}$ 에서 표면 면적  $A_{2,N}$ 까지 일정하게 변하는 면적, 그리고  $L_N$ 은 열원과 각 표면 중심까지의 거리이다.

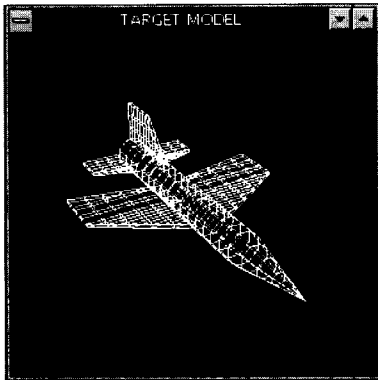


그림 5. 대상 물체의 면 모델  
Fig. 5. The faceted model of the object.

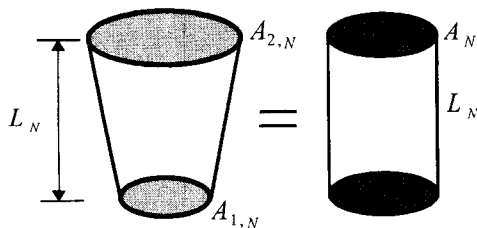


그림 6. 등가 열저항 계산  
Fig. 6. Computation of the equivalent resistance.

대상 물체의 날개와 머리 부분의 중심으로부터 몸체 부분의 폴리곤과 최단 거리로 연결되는 점을 찾는다. 날개와 머리 부분도 마찬가지로 각 부분의 중심점을 각 부분의 폴리곤과의 거리를 계산하고 내부 열저항을 계산한다. 각 부분의 저항을 직렬 및 병렬로 연결하여 전체 회로 상에서 각각의 열저항 상의 열속을 계산한다.

### III. 모델링 결과 및 분석

본 논문에서는 모델링의 대상 물체를 길이가 9 m, 너비가 6 m, 바퀴 부분을 고려하지 않은 높이가 2.2 m로 설정하였으며 물체의 전체 표면을 폴리곤으로 구성하였다. 속도가 마하 2.2, 대기 온도가 223 K 일 때, 물체의 외부 온도는 층류에서 약 400 K 정도의 온도를 가지게 된다.(난류에서는 약 410 K) 대상 물체의 전체 표면 온도는 같다고 가정하고 내부 열원을 고려한 열속 값을 각 면에 더하여 계산하였다. 모의 실험에서 대상 대역은 8 m ~ 12 m 이며, 태양에 의한 복사 영향과 분사구의 플럼(plume)은 고려하지 않았다. 고려된 내부 열원은 반경이 0.3 m의 부피를 가지며 제트 엔진 부분인 꼬리 부분에 위치하도록 하였다. 내부 열원을 고려하는 경우 열원의 영향으로 대상 물체의 표면 온도는 일정하지 않으며, 이러한 표면 온도의 최대값과 최소값에 따라 대상 물체의 면에 대한 밝기 값을 정규화하여 온도 분포를 표현하였다. 그림 7은 내부 열원을 고려하지 않은 열영상으로 표면의 밝기가 균일한 반면, 그림 8은 내부 열원을 고려한 열영상으로 밝기가 균일하지 않은 결과를 보인다. 이는 물체의 뒤 부분에 위치한 열원의 영향으로 물체의 뒤 부분으로 갈수록 표면 온도가 높기 때문이다.

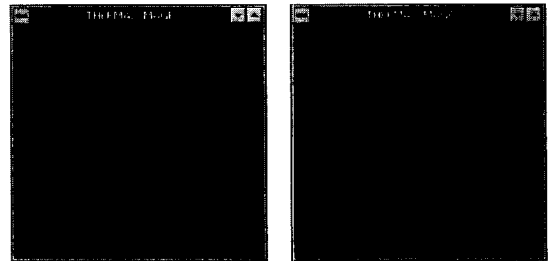


그림 7. 내부 열원을 고려하지 않은 열영상  
Fig. 7. The thermal images with no internal heat source.

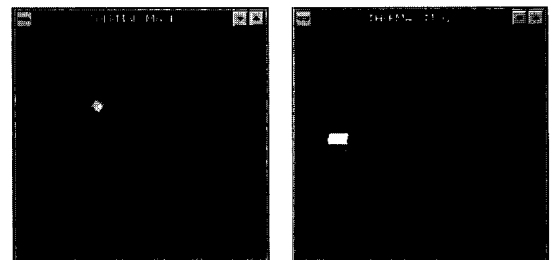


그림 8. 내부 열원을 고려한 열영상  
Fig. 8. The thermal images with the internal heat source.

본 논문에서는 다음과 같은 구체적인 비교를 통해 제안된 방법에 의해 얻어진 결과를 분석한다.

1. 실제 표면 온도와 얻어진 결과와의 비교

비행 중인 항공기의 표면 온도는 고도, 풍속, 비행 속도, 주위 여건, 대기 투과율(transmissivity) 등과 같은 다양한 요소에 의해 영향받는다. 본 논문에서는 시물레이션 방법의 정확도를 확인하기 위해 대류 열 전달 계수를  $100 \text{ W/m}^2\text{K}^{-1}$ , 평균 주위 온도를 280 K, 동체의 방사율(emissivity)은 0.9로 고정된 임의의 상황 하에서 제안된 방법에 의해 얻어진 표면 온도를 참고 자료<sup>[1]</sup>와 비교하였다. 표 1에서 비행 속도(Mach number)에 따른 head 부분의 표면 온도를 비교하였으며, 두 값의 차이로부터 구성된 대상 물체 내부에 존재하는 내부 열원 등의 영향을 확인할 수 있다.

표 1. 비행 속도에 따른 head 부분의 표면 온도

Table 1. Estimates of surface temperature versus Mach numbers in head parts.

Mach number	0.8	1.5	2.5
참고 자료[1]	309.3 K	379.9 K	537.8 K
제안된 방법의 결과	326.2 K	398.3 K	552.5 K

2. Vs-octree 방법과 제안된 방법의 성능 비교

대상 물체의 내부 구조나 특성 등을 고려하는 적외선 모델 연구 중에서 기존의 vs-octree 방법과 제안된 방법의 상대적인 비교를 다음과 같이 제시한다. 먼저, 비교적 간단한 대상체를 모델링하기 위해 vs-octree 방법은 40,000 50,000 노드(node)가 필요하며, SUN 4/260 시스템에서 25분의 CPU 시간이 필요하다<sup>[5]</sup>. 그러나 제안된 방법은 287 개의 면만으로도 상대적으로 복잡한 형태를 지닌 비행체(그림5)를 모델링할 수 있다. 고려되는 단위 노드의 수가 감소하면, 모의 실험시 저장 공간이 절약되며, 동시에 계산 시간이 단축된다. 본 논문에서 구성된 대상 물체는 Pentium 90 MHz PC 상에서 6분 이내로 모델링이 가능하다. 그리고 vs-octree 방법은 일정 크기와 모양의 단위 노드를 이용하기 때문에 복잡한 형태의 대상 물체를 정확하게 표현하기 어렵지만, 제안된 방법에서 이용되는 면 모델은 대상 물체를 상대적으로 정확히 표현할 수 있는 장점이 있다.

실험 결과로부터 대상 물체의 내부 열원의 영향이 고려되는 동시에 대상 물체에 대한 기본적인 3차원 모델링이 구성되었음을 확인하였다. 보다 정확한 적외선 특성의 모델링을 위해 다음 사항에 대한 추가적인 고려가 필요하다. 주위 환경에 의한 복사량의 대비(contrast) 변화, 적외선 영상 시스템의 MTF(modulation transfer function)에 의한 영향, 대기에 의한 감쇄 영향, 비행체의 배기구에서 생성되는 화염과 배기 가스 부분인 플럼, 그리고 움직이는 속력에 의한 일부 물체 표면의 마찰열 등의 영향이다.

제안된 방법을 이용하여 얻어진 열영상은 미사일 탐색기의 시물레이션에 응용될 수 있으며, 이에 대한 추적 결과를 확인함으로써 효과적인 추적 기법 등을 연구할 수 있는 틀을 구성할 수 있다<sup>[2]</sup>. 구성된 표적 모델을 이용하는 시물레이션 루프의 블록도를 그림 9에 보인다. 본 논문에서 제안된 모델링을 통해 얻어진 표적의 열영상과 방사량은 적외선 탐색기(seeker)의 입력으로 이용된다. 레티클(reticle)은 단 소자의 검출기(detector)의 앞에 위치하여, 집중 수광된 표적 신호를 변조하는 역할을 한다. 신호처리부는 변조된 신호로부터 표적의 상대적인 위치 정보를 얻기 위한 복조 회로로 구성된다<sup>[2] [9]</sup>. Wagon wheel 레티클과 대상 레티클에 의해 투과된 표적을 그림 10에 보였다.

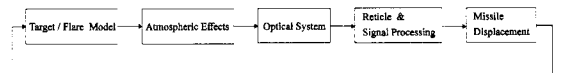


그림 9. 구성된 표적 모델을 이용하는 시물레이션 루프

Fig. 9. Block diagram of simulation loop using the target modeling.

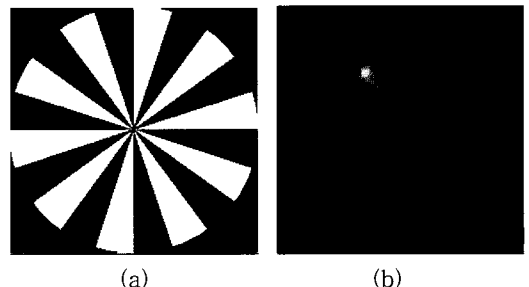


그림 10. (a) Wagon wheel 레티클, (b) Wagon wheel 레티클에 의해 투과된 표적

Fig. 10. (a) The wagon wheel reticle with 10 spoke pairs : transparent and opaque segments, and (b) the target parts transmitted by a wagon wheel reticle.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 내부 열원을 고려하여 대상 물체의 적외선 특성을 계산하는 3차원 물체 모델링 방법이 제안되었다. 제안된 방법은 물체의 각 부분과 표면에 대한 열적 저항을 계산함으로써 내부 열원의 영향을 고려하는 동시에 폴리곤 모델링을 이용하여 대상 물체의 3차원 형태를 정확히 표현함을 확인하였다. 고려 대역에서의 대기 감쇄와 흡수 효과, 그리고 대상 비행체의 플럼과 적외선 영상 시스템에 의한 영향 등에 대한 고려를 통해 실제에 보다 가까운 적외선 영상을 얻는 것이 앞으로의 연구 과제이다. 또한 얻어진 영상을 입력으로 하여 적외선 레티클 탐색기를 시뮬레이션하고, 탐색기의 성능 분석 및 비교와 관련된 연구가 병행될 예정이다.

#### 감사의 글

※ 본 연구는 국방과학연구소 및 서울대 자동제어 특화연구센터의 연구비 지원에 의한 연구 결과입니다. 또한 본 연구를 위해 지도와 도움을 아끼지 않으신 국방과학 연구소 유인억 선임연구원께 진심으로 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] A. Schumaker Eds., *The Infrared & Electro-Optical Systems Handbook*, SPIE press, Michigan, 1993.
- [2] H. K. Hong, S. H. Han, G. P. Hong, S. G. Jahng, and J. S. Choi IR Model of 3D Aircraft for Simulation of Reticle Seekers scheduled to be published in *Journal of Circuits, Systems, and Computers*, vol. 7, Dec. 1997.
- [3] J. Hinderer, "Model for Generating Synthetic Three-Dimensional (3D) Images of Small Vehicles," *Proc. SPIE Conf. on Infrared Sensors and Sensor Fusion*, vol. 782, pp. 8-13, 1987.
- [4] G. Gerhart, G. Martin, and T. Gonda, "Thermal Image Modeling," *Proc. SPIE Conf. on Infrared Sensors and Sensor Fusion*, vol. 782, pp. 3-7, 1987.
- [5] N. Nandhakumar, S. Karthik, and J. K. Aggarwal, "Unified Modeling of Non-homogeneous 3D Objects for Thermal and Visual Image Synthesis," *Pattern Recognition*, vol. 27, no. 10, pp. 1303-1316, 1994.
- [6] F. P. Incropera and David P. De Witt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, John Wiley & Sons, N.Y., 1990.
- [7] S. H. Han, H. K. Hong, G. P. Hong, and J. S. Choi, Modeling of 3D Object Considering Internal Heat Source, *Proc. SPIE Conf. on Target and Background : Characterization and Representation II*, vol. 2742, pp. 169-176, April, 1996.
- [8] K. Seyrafi and S. A. Hovanessian, *Introduction to Electro-optical Imaging and Tracking Systems*, Artech House, M.A., 1993.
- [9] H. K. Hong, S. H. Han, and J. S. Choi, "Simulation of an improved reticle seeker using the segmented focal plane array," *Optical Engineering*, vol. 36, no. 3, pp.730-736, 1997.

## — 저 자 소 개 —

## 洪 顯 基(正會員)

1968년 8월 2일생. 1993년 2월 중앙대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1995년 2월 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1995년 3월 ~ 현재 중앙대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 주관심분야는 적외선 신호처리, 컴퓨터시각, 영상처리 등임

## 洪 競 杓(正會員)

1972년 3월 1일생. 1994년 2월 중앙대학교 제어계측공학과 졸업(공학사). 1996년 8월 중앙대학교 대학원 전자공학과 석사과정 졸업(공학석사). 1996년 2월 ~ 현재 LG 정밀(주) 연구원으로 근무 중. 주관심분야는 적외선 신호처리, 컴퓨터시각 등임

## 韓 成 鉉(正會員)

1968년 7월 26일생. 1990년 2월 중앙대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1992년 2월 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1992년 3월 ~ 현재 중앙대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 주관심분야는 영상처리 및 부호화, 광변조, 적외선 신호처리 등임

## 崔 宗 秀(正會員)

1949년 5월 3일생. 1975년 2월 인하대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1977년 2월 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1978년 서울대학교 대학원 박사과정 중퇴. 1981년 일본 Keio 대학 전기공학과 박사학위 취득. Aloka(주) 연구소 연구원, 1981년 9월 ~ 현재 중앙대학교 전자공학과 교수로 재직중. 주관심분야는 적외선 신호처리, 컴퓨터시각, 영상 압축 및 영상 처리 등임