

실제 배경과 표적모델의 적외선 영상 합성

Infrared Image Synthesis of Real Background and Target Model

안 상 호* 김 영 춘** 김 기 홍***
 Sang-Ho Ahn Young-Choon Kim Ki-Hong Kim

ABSTRACT

An infrared image synthetic method is proposed for infrared system simulation. The synthesis image uses a background IR image captured from real scene and a target IR modeling image. The radiances related with maximum and minimum temperatures of the background and target images are calculated from the Planck's blackbody equation. Based on them, the background and target images are compensated and synthesized. The proposed method is simulated and the IR target images are generated by RadThermIR software.

Keywords : IR Image Synthesis(적외선영상 합성), Target Model(표적모델), IR Signature(IR 시그니처), Radiance(복사휘도)

1. 서 론

최근 적외선(IR : Infrared) 센서를 이용한 적외선시스템의 개발 또는 성능 평가를 목적으로 사전 모의시험을 위한 시뮬레이터가 많이 활용되고 있다. 시뮬레이터는 적외선시스템개발에 있어 개념분석과 이론정립 그리고 시스템 동작의 성능평가에 있어 안전성과 비용절감 등의 이유로 그 필요성이 점차 증가되고 있다. 이와 같은 IR시뮬레이터는 표적과 배경이 온도에 따른 밝기의 IR시그니처(signature)로 적절히 모델링되어야 한다.

군사용 적외선시스템의 주요 예로는 적외선유도미

사일과 이를 방어하기 위한 DIRCM(Directed Infrared Countermeasures)시스템 등이다. 지대공 적외선유도미사일의 경우에는 항공기가 미사일 관점에서 표적이 되고 하늘이 주된 배경이 된다. 이의 시뮬레이션을 위해서는 항공기와 하늘배경의 IR시그니처(signature) 모델링이 요구된다. Hong 등^[1]은 적외선유도미사일의 레티클탐색기(reticle seeker)를 시뮬레이션하기 위해 항공기의 IR영상을 모델링하였고, Cox 등^[2]은 영상탐색기(imaging seeker)에 대한 IRCM(Infrared Countermeasures)를 시뮬레이션하기 위해 IR영상을 모델링하였다.

IR시그니처 모델링을 위한 방법은 복사이론, 열전달 이론 및 대기전달특성 등과 같은 이론적 배경으로 지금까지 많이 연구되어 왔다^[3-7]. 또한 상용화된 소프트웨어들도 개발되어 왔다. IR시그니처를 예측하는 소프트웨어로는 TAI(Thermoanalytics)사의 MuSES, IR환경의 3차원 가상현실 시뮬레이션이 가능한 Vega Prime Sensor와 OKTAL SE 등이 있다. 그러나 이들은 매우 고가이고 구매에 있어 보안상의 제약을 가지고 있다.

† 2013년 1월 5일 접수~2013년 2월 22일 게재승인

* 인제대학교(Inje University)

** 영동대학교(Youngdong University)

*** 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 안상호(elecash@inje.ac.kr)

교신저자 : 김영춘(yckim@yd.ac.kr)

물체의 IR시그니처는 관련 이론을 기초로 직접 모델링하여 구할 수도 있고, RadThermIR과 같은 구매에 제약이 없는 IR시그니처 예측 소프트웨어를 이용하여 구할 수 있다. IR시그니처 모델링에 대한 연구로, Pan 등^[8]은 헬기에 대해, 그리고 Lu 등^[9]은 항공기에 대해 표면의 온도와 IR복사량을 모델링하고 분석하였다. 또한 Dulski 등^[10]은 하늘과 구름의 가상 배경 IR시그니처를 모델링하였다. 그러나 배경의 IR시그니처는 다양한 형태와 재질의 물체들로 구성되므로 모델링하기가 어렵다.

본 연구에서는 배경의 IR시그니처는 열상카메라로 획득한 IR배경영상을 사용하고 표적물체의 IR시그니처는 모델링한 영상을 사용하여 이들을 합성하는 방법에 대해 제안한다. 실제의 IR배경영상과 모델링된 IR표적영상은 이들의 최대 및 최소 온도에 해당하는 복사휘도(radiance)를 계산하여 이를 기준으로 영상의 회색준위를 조정 한 후 서로 합성한다. 제안방식의 타당성은 시뮬레이션을 통해 확인하고 IR표적영상은 RadThermIR 소프트웨어를 사용하여 발생시킨다.

2. IR 시그니처 모델링

흑체(blackbody)는 이상적인 IR 복사체로서 특정 파장 λ 및 온도 T 에 대한 흑체의 분광복사휘도(spectral radiance) $L(\lambda, T)$ 는 플랑크(planck) 복사법칙에 의해

$$L(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(C_2/\lambda T) - 1]} \quad [\text{W/cm}^2 \mu\text{m sr}] \quad (1)$$

이고, 여기서 복사상수 C_1 및 C_2 는

$$C_1 = 1.191 \times 10^4 \quad [\text{W}\mu\text{m}^4/\text{cm}^2\text{sr}]$$

$$C_2 = 1.428 \times 10^4 \quad [\mu\text{m K}]$$

이다. 어떤 물체의 파장대역($\lambda_1 \sim \lambda_2$)의 복사휘도는

$$L(T) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\epsilon(\lambda) C_1}{\lambda^5 [\exp(C_2/\lambda T) - 1]} d\lambda \quad [\text{W/m}^2\text{sr}] \quad (2)$$

이다. 여기서 $\epsilon(\lambda)$ 는 물체의 방사율(emissivity)로 흑체인 경우에는 $\epsilon(\lambda) = 1$ 이다. 파장대역 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 은 일반

적으로 근적외선대역(SWIR : Short Wave IR)일 때 1.9 ~ 2.9 μm , 중적외선대역(MWIR : Middle Wave IR)일 때 3 ~ 5 μm 그리고 원적외선대역(LWIR : Long Wave IR)일 때 8 ~ 12 μm 이다.

Fig. 1은 식 (1)의 플랑크 복사법칙에 의해 구한 흑체의 온도에 따른 분광복사휘도를 나타낸다. 그리고 3개의 파장대역에 대해 식 (2)로부터 구한 온도에 따른 복사휘도의 결과는 Fig. 2와 같다.

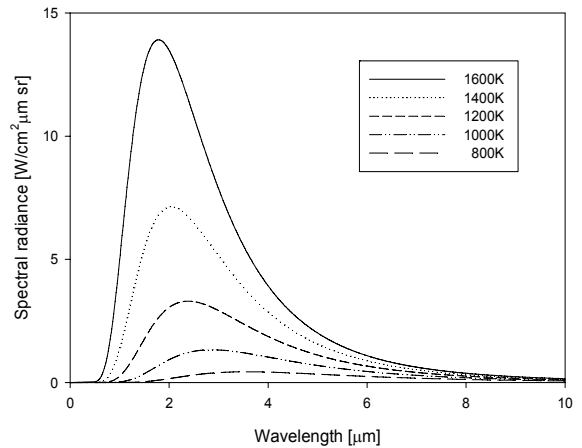


Fig. 1. Spectral radiances of blackbody for wavelength and temperature

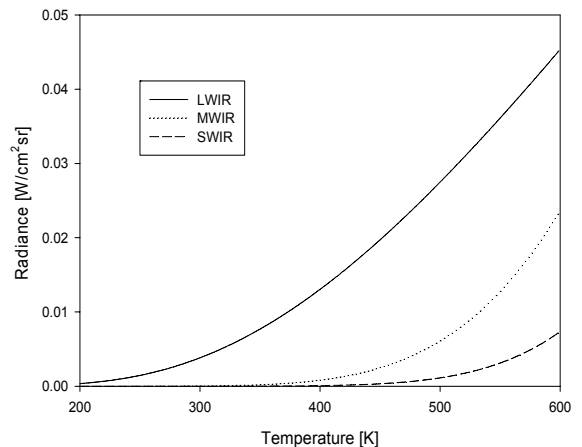


Fig. 2. Radiances of wavelength-band for temperatures

온도가 T 인 물체표면에서 방사된 복사휘도가 대기과 검출기의 광학계를 통과하여 변환된 검출기의 출력전압은

$$V_{det} = C \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L(\lambda, T) \tau_{atm}(\lambda) \tau_{opt}(\lambda) R(\lambda) d\lambda [V] \quad (3)$$

으로 표현될 수 있다^[3]. 여기서 C 는 상수로서 물체에 서 본 검출기의 입체각(solid angle)과 검출기의 초점거리 및 크기와 관련된 값이다. $\tau_{atm}(\lambda)$ 는 대기의 분광 투과율, $\tau_{opt}(\lambda)$ 는 검출기 광학계의 분광 투과율 그리고 $R(\lambda)$ 은 단위가 $[V/W]$ 인 검출기의 분광감응도(spectral responsivity)이다. 파장대역 내에서 $\tau_{atm}(\lambda)$, $\tau_{opt}(\lambda)$ 및 $R(\lambda)$ 가 균일한 특성을 가진다고 가정하면, 이들은 상수가 되어 검출기의 출력전압은 복사휘도 $L(T)$ 에 비례한다. 검출기가 2차원의 영상검출기이면 IR영상의 회색준위(gray level)는 검출기의 출력전압에도 비례한다. 따라서 물체의 온도 T 에 해당하는 특정파장대역의 복사휘도 $L(T)$ 는 IR영상의 회색준위와 비례한다고 간주할 수 있다.

3. IR영상 합성방법

본 논문에서는 실제의 IR배경영상과 모델링된 IR표적영상을 합성하는 방법을 제안한다. IR배경영상과 IR 표적영상은 서로 독립된 온도분포에 따른 회색준위값을 가지고 있다. 이들을 서로 합성하기 위해서는 회색준위가 온도크기에 따라 적절히 조정되어야 한다. IR영상을 합성하기 위한 단계는 다음과 같다.

가. 배경 및 표적 IR영상 준비

IR배경영상과 IR표적영상이가 주어졌을 때 기본적으로 필요한 정보는 Table 1과 같다. 각 영상의 크기와 최대/최소 회색준위값 그리고 최대/최소 온도값은 조사되어 설정되어야 한다.

배경 및 표적영상의 회색준위 범위는

$$\Delta G_b = G_{b_{max}} - G_{b_{min}} \quad (4)$$

$$\Delta G_t = G_{t_{max}} - G_{t_{min}} \quad (5)$$

로 정의한다.

표적영상이 이미 모델된 IR영상인 경우에는 최대 및 최소의 온도는 표적에 대한 온도정보를 이용하여 유추할 수 있다. 또한 표적영상은 RadThermIR과 같은 IRSI그니처 예측 소프트웨어를 사용하여 발생시킬 수 있다.

Table 1. Basic required information for IR background/target images

영상의 제원	배경영상	표적영상
영상크기	X_b, Y_b	X_t, Y_t
최대/최소 회색준위	$G_{b_{max}}, G_{b_{min}}$	$G_{t_{max}}, G_{t_{min}}$
최대/최소 온도	$T_{b_{max}}, T_{b_{min}}$	$T_{t_{max}}, T_{t_{min}}$

나. 온도와 파장대역별 복사휘도 계산

3개의 파장대역인 SWIR, MWIR 및 LWIR대역 중 원하는 대역에서 배경과 표적의 최대/최소온도에 대한 복사휘도 $L_{b_{max}}, L_{b_{min}}, L_{t_{max}}$ 및 $L_{t_{min}}$ 는 식 (2)로부터 계산할 수 있다. 배경영상은 IR검출기를 통해 획득된 영상이므로 대기의 투과율과 광학계 투과율 및 검출기 감응도가 포함된 결과이다. 그러나 표적영상은 모델링한 영상이므로 이들이 고려되어 있지 않았다. 광학계의 투과율과 검출기 감응도는 대기의 투과율에 비해 상대적으로 영향이 적기 때문에 본 연구에서는 대기투과율만을 고려하였다. 대기투과율은 대기조건, 거리 및 고도 등에 영향을 받으므로 MODTRAN과 같은 소프트웨어를 사용하면 분광대기투과율 $\tau_{atm}(\lambda)$ 을 정확히 구할 수 있다. 단순화를 위해 파장대역내의 대기투과율은 균일하다고 가정하면, 대기투과율 τ_{atm} 은 Beer-Lambert 법칙에 따라

$$\tau_{atm} = \exp(-\sigma D) \quad (6)$$

로 구할 수 있다^[11]. 여기서 D 는 표적과 검출기와의 거리이며 단위는 km이다. 그리고 σ 는 대기감쇄계수이며 대기조건에 영향을 받는다. 표적영상은 거리에 따라 대기투과율이 고려되어야 하므로 표적의 최대/최소 복사휘도 $L_{t_{max}}$ 와 $L_{t_{min}}$ 은 τ_{atm} 가 곱해져야 한다. 보정된 표적의 $L_{t_{max}}$ 와 $L_{t_{min}}$ 그리고 배경의 $L_{b_{max}}$ 와 $L_{b_{min}}$ 중에서 최대 L_{max} 와 최소 L_{min} 의 차이는

$$\Delta L = L_{max} - L_{min} \quad (7)$$

로 정의한다.

다. 거리에 따른 표적영상의 크기 조정

배경영상에 합성할 표적영상은 거리 D 에 따라 크

기가 조정되어야 한다. Fig. 3은 검출기의 FOV(Field Of View)에 대한 시계폭 및 표적 크기와의 관계를 나타낸다. 검출기의 FOV가 주어지면 표적과의 거리 D 와 배경의 시계폭 W_b 와의 관계식은

$$FOV = \theta = \tan^{-1}(W_b/D) \quad (8)$$

과 같다. 표적의 크기 W_t 를 알고 있으면 배경의 시계폭 W_b 와의 상대적 비율로부터 표적영상의 가로 및 세로크기는

$$X'_t = X_b \frac{W_t}{W_b}, \quad Y'_t = Y_b \frac{W_t}{W_b} \quad (9)$$

로 구할 수 있다. 거리에 상응하는 크기의 표적영상은 원 표적영상을 다운(down) 샘플링하여 구한다.

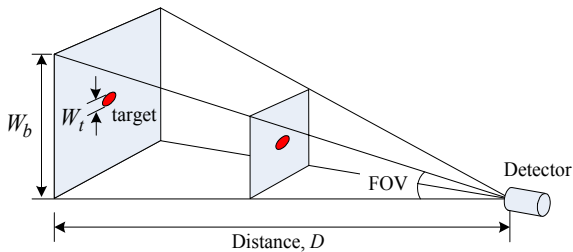


Fig. 3. Scene width and target size for FOV of detector

라. 영상의 회색준위 조정

IR영상을 합성하기 위해서는 온도정보를 기준으로 배경과 표적영상의 회색준위가 조정되어야 한다. 온도에 따른 복사휘도는 영상의 회색준위에 비례하므로 이를 기준으로 회색준위가 조정된다.

Fig. 4는 임의의 과장대역에서 배경의 최대/최소 온도와 표적의 최대/최소온도가 주어졌을 때 이들의 복사휘도와 회색준위의 관계를 나타내는 예시이다. 표적의 최대온도 T_{t_max} 가 가장 높은 온도이므로 이의 복사휘도 L_{t_max} 가 최대의 복사휘도 L_{max} 이며 회색준위 \hat{G}_{t_max} 는 255의 값으로 할당한다. 그리고 배경의 최소 온도 T_{b_min} 가 가장 낮은 온도이므로 이의 복사휘도 L_{b_min} 이 최소 복사휘도 L_{min} 이 되어 회색준위 \hat{G}_{b_min} 은 0의 값으로 할당한다. 따라서 배경과 표적의 온도 범위가 보정영상에서는 0~255의 회색준위로 분포되도록 조정한다.

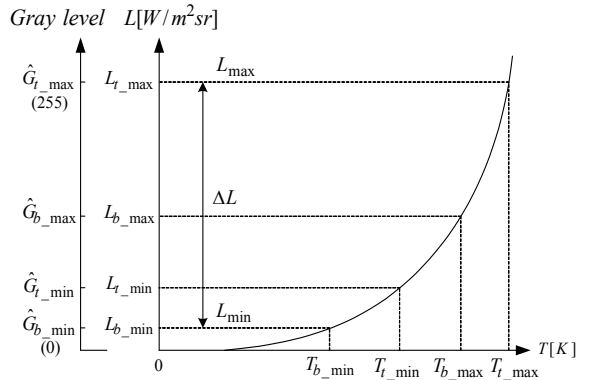


Fig. 4. Relation with radiance and gray-level for temperature

표적영상에 대한 최대/최소의 회색준위 변환식과 이의 변위는

$$\hat{G}_{t_max} = \frac{L_{t_max} - L_{min}}{\Delta L} \times 255 \quad (10)$$

$$\hat{G}_{t_min} = \frac{L_{t_min} - L_{min}}{\Delta L} \times 255 \quad (11)$$

$$\Delta \hat{G}_t = \hat{G}_{t_max} - \hat{G}_{t_min} \quad (12)$$

과 같다. 또한 배경영상에 대한 최대/최소의 회색준위 변환식과 이의 변위도

$$\hat{G}_{b_max} = \frac{L_{b_max} - L_{min}}{\Delta L} \times 255 \quad (13)$$

$$\hat{G}_{b_min} = \frac{L_{b_min} - L_{min}}{\Delta L} \times 255 \quad (14)$$

$$\Delta \hat{G}_b = \hat{G}_{b_max} - \hat{G}_{b_min} \quad (15)$$

과 같다.

마. 영상합성

조정된 최대/최소의 회색준위의 값들로부터 영상을 합성하기 위해 배경 및 표적의 원영상 $G_b(i,j)$ 및 $G_t(i,j)$ 로부터 변환한 영상은

$$\hat{G}_b(i, j) = (G_b(i, j) - G_{b_min}) \times \frac{\Delta \hat{G}_b}{\Delta G_b} + \Delta \hat{G}_{b_min},$$

$$0 \leq i \leq X_b - 1, \quad 0 \leq j \leq Y_b - 1 \quad (16)$$

$$\hat{G}_t(i, j) = (G_t(i, j) - G_{t_min}) \times \frac{\Delta \hat{G}_t}{\Delta G_t} + \Delta \hat{G}_{t_min},$$

$$0 \leq i \leq X'_t - 1, \quad 0 \leq j \leq Y'_t - 1 \quad (17)$$

로부터 구할 수 있다. 변환된 표적영상 $\hat{G}_t(i, j)$ 는 변환된 배경영상 $\hat{G}_b(i, j)$ 내의 원하는 위치에 포함시켜 영상을 합성한다. 표적영상에서 물체의 표면영역만을 합성하고 나머지 부분은 배경영상으로 대체한다. 합성한 영상 G_{syn} 은 회색준위의 분포가 0~255이므로 최대의 명암대비(contrast)를 가진다. 따라서 합성영상의 명암대비와 밝기는 필요에 따라 후처리에 의해 조정될 수 있다. 후처리한 합성영상 G_{syn}^* 은

$$G_{syn}^*(i, j) = a \times G_{syn}(i, j) + B$$

$$0 \leq i \leq X_b - 1, \quad 0 \leq j \leq Y_b - 1 \quad (18)$$

과 같이 구할 수 있으며, 여기서 a ($0 < a \leq 1$)는 명암대비 조정상수이고 B ($0 \leq B < 255$)는 밝기조정을 위한 회색준위값이다. 원 배경영상과 동일한 명암대비와 밝기를 가지기 위해서는 $a = \Delta G_b / 255$ 와 $B = G_{b_min}$ 로 두면 된다.

4. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안한 IR영상 합성방법의 타당성을 조사하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에 사용한 표적영상들은 Fig. 5와 같으며, 이들은 TAI사의 RadThermIR로 모델링된 Agusta헬기와 F16의 IR표적영상이다. 격자(mesh)로 구성된 3D CAD로 물체가 모델링되고 열분석에 의해 각 격자마다의 복사회도가 계산된 후 IR영상이 발생된다. Fig. 6은 LWIR의 열상카메라로 획득한 2종류의 IR배경영상이다. 그림 (a)는 전체 하늘배경의 영상이고 이의 FOV는 각자 $3^\circ \times 2^\circ$ 이며, 그림 (b)는 지상과 하늘이 모두 포함된 배경으로서 이의 FOV는 $5^\circ \times 3.3^\circ$ 이다.

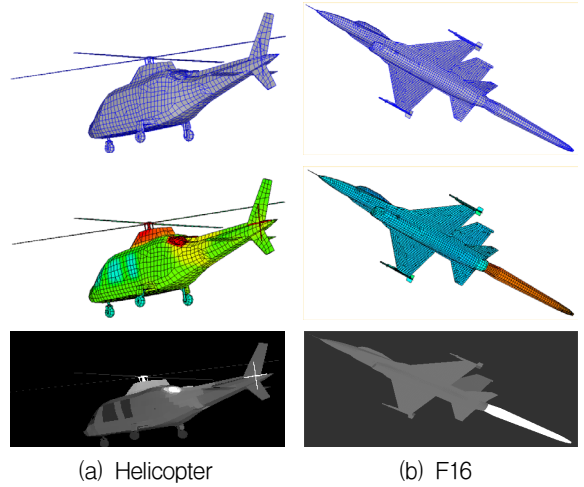


Fig. 5. Modeled IR target images

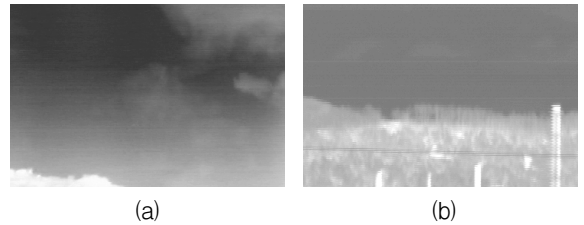


Fig. 6. IR background images

여러 종류의 온도분포, FOV 및 거리 D 에 대해 시뮬레이션을 수행하여 3개 과장대역의 IR합성영상을 각각 구하였다. Table 2는 IR영상합성 결과의 예를 나타낸다. SWIR은 낮은 온도에서 복사회도가 매우 작기 때문에 배경이 잘 식별되지 않는다. 반면에 LWIR의 합성영상은 상대적으로 낮은 온도부분도 잘 부각됨을 알 수 있다. Table 2의 (a), (b) 및 (c)는 하늘배경의 영상인 Fig. 5(a)에 표적을 합성시켰고, Table 2의 (d), (e) 및 (f)는 Fig. 5(b)의 배경에 표적을 합성시켰다. 이의 결과로부터 헬기의 엔진부와 F16의 플룸(plume)이 주요 IR시그니처로서 잘 식별됨을 알 수 있다. Table 2의 (a)와 (d)는 동일한 거리의 합성영상이지만 FOV가 서로 다르기 때문에 헬기의 크기는 차이가 난다. 따라서 3개 대역의 IR영상이 표적과 배경의 온도, 거리 및 FOV의 설정에 따라 다양하게 합성될 수 있었다.

더욱 정확한 IR영상합성을 위해서는 배경영상을 획득할 때 사용되는 열상카메라에 대한 정보와 획득시의 기후조건에 대한 정보가 요구된다. 특히 획득시간, 획득장소의 경도, 날씨, 온도, 습도 및 고도 등의 정보

Table 2. Synthetic result images

	SWIR	MWIR	LWIR
<p>(a)</p> <p>$FOV_H = 3.0^\circ, FOV_V = 2.0^\circ$</p> <p>$T_{L_min} = 270, T_{L_max} = 350$</p> <p>$T_{b_min} = 250, T_{b_max} = 290$</p> <p>$D = 0.5km, \sigma = 0.1$</p>			
<p>(b)</p> <p>$FOV_H = 3.0^\circ, FOV_V = 2.0^\circ$</p> <p>$T_{L_min} = 270, T_{L_max} = 350$</p> <p>$T_{b_min} = 250, T_{b_max} = 290$</p> <p>$D = 1km, \sigma = 0.1$</p>			
<p>(c)</p> <p>$FOV_H = 3.0^\circ, FOV_V = 2.0^\circ$</p> <p>$T_{L_min} = 270, T_{L_max} = 380$</p> <p>$T_{b_min} = 250, T_{b_max} = 310$</p> <p>$D = 1km, \sigma = 0.1$</p>			
<p>(d)</p> <p>$FOV_H = 5.0^\circ, FOV_V = 3.3^\circ$</p> <p>$T_{L_min} = 300, T_{L_max} = 360$</p> <p>$T_{b_min} = 270, T_{b_max} = 330$</p> <p>$D = 0.5km, \sigma = 0.1$</p>			
<p>(e)</p> <p>$FOV_H = 5.0^\circ, FOV_V = 3.3^\circ$</p> <p>$T_{L_min} = 300, T_{L_max} = 360$</p> <p>$T_{b_min} = 270, T_{b_max} = 330$</p> <p>$D = 1km, \sigma = 0.1$</p>			
<p>(f)</p> <p>$FOV_H = 5.0^\circ, FOV_V = 3.3^\circ$</p> <p>$T_{L_min} = 300, T_{L_max} = 380$</p> <p>$T_{b_min} = 270, T_{b_max} = 330$</p> <p>$D = 1km, \sigma = 0.1$</p>			

는 대기전달특성과 물체의 온도분포를 구하는데 사용될 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 실제의 IR배경영상과 모델링된 IR표적영상을 온도의 크기에 맞추어 회색준위를 보정하고 이들을 서로 합성하는 방법에 대해 제안하였으며, 실제 IR배경영상에 헬기와 F16의 모델링 IR영상을 합성하는 시뮬레이션을 수행하였다. 여러 온도분포, 표적거리 및 대기투과율에 대해서 3개 파장대역의 IR영상들이 합성될 수 있었다.

합성영상은 적외선유도미사일의 영상탐색기에 대한 시뮬레이션에 직접 사용할 수가 있고, 영상에 레티클 패턴을 겹쳐 사용하면 레티클탐색기의 시뮬레이션에도 사용될 수 있다. 제안방식은 지상배경과 지상표적에 대한 IR영상합성에도 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 논문은 국방과학연구소의 개별기초연구의 지원에 의한 것임.

References

- [1] H. K. Kim, S. H. Han, G. P. Hong, and J. S. Choi, "Simulation of Reticle using the Generated Thermal Images", Proceedings of IEEE Asia Pacific Conf. on Circuits and Systems, pp. 18~21, Nov. 1996.
- [2] L. J. Cox, M. A. Batten, S. R. Carpenter, and P. A. B. Saddleton, "Modelling Countermeasures to Imaging Infrared Seekers", Proceedings of SPIE, Vol. 5615, pp. 112~119, 2004.
- [3] R. G. Driggers, P. Cox, and T. Edwards, Introduction to Infrared and Electro-Optical Systems, Artech House, 1998.
- [4] R. A. Jacobs, Thermal Infrared Characterization of Ground Targets and Backgrounds, SPIE Optical Engineering Press, 1996.
- [5] D. H. Pollock, Countermeasure Systems, The Infrared & Electro-Optical Systems Handbook, Vol. 7, SPIE, Optical Engineering Press, 1993.
- [6] C. J. Wllers and M. S. Wheeler, "Application of Image Simulation in Weapon Systems Development", CSIR and Denel Dynamics, South Africa, July, 2007.
- [7] W. Yu, Q. Peng, H. Tu, and Z. Wang, "An Infrared Image Synthesis Model Based Infrared Physics and Heat Transfer", International Journal of Infrared and Millimeter Waves, Vol. 19, No. 12, pp. 1661~1669, 1998.
- [8] C. X. Pan, J. Z. Zhang, and Y. Shan, "Modeling and Analysis of Helicopter Thermal and Infrared Radiation", Chinese Journal of Aero-Nautics, Vol. 24, pp. 558~567, Mar. 2011.
- [9] J. Lu and Q. Wang, "Aircraft-Skin Infrared Radiation Characteristics Modeling and Analysis", Chinese Journal of Aeronautics, Vol. 22, No. 5. pp. 493~497, Mar. 2009.
- [10] R. Dulski, T. Sosnowski, and, H. Polakowski, "A Method for Modelling IR Image of Sky and Clouds", Infrared Physics & Technology, Vol. 54, pp. 53~60, 2011.
- [11] A. R. Jha, Infrared Technology : Applications to Electro-Optics, Photonic Devices, and Sensors, John-Wiley & Sons, 2000.