611 温熱画像を用いた生活空間の温熱快適性評価法

Evaluation Method of Thermal Amenity in Living Environment Using Thermal Images

学 小笠原英子 (筑波大) ○学 藺田 豊 (筑波大)

正 水谷 孝一 (筑波大) 石川 幸雄 (竹中技研)

Hanako OGASAWARA¹, Yutaka SONODA¹, Koichi MIZUTANI¹ and Yukio ISHIKAWA²

¹University of Tsukuba, Tsukuba 305-8573, Japan, ² Takenaka R&D Institute, Inzai 270-1395, Japan

1. はじめに

人間が快適だと思える室内環境は、その時の天候や室内の温度、湿度、風速、服装、活動量等によって異なる^[1,2]。そこで、それらの要素を考慮し、人間の温冷感と関連付けた指標として 1994 年に予想平均温冷感申告指標(Predicted Mean Vote: PMV)が ISO7730 で標準化された。PMV は温熱環境の良否を判断する基準として世界中で使用されている^[3,4]。しかし、ISO7730 では PMV 値を求める計算において重要な人体の着衣表面温度を式(1)-(4)で示すような複雑な繰り返し計算による推測値より得ている。そのため繰り返し計算を近似式によって代用する手法^[5]が用いられているが、その多くが計算結果に誤差を生じてしまうことが指摘されていた^[6,7]。

本研究では、生活空間内にサーモカメラ、Tr 式微風速計を設置し、室内をモニタリングし、そこから得られた熱画像から人体部分を抽出し着衣表面温度とし、それ以外の部分を平均輻射温度とし、PMV 値を算出し、その結果と既存の PMV 値計算法による計算結果との比較を行った。

2. 原 理

PMV 指標は、0 を含む±3 の 7 段階で、「暑い」、「寒い」を表現しており、±1 に入れば、快適な状態とされている。この PMV 値は、Table I に示すパラメータを用いて計算される。本研究での特徴は、Table I の上二つのパラメータを Fig.1 に示すような熱画像から直接計測するところにある。

Table I Parameters for PMV calculation

着衣表面温度 (熱画像における人体部分)	t_{cl}	℃
平均輻射温度 (人体以外の部分)	$\bar{t}_r$	℃
人体の表面積における代謝率	M	W/m ²
単位面積当たりの外部からの仕事量	W	W/m ²
着衣による熱抵抗	I_{cl}	W/m ²
室内温度	t_a	℃
人体に対する相対風速	v_{ar}	m/s
水蒸気分圧	p_a	Pa
皮膚表面積に対する着衣時の表面積比	f_{cl}	
対流熱伝達係数	h_c	W/m ²

$$PMV = (0.303 e^{-0.036 M} + 0.028) \{ (M - W) - 3.05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99(M - W) - p_a] - 0.42 \times [(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} M (5867 - p_a) - 1.4 \times 10^{-3} M \times (34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \} \quad (1)$$

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028 (M - W) - I_{cl} \{ 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \} \quad (2)$$

$$h_c = \begin{cases} 2.38 (t_{cl} - t_a)^{0.25} > 12.1 \sqrt{v_a} \text{ のとき} \\ 2.38 (t_{cl} - t_a)^{0.25} < 12.1 \sqrt{v_a} \text{ のとき} \\ 12.1 \sqrt{v_a} \end{cases} \quad (3)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} I_{cl} \leq 0.078 \text{ のとき} & 1.00 + 1.290 I_{cl} \\ I_{cl} > 0.078 \text{ のとき} & 1.05 + 0.645 I_{cl} \end{cases} \quad (4)$$

Fig.1 に原熱画像 P_n から着衣表面温度(t_{cl})と平均輻射温度($\bar{t}_r$)を算出する手順を示す。人体部分を抽出するために P_n を閾値処理^[8]を行い高温領域画像 P_{b1n} を抽出する。それに 4 方向 Laplacian filter 処理^[8,9]を施し 2 値化像輪郭像を得る。

Fig. 1 Procedure of an extraction for surface temperature of clothing and mean radiant temperature from thermal images.

5 分間分の複数枚の 2 値化輪郭画像を加算することで人体以外の静止高輻射物の輪郭が強調される。その画像に閾値処理を行った後、塗りつぶし処理を行うことで 2 値化高輻射物画像が得られる。更に、2 値化高温領域画像と 2 値化高輻射物領域画像との差をとることで、Fig.1 に示す 2 値化人体領域画像 P_{b2n} を得る。原画像と 2 値化人体領域画像の要素同士の積をとることで原画像の人体領域画像 $P_n \times P_{b2n}$ を得る。一方、背景領域画像 $P_n(1-P_{b2n})$ は原画像と人体領域画像 $P_n \times P_{b2n}$ との差から抽出できる。最終的に、それぞれの画像の値を持つ要素の平均をとることで人体の着衣表面温度 t_{cl} と平均輻射温度 $\bar{t}_r$ を算出し、PMV 値を導く。

3. 実験

実験機材にはサーモカメラ(TH5100 / NEC)、Tr 式微風速計(AM-09T / RION)、Pentium III 750 MHz (PCV-72 / SONY)を使用した。実験時にはサーモカメラを実験室の隅に、微風速計を部屋の中央に設置して 30 秒間隔で熱画像を取得した。被験者には撮影範囲内での活動以外は制限しなかった。

計測時、室内では終始暖房設備は稼動しており平均風速 0.10 m/s、平均水蒸気分圧 1.00×10^3 Pa、活動量 70 W/m²、平均着衣量 0.157 m²·K/W であった。計測後、得られたデータを用いてシミュレーションを行い本方式による実験結果と ISO による手法とを比較した。実験で得られた原画像と処理した画像の一例は既に Fig. 1 に示している。この環境における 25 分間の着衣表面温度と PMV 値の時間推移を、それぞれ Fig. 2 と Fig. 3 に示す。二つの図ともに ISO による値と本方式による値を併記しているが、両者ともに概ね一致した値であり、繰り返し計算によらない熱画像から直接計測した着衣表面温度と平均輻射温度を用いても、被験者の「少し暑い」という PMV 値が得られた。

4. むすび

本研究は、ISO7730(1994)で標準化されている予想平均温冷感申告指標(Predicted Mean Vote: PMV)における新しい測定法を提案した。本研究で提案する熱画像を用いる方法では、サーモカメラを用いて室内をモニタリングし、取得した熱画像から人体領域を抽出し、そこから着衣表面温度を得ているため、実際の状況を反映した信頼性の高い着衣表面温度が得ることができた。それにより、一定の精度を持った PMV 値を計算出来ること、それらが室内環境や人体に何ら影響を与え

Fig. 2 Time course for 25 minutes of the room temperature and surface temperatures of clothing calculated by ISO and our method.

Fig. 3 Time course for 25 minutes of the PMVs detected by ISO and our method.

ることなく計測・評価できることが分かった。今後は、画像の人体部分抽出処理の改善などを図る予定である。

参考文献

- [1] 尾関義一, 小西正哲, 成田千恵, 田辺新一: “日射が 温熱感に与える 影響に 関する 研究(その 4) - 人体と 矩 形面との 距離が 2m 以下 の 場合 の 数値計算による 全身と 矩 形面との 形態係数-,” 日本建築学会学術講演梗概集, pp.375-376 (1999).
- [2] P. Tibaut and B. Weisler: “Thermal comfort assessments of indoor environments by means of CFD,” 8th International Conference on Air Distribution in Rooms, Denmark, (2002).
- [3] ISO 7730: Moderate thermal environments Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, ISO., Geneva (1994).
- [4] S. Atthajariyakul and T. Leephakpreeda: “Real-time determination of optimal indoor-air condition for thermal comfort, air quality and efficient energy usage,” 8th International Conference on Air Distribution in Rooms, Denmark, pp.425-428 (2002).
- [5] Guodong Ye, Changzhi Yang, Youming Chen, and Yuguo Li: “A new approach for measuring predicted mean vote (PMV) and standard effective temperature (SET),” Building and environment, 38, pp.33-44 (2003).
- [6] A. Michael Humphreys and J. Fergus Nicol: “The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments,” Energy and Buildings, 34, pp.667-684 (2002).
- [7] Maher Hamdi, Gérard Lachiver, and François Michaud: “A new predictive thermal sensation index of human response,” Energy and Buildings, 29, pp.167-178 (1999).
- [8] Gragory A. Baxes 著, 田中 總太郎, 大宅 伊久雄, 杉村 俊郎, 吉田 隆義, 和宇慶 康: “デジタル画像処理入門,” 啓学出版株式会社, 東京, (1988).
- [9] 高井信勝, “「信号処理」「画像処理」のための MATLAB 入門[増補版],” 工学社, 東京, (2002).