

着衣量の非接触計測による 熱的快適指標の推定

松本裕樹[†] 岩井儀雄[†] 石黒浩[†]

より快適で省エネな住宅を実現するために、快適とは何かを定め、その快適さを計測できる必要がある。熱的快適性はすでに PMV, PPD の指標を用いることにより数値による指標化がなされている。しかし、PMV を算出するために必要な測定要素のうち、人間側の要素である着衣量は容易に計測することが出来ず、サーマルマネキンを用いた高価で手間のかかる計測が必要である。そこで、本論文では PMV を非接触で簡便に計測する手法を提案する。提案手法では、登録された着衣画像とデータベースの画像との比較により衣服の着衣量の推定を行い、安価なセンサで簡単に測定できる空気温度、相対湿度、平均風速を用いて PMV 値を推定する。

Estimation of thermal comfort by measuring clo value without contact

Hiroki Matsumoto[†] Yoshio Iwai[†] Hiroshi Ishiguro[†]

We need to define what is comfortable and measure comfort of users to work out creating more comfort and energy saving living space. Some measures of thermal comfort have been defined as PMV and PPD. However, complex equipments are required to measure PMV. In this paper, our goal is to estimate PMV easily. Amount of clothing is measured by using camera and cloth database registered in advance. PMV is calculated from clo value by measuring temperature, relative humidity, and air velocity.

[†]大阪大学 Osaka University

1. はじめに

現在、日本全体でネットワークのブロードバンド化が進み、大量の情報が家や街角のすみずみまで届くだけでなく、テレビ、PC、ゲーム機器といった生活機器がネットワークにつながっている。また、これからもネットワークにつながるような機器が増えていくことが予想される。大量の情報と大量の機器がネットワークにつながるとすれば、これをどのように使うか、という利活用の技術が今後大切な情報通信技術の一つとなる。具体的な利活用のシーンは学校やオフィスなど様々だが、人間生活の基本に最も近くニーズが豊かな場合は、家庭である。家庭では様々な年代の人間がそれぞれの生活パターンで暮らしているので、個々のユーザにきめ細かく合わせるサービス、つまり個人適応性の高い利活用技術が求められる。

そのような背景の中で近年は住宅におけるサービスについての研究が行われてきた。例えば、独立行政法人情報通信研究機構 (NICT) のユビキタスホーム[1]では RFID タグを用いた忘れ物指摘サービスや番組視聴履歴を用いたテレビ番組推奨などのサービスを行い、快適な生活の支援についての研究・開発が行われている。また、ジョージア工科大学の The Aware Home[2]ではユビキタス環境を構築することにより快適な空間を作り出す研究をしている。この他にも Sensing Room[3]や Microsoft の Easy Living[4]等、多数のセンサ類を住宅に組み込んだ様々な研究が行われ将来の一般住宅への応用を目指している。

このような研究は快適な空間を作り出すことを目標にしている。快適な空間を作り出すためには、どの状態が快適なのかを表す指標である「快適指標」を構築する必要がある。快適さには温度、音楽、照明などの要素が考えられるが、人は室温や湿度により暑い、寒いなどの熱的要素による不快感を抱くことが多く、それゆえ快適性の中でも熱的快適性は重要な要素である。熱的快適性については PMV, PPD 指標がデンマーク工科大学のファンガー博士により提案され、ISO7730[5]に定められている。PMV は温熱の 6 要素 (着衣量、代謝量、空気温度、相対湿度、平均放射温度、平均風速) の組み合わせに対する人間の温冷感を数値化したものであり、PPD はその温冷感に対してどれだけの割合の人が不快感を抱くかを表す数値である。従来 PMV の測定にはサーマルマネキンが用いられていた。サーマルマネキンは非常に高精度な PMV 値を測定できる一方で、非常に高価であり測定にも手間がかかる。そこで PMV の測定に必要な要素のうち人間側の要素 (着衣量、代謝量) は固定し、環境側の要素 (気温、相対湿度、平均放射温度、平均風速) を計測し、PMV を算出するような簡易 PMV 計が開発された。この計測器は計測の手間があまりかからないが、依然高価で精度があまりよくない。なぜなら代謝量はただ座っているだけのときと家事などの作業をし

ているときでは大きく異なり、着衣量も着ている服により大きく変わるからである。ゆえに正確に PMV を推定するには、着衣量、代謝量の人間側の要素を推定する必要がある。住宅内で普通に暮らしながら計測するためには、着衣量、代謝量を非接触で計測することが望ましい。なぜなら、体温測定などの接触による測定は常に作業が必要で手間がかかるからである。非接触の方法の中ではサーモグラフィでの熱量計測による PMV の推定方法が考えられるが、サーモグラフィは非常に高価であるため一般住宅での使用は適していない。そこで本論文では、カメラによる画像を解析することによって着衣量の推定を行う。

カメラによる着衣量推定には[6]の方法が提案されたが、仮定するパラメータや推定するパラメータが非常に多いので精度があまりよくない。そこで、近年研究が盛んになってきた行動認識[7]や、特定物体認識[8]技術を応用することにより着衣量の値を推定する。

2. 熱的快適指標と PMV 指標

本章では、熱的快適性を評価することを目的とし、熱的快適性の指標である PMV の指標の要素である着衣量を推定することにより PMV の算出を行う。2.1 節では熱的快適指標である PMV, PPD 指標について述べ、2.2 節では PMV 指標の計算の要素である着衣量の推定について述べる。

2.1 快適性と PMV 指標

PMV, PPD は熱的快適性評価のためにデンマーク工科大学のファンガー博士が提案し ISO7730 に定められた評価値である。PMV は暑さ寒さの感覚を指標化しており、作業やその人の体型などによって決まる代謝量、空気温度、周囲の全方向から受ける熱放射を平均化して温度表示した平均放射温度、平均風速、服の熱抵抗を表す着衣量、相対湿度の組み合わせに対しての温冷感を数値化したものであり、式(2.1)から求められる。

$$\begin{aligned}
 PMV = & (0.303 \exp(-0.036M) + 0.028) \cdot \\
 & \left[(M - W) - 3.05 \cdot 10^{-3} \cdot \{5733 - 6.99(M - W) - p_a\} \right. \\
 & - 0.42[(M - W) - 58.15] \\
 & \left. - 1.7 \cdot 10^{-5} \cdot M(5867 - p_a) \right]
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

$$\begin{aligned}
 & -0.0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \\
 & - 3.96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot \left[(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4 \right] \\
 & - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)
 \end{aligned}$$

ただし、 t_{cl}, f_{cl}, h_c は以下のとおり。

$$\begin{aligned}
 t_{cl} = & 35.7 - 0.028 \cdot (M - W) \\
 -I_{cl} \cdot & \left\{ 3.96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot \left[(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4 \right] + f_{cl} \cdot h_c (t_{cl} - t_a) \right\}
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

$$h_c = \max \left(2.38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0.25}, 12.1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \right) \tag{2.3}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290 I_{cl} & \text{for } I_{cl} \leq 0.078 m^2 \cdot K/W \\ 1.05 + 0.0645 I_{cl} & \text{for } I_{cl} > 0.078 m^2 \cdot K/W \end{cases} \tag{2.4}$$

ここでは代謝量、は外部仕事、 p_a は蒸気圧、 t_a は空気温度、 t_r は平均放射温度、 v_{ar} は平均風速を表す。蒸気圧 p_a は相対湿度により求めることができる。外部仕事は代謝量に対して微小なので 0 とする。また、式(2.1)により算出される PMV と人の温冷感 は表 1 のような対応関係がある[5]。

表 1: PMV と温冷感

PMV 値	温冷感
+3	Hot
+2	Warm
+1	Slightly warm
0	Neutral
-1	Slightly cool
-2	Cool
-3	Cold

また、PPD は PMV に対応して、暑さ寒さの不満足を感じている人の割合をさす。PMV と PPD の値の対応は図 1 の通りである。

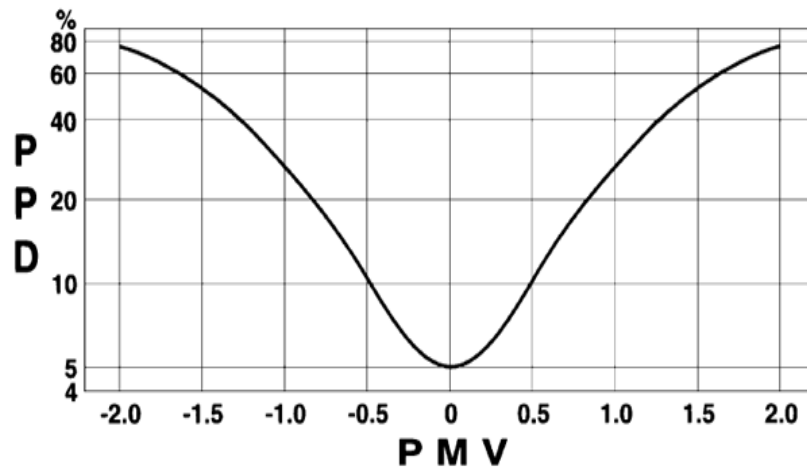


図 1: PMV と PPD

従来、PMV の測定はサーマルマネキンが用いられてきた。サーマルマネキンは非常に高精度な PMV 値を測定できるが、一方非常に高価であり測定にも手間がかかる。また、着衣量、代謝量を固定する簡易 PMV 計は計測の手間があまりかからないが、

依然高価で精度があまりよくない。正確に PMV を推定するには、着衣量、代謝量の人間側の要素を推定する必要がある。そこで 2.2 節では着衣量の推定の方法について述べる。

2.2 着衣量の推定

着衣量とは衣服の保温力(熱伝導抵抗)を表す。着衣量はサーマルマネキンに衣服を着せ、熱状態を観測することにより計測がされてきた。しかし一般住宅では非常に高価で測定に手間がかかるサーマルマネキンは着衣量の計測に適しているとはいえない。そこで、本論では以下の花田ら[9]の提案する着衣量の近似計算式を用いる。

$$y = 0.000558 \cdot W + 0.062 \quad (2.5)$$

ただし W は衣服の総重量(g), y は着衣量(clo)である。ただしである。式(2.5)を用いれば衣服の総重量を求めることにより着衣量を得ることができる。

3. カメラによる PMV 推定システム

着衣量の推定に必要な衣服総重量およびそれを用いた PMV の推定法の処理の流れと衣服の識別のために必要な特徴量の抽出法および識別方法について説明する。

3.1 処理の流れ

人の全身が映った画像に対して、OKAO Vision (OMRON 社)を用いて顔領域の検出を行い、顔領域と衣服領域の位置関係を定めることによって図 2、図 3 のような衣服の領域を取り出す。そして衣服の識別を行い、入力した画像、代謝量、空気温度、相対湿度、平均風速から PMV を推定する。

なお、衣服の総重量の推定値は

$$w = w_{\hat{i}} + w_{\hat{b}} + w_{\hat{n}} \quad (3.1)$$

とする。ここで、 $w_{\hat{i}}, w_{\hat{b}}, w_{\hat{n}}$ はそれぞれ上半身推定衣服の重量、下半身推定衣服の重量、下着の重量とし、下着の重量は本論では[9]でのデータの平均値である 83g とした。



図 2: 衣服 (上半身)



図 3: 衣服 (下半身)

3.2 画像特徴量, 識別方法

花田らの手法を利用して着衣量を推定するためには, 衣服の総重量が必要である. この総重量を推定するために衣服の重量と画像を予めデータベースに登録しておく. そして住宅内のカメラによる画像を用いて衣服を識別する. その結果を用いて着衣量

を推定する.

この推定を行うためには正確に衣服を識別することが必要となる. 本論では HOG 特徴量と色ヒストグラムを用いることにより識別を行う.

3.2.1 HOG

物体認識のためのgradient ベースの特徴量として, HOG [12]が提案されている. HOGではある一定領域に対する特徴量の記述を行う. そのため, 大まかな物体の形状を表すことが可能となる.

算出された輝度勾配画像をセルと呼ばれる小領域に分割し, 各領域においてヒストグラムを作成する. 勾配方向の角を9 方向になるよう量子化し, 各方向に強度を重みとして与える. すなわち, 1 セルあたり9 方向の勾配方向ヒストグラムができる.

次に輝度勾配ヒストグラムを正規化する. セルよりも大きな領域を1 ブロックとして正規化を行う.

正規化の際, ブロックはオーバーラップさせながら移動させる. つまり, セルのヒストグラムは異なるブロック領域によって繰り返し正規化されることになる. そのため得られた特徴ベクトルは, 照明や影の影響を受けにくく, 局所的な幾何学変化に頑健となる. 本研究では照明や影の影響に頑健なシステムを目標としているのでHOGは適しているといえる.

3.2.2 色ヒストグラム

HOG 特徴量はグレースケールでの輝度値変化を元に算出しているため, 形が似ているが, 色の異なる衣服間の識別が困難である. また, そのような衣服は少なくはないので無視することができない. そこで色の情報を利用する. 24bit カラー画像ファイルにおいて, ピクセルにおける RGB の値をそれぞれ r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} とおき集合を以下のように定義する.

$$V_{x,y,z} = \left\{ (i,j) \left| \begin{array}{l} 255x/n \leq r_{ij} < 255(x+1)/n \quad \cap \\ 255y/n \leq g_{ij} < 255(y+1)/n \quad \cap \\ 255z/n \leq b_{ij} < 255(z+1)/n \end{array} \right. \right\} \quad (3.2)$$

また,

$$h_i = n(V_{x,y,z}) \quad (i=0,1,2,\dots,n^3-1) \quad (3.3)$$

と定義する。ただしはそれぞれ i を n 進数にしたときの 3 桁目, 2 桁目, 1 桁目であり, $n(S)$ (S は集合) は S の要素の個数を表す。するとはもとの画像を n 階調に減色したときの各ピクセル値に対する RGB の組み合わせのヒストグラムとなる。

3.2.3 識別方法

本論では衣服を識別するために 3.2.1 節, 3.2.2 節で述べた HOG および色ヒストグラムを特徴量としたパターン認識問題を解く必要がある。そこで多クラス SVM を用いて学習および識別を行う。HOG, 色ヒストグラムにより得られた特徴量においてそれぞれ多クラス SVM により識別を行い, 多クラス SVM のスコアの和が最大になっている衣服を最終的な識別結果とする。これらの処理の流れのまとめを図 4 に示す。

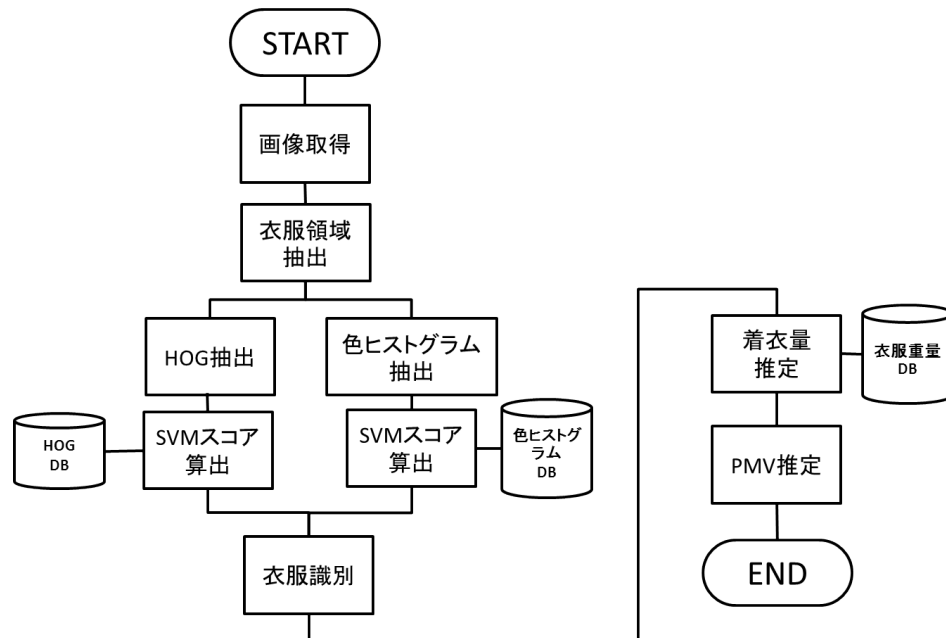


図 4: 処理フローチャート

4. 実験

本論の有効性を示すために, 衣服の識別実験ならびに PMV 推定値の算出実験を行った。なお, 本実験では空気温度, 相対湿度, 平均風速, 代謝量の値は既知とし, 人が静止している状態を仮定した。

4.1 データセット

Point GREY 社製の IEEE1394 のカメラ FL2-08S2C から得られた 1024×768 pixel の人の全身が写った画像に対し, 5 人の衣服の識別実験をそれぞれ行った。本実験では家庭環境を想定し, 5 人がそれぞれ 5 着~7 着持っている設定とした。具体的な衣服の数は表 2 のとおりである。ある被験者の衣服重量, 衣服画像を表 3, 表 4, 図 5, 図 6 に示す。なお, 予め学習用に各衣服につき 10 枚の画像データを用意した。

表 2: 衣服データ

被験者	衣服の数 (上半身)	衣服の数 (下半身)
1	7	5
2	7	7
3	7	5
4	7	5
5	7	5

表 3: 衣服重量データ (上半身)

衣服番号	1	2	3	4	5	6	7	平均	標準偏差
重量(g)	182	466	278	270	210	178	402	283.7	111.4

表 4: 衣服重量データ (下半身)

衣服番号	1	2	3	4	5	6	7	平均	標準偏差
重量(g)	684	242	304	224	550	730	398	447.4	208.8



図 5：衣服画像（上半身）



図 6：衣服画像（下半身）

4.2 衣服識別実験

4.1 節のデータセットを用いて 3.2 節の方法により衣服の識別実験を行った。識別の結果は表 5 のとおりである。

表 5：衣服識別率

被験者	衣服識別率（上半身）	衣服識別率（下半身）
1	0.931	0.387
2	0.997	0.849
3	0.988	0.433
4	0.838	0.660
5	0.813	0.411

上半身の着衣は精度よく識別されているものが多かった。これはズボンと比べて色や形など画像間の違いが大きいことに起因するのではないかと考えられる。一方、下半身の着衣の識別は見た目が似ているようなズボンもあり、識別のうまくいかないものも存在した。以上の識別結果を用いることにより識別された衣服の着衣量と真値の着衣量を比較し、RMS を計算した。その結果を表 6 に示す。

表 6：着衣量推定 RMS

被験者	着衣量 RMS
1	0.107
2	0.060
3	0.072
4	0.109
5	0.236

4.3 PMV の推定

本研究の目的は正しく PMV を推定することである。そこで、4.2 節での着衣量の推定誤差が PMV の推定にどれほどの影響を及ぼすかをシミュレーションにより調べた。

住宅内における PMV 値の絶対値が大きいと、室温が極端に低い、高いということが多く、エアコンの制御は室温を上げる、下げるなどの判断が明確にすることができるのであまり重要でない。そこで本実験では主に $-1.5 < PMV < 1.5$ を満たす PMV 値を正確に推定できているかどうかの実験を行った。実験条件を表 7 に示す。

表 7: 実験条件

実験条件	相対湿度 (%)	着衣量 (clo)	平均風速 (m/s)	代謝量 (met)	空気温度 (°C)	平均放射温度(°C)
1	30	1.2	0.1	1.5	15	15
2	30	1.2	0.1	1.0	20	20
3	30	0.7	0.1	1.0	25	25
4	30	0.7	0.1	1.0	30	30

これらの条件下で着衣量の推定誤差が PMV の推定に与える影響のグラフを図 7 に示す。

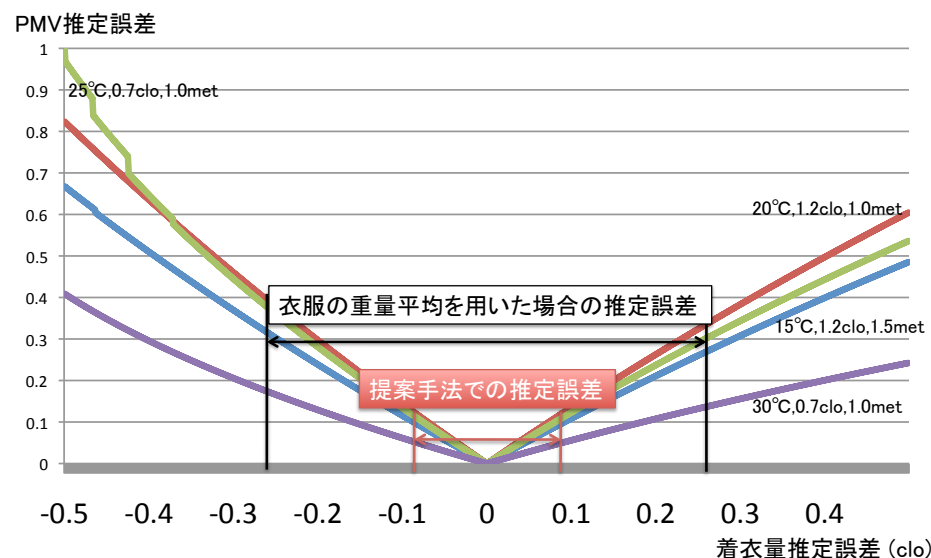


図 7: 着衣量の推定誤差と PMV の推定誤差の関係

図 7 のように衣服の重量平均を用いた場合と比べて提案手法では PMV の推定誤差が小さくなることが確認できた。なお、図 7 における提案手法の着衣量推定誤差は 5 人の実験の平均を用いた。

この計測方法の問題点は重ね着や下着等のカメラ画像には見えない部分の着衣や衣

服の重量の登録が必要となる場所が挙げられる。しかし、住宅内では比較的楽な格好をする人が多く、何着も重ねて着ることは少ないのでカメラ画像に見えない部分の着衣はそれほど差異がないとみなすことができる。また、本手法は 1 枚の画像において識別を決定させていたが、複数の画像を統合的に用いることにより着衣量推定の精度が上昇することが期待できる。

5. おわりに

本論では住宅における熱的快適性に着目し、熱的快適性の指標の一つである PMV 値を人の全身画像と簡易センサにより推定する方法を提案した。また、その方法を用いた推定実験を行った。

今後の課題は衣服の識別率をあげ、PMV の推定精度をあげることが挙げられる。衣服の識別のための特徴量は HOG と色ヒストグラムを用いたが色ヒストグラムは照明変化に弱いという弱点をもっている。それらの変化に頑健な特徴量の抽出が識別に重要ではないかと考えられる。また、衣服の登録の面倒さを解消するために衣服の重量の登録の必要性をなくすことがあげられる。半袖、長袖、厚手の生地等の分類をカメラ画像から行うことにより PMV の推定の利便性を上昇させたい。また、登録の必要を無くす方法として特徴量と着衣量の対応関係を学習することにより直接着衣量を推定する方法も考えられるが、大量の学習データが必要でありどのような特徴を用いると精度が上昇するかを判断するのが難しい。

今回は代謝量を固定にして推定を行ったが、カメラ画像により行動認識することにより代謝量の推定を行うことも今後の課題の一つである。自動的に人間側の情報である着衣量、代謝量を取得し、環境側の情報と合わせることで PMV をより精度よく計測することが可能になる。

謝辞

本研究の一部は、大和ハウス工業株式会社との共同研究による援助を受けた。

参考文献

- 1) T. Yamazaki: "Ubiquitous Home: Real-life Testbed for Home Context-Aware Service," First International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities (Tridentcom2005), pp. 54-59, Feb. 2005.
- 2) C. D. Kidd, R. Orr, G. D. Abowd, C. G. Atkeson, I. A. Essa, B. MacIntyre, E. D. Mynatt, T. Starner, and W. Newstetter: "The Aware Home: A Living Laboratory for Ubiquitous Computing Research," In Proceedings of Cooperative Buildings. Integrating Information, Organizations and Architecture, H. A. Streitz, J et al. eds., pp. 191-198, Vol. 1679, 1999.

- 3) T. Mori, H. Noguchi, A. Takada and T. Sato: "Sensing Room: Distributed Sensor Environment for Measurement of Human Daily Behavior," First International Workshop on Networked Sensing Systems (INSS2004), pp. 40-43, 2004.
- 4) S. Shafer, J. Krumm, B. Brumitt, B. Meyers, M. Czerwinski, and D. Robbins: "The New Easy Living Project at Microsoft Research," Proceedings of the 1998 DARPA /NIST Smart Spaces Workshop, pp.127-130 (1998)
- 5) ISO7730:2005(E): Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, ISO, 2005.
- 6) 井尻良, 吉田陽, 洪子泉: "着衣量測定装置および着衣量計測方法", 特開平8-105851
- 7) S. Kiyooki, M. Shinichi: "A Study on an Action Recognition from 2-Dimensional Images," ITE Technical Report 27(9), pp. 59-64, Feb. 2003.
- 8) Han Xian-Hua, Chen Yen-Wei, Ruan Xiang: "Multi-class Object Recognition by Fusion of Image Descriptors: Classification Evaluation of PASCAL VOC Challenge Database," Technical report of IEICE. PRMU 109(306), pp. 103-108, Nov. 2009.
- 9) 花田嘉代子, 三平和雄, 佐藤由美: "男子用下着類の熱抵抗の計測に関する研究", 繊維製品消費科学会誌, Vol.24, No. 8, pp. 31-35, 1981
- 10) D. G. Lowe: "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints," Journal of Computer Vision, Vol. 60, No. 2, pp. 91-110, 2004.
- 11) T. Okumura, T. Takiguch, Y. Ariki: "Generic Object Recognition using CRF by Incorporating BoF as Global Features," International Multimedia, Information Technology and its Applications (MITA2009), pp. 49-52, Oct. 2009.
- 12) N.Dalal and B.Triggs, "Histograms of Oriented Gradients for Human Detection," In Proc. of IEEE Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR2005), Vol. 1, pp. 886-893, 2005.