解説

体感温度を制御するエアコン

Air Conditioner Controlling Temperatures We Feel

三輪 祥太郎* 渡邊 信太郎* 平位 隆史* 松本 崇*

*三菱電機 (株)

Shotaro Miwa*, Shintaro Watanabe*, Takashi Hirai* and Takashi Matsumoto*

*Mitsubishi Electric Corp.

1. はじめに

現在, 国内家庭用ルームエアコンの年間需要は 800 万台前後であり, 家庭内で使用される電力消費量のうちエアコンの占める割合は, 夏季で約半分, 冬季で約 30%と最も電力消費量が多い電化製品となっている。地球温暖化の防止だけでなく, 日本では電力安定確保のためにも, エアコンの消費電力削減は重要課題である。

従来のエアコンは, エアコン本体に内蔵された温度センサが, 部屋の天井付近の温度を検知して, その温度に基づき自動運転を行っていた。しかし, 人が居るのは床付近であり, 温かい空気は天井付近に, 冷たい空気は床付近に溜まりやすいため, 冷房時は冷やし過ぎ, 暖房時は温まりにくいという問題が起こっていた。

当社は, 10 年以上前から室内に居る人の「体感温度」をコントロールすることにより, ムダのない快適な空調を実現できるという信念に基づき, ルームエアコン霧ヶ峰のセンシング技術の開発を行ってきた。本稿では, センシング技術の要となっている体感温度をセンシングするための温度センサであるムーブアイと, これを応用した熱画像処理技術について報告する。

2. ムーブアイ

霧ヶ峰では, 室内に居る人の「体感温度」を計測するため, 業界初, サーモパイルセンサという物体の放射する熱を遠隔で計測する赤外線センサを温度センサとして 2001 年に採用し, その後, 2005 年に左右首振り機構にセンサを載せた「ムーブアイ」, 2007 年に多素子サーモパイルセンサを用いた「人感ムーブアイ」, そして 2013 年には, 従来比 4 倍解像度の 32 素子サーモパイルセンサ「ムーブアイ極」へと進化させた。

「ムーブアイ極」は, 32 個のサーモパイルセンサを縦に並べたライン状のセンサを用いて, 左右方向に片道 94 ス

テップ, 38 秒で首振りさせることで, 視野角 160° で室内の 3,008 点という詳細な温度分布データを取得するセンサであり, この温度分布データを解析することにより, 床・壁の位置と表面温度, ドア・窓の位置や開閉状況, 窓からの日射, 天井付近の熱溜まり, 室内にいる人の位置, 活動量, さらに人の手足などの個別部位の温度などを検知できる。

霧ヶ峰では, これらの情報を用いて人が実際に感じる体感温度を推測し, それに基づき制御を行うことにより, 自動的に使用環境に合わせて省エネルギー性と快適性を両立する空調を実現する。

次章以降では, 人感ムーブアイ搭載以降の製品にフォーカスし, その進化について紹介する。

3. ムーブアイと熱画像処理の進化

ムーブアイの代表的な進化としては, 部屋の中の人を検知する“人感ムーブアイ (2007)”, 人の生活エリアを検知する“新・人感ムーブアイ (2008)”, 部屋の間取りを検知する“ムーブアイ Fit (2009)”, 人の動きを検知する“3D ムーブアイ Navi (2011)”, 人の手足といった部位の温度を検知する“ムーブアイ極 (2013)”があげられる。本章では, 各ムーブアイについてセンサとその熱画像処理手法について述べる。

3.1 人感ムーブアイ (2007)

人の本来エアコンに必要とされるのは「人の居る場所の温度」の調節であり, 「人の居る場所」を知ることで, 余分な消費エネルギーを抑制できる, という考えのもと, ルームエアコンに人の位置を検知する多素子サーモパイルセンサを, 世界で初めて搭載したのが人感ムーブアイである。

3.1.1 人の位置検知

人感ムーブアイにより, 38 秒に一度, 室内の温度分布データを取得し, その時系列データから, 背景に比べて温度上昇している部分を, 図 1 に示すように, その上昇幅のしきい値処理にて人の領域として検知する。この方式にて, 室温 28°C 以下のとき人感ムーブアイから距離 6 [m] までの人を検知できる。

人の位置が分かれば, 人の位置以外の空調はムダであるため, 図 2 に示すように, 人を狙った空調制御を行うこと

原稿受付 2014 年 2 月 7 日

キーワード: Air Conditioner, Heat Signature, Human Sensing

*〒100-8310 千代田区丸の内 2-7-3

*Chiyoda-ku, Tokyo

図1 人感ムーブアイ (2007) —温度分布データからの人体検知—

図2 人の位置に基づく空調制御

図3 新・人感ムーブアイ (2008)

で、快適かつ省エネな空調を実現できる。

3.2 新・人感ムーブアイ (2008)

人の位置精度を改善し、その位置履歴に基づいて、人の活動量と生活エリアを推定し、よりきめ細かい空調制御を実現するモデルである。また、検知した生活エリアのみを効率良く空調することによりムダをなくし省エネ性能を改善した。図3に示すように、本モデルでは、前年モデルに比べ人の位置の性能改善機能、活動量検知機能、生活エリア検知機能を新たに搭載した。次節以降で、これらの機能の詳細を述べる。

3.2.1 人の奥行き方向の位置の改善

エアコンの高さから俯瞰したとき、エアコンから人体までの距離は人体と床面との接点である足部の位置により推定できる。しかし、人体からの放射温度は着衣などの影響で、頭は高温に、足は低温に観測される傾向があり、単純なしきい値処理では足を見落とす可能性が高い。そこで、高温な人体頭部との隣接関係により人体足部とセンサノイズを区別するという考えに基づいて、足を見逃さずセンサノイズに強い人体検知方式を開発した。これにより、エアコンから人体までの距離を正確に計測可能になり、人体位置の履歴を解析が可能となる。

3.2.2 人の活動量の検知

人の位置の短期間の人体検知位置の履歴を用いることにより、人の滞留時間の大小から活動量を推定する機能を開発した。これにより、家事などで活動が多いときは低温に、じっとしているときは高温に室温を調整することにより省エネ性能を向上できる。

3.2.3 生活エリアの検知

生活エリアとは人が行動する範囲のことで、検知した生活エリアのみを効率良く空調することによりムダをなくし省エネ性能を向上できる。生活エリアは、人体検知位置の履歴を長期間累積することにより検知する。

図4 ムーブアイ Fit (2009)

3.3 ムーブアイ Fit (2009)

部屋の形状を検知し、床、壁、窓などからの輻射熱も考慮し、一人ひとりの体感温度を精緻に検知することで、更なる省エネ性能改善を実現したモデルである。

新・人感ムーブアイ (2008) では、人の動きまわるエリア (生活エリア) 以外の部屋の壁や窓の位置を正しく求めることはできない。それに対し本モデルでは、暖房時の温度ムラを用いた床壁境界検知機能を新たに搭載した。これにより、求めた床壁境界に基づき図4のように壁や窓からの輻射熱を考慮し、一人ひとりの体感温度計測の高精度化を実現した。

3.3.1 暖房時の温度ムラを用いた床壁境界検知

暖房運転時、風向を下向きにして床を集中的に暖める制御を行うため、通常先に床が暖まりその後壁が暖まるという時間差が生じる。そこで暖房運転開始から一定時間内の部屋の温度分布から床と壁の温度の境目を検知することに

図5 暖房時の温度ムラを用いた床壁境界検知

図6 3D ムーブアイ (2011)

より床壁境界を検知する機能を開発した(図5)。床壁境界は、温度分布から部屋の奥行き方向の温度変化を測定して最も変化が大きい位置(二次微分値が最大の位置)を検知する。

3.4 3D ムーブアイ Navi (2011)

部屋の天井までの温度分布を考慮した空調制御、人の姿勢を考慮した体感温度計測による空調制御を実現したモデルである。

人の体感温度とかかわりの深い運動強度を概算するための人体の姿勢認識機能と、風向制御の位置基準となる顔と足の位置検知機能を新たに搭載した。

3.4.1 姿勢検知

図6に説明図を示す。人領域の熱分布パターンから得られる特徴量を用いて、識別空間にてクラス分類することにより、立位、座位、臥位の姿勢を認識する。そして、その熱分布の偏りから顔、足の位置を検知する。

3.5 ムーブアイ極 (2013)

人の手足の正確な位置を検出し、これにより手足の温度計測を可能とすることで、体感温度の正確な計測による空調制御を実現したモデルである。

ムーブアイ極以前のムーブアイは、8素子からなる多素子

図7 ムーブアイ極 (熱画像)

図8 姿勢推定および部位検知結果：姿勢推定結果(左)、部位検知結果(右)

図9 気流制御との組み合わせ

サーモパイルセンサを用いており、横方向94ステップに対して垂直方向の解像度不足から手足といった体の部位の正確な検知を行うことが困難であった。このため、人の姿勢についても手足を区別した正確な姿勢認識が困難であった。これに対して、ムーブアイ極では、従来の4倍に高密度化した32素子サーモパイルセンサを用いることで、3,008点という高い空間解像度を可能とし、手足を含めた人の正確な姿勢を熱画像としてとらえることが可能となった(図7)。

3.5.1 姿勢推定および部位検知

人の熱画像は、大きくは衣服を着ている体中心領域と、それ以外の部位領域(顔・手・足)とに2別化できる。すなわち、顔・手・足はそれぞれ体中心に対して温度の高い局所隣接領域として観測される。この現象を利用して、熱画像から手足といった個別部位を求める際には、人の領域を検出したのち、熱画像から人の姿勢のスケルトンモデルを推定し(図8)、この推定姿勢情報を用いて姿勢モデルの端点近傍から手足の正確な位置を推定し、この推定位置の温度を求めることで、顔・手・足といった個別部位の体感温度が検知できる。

一方、エアコンとしては、このような高精度なセンシング情報を活用した機能として、手足の冷えを検出した際に、温かい気流を直接届けて温めることを可能としている(図9)。このような機能の実現には、細かい気流制御が必要であり、フラップ形状を改良した匠フラップが新規に開発され、本モデルに搭載されている。

4. お わ り に

当社がこれまで10年以上にわたり開発を行ってきた人の「体感温度」をコントロールするエアコン実現のために行ってきた温度センサと熱画像処理技術について述べた。体感温度をセンシングし、体感温度を制御することで、省エネルギーと快適な空調との双方を実現することが可能となった。近年は、省エネルギーの面が大きくクローズアップさ

れているが、今後もユーザの快適性を犠牲にしない快適かつ省エネなエアコン実現のため、センサの開発、および信号処理技術の開発を行っていくつもりである。

参 考 文 献

- [1] 渡邊, 松本: “省エネルギーと快適性を両立させるルームエアコン霧ヶ峰“人感ムーブアイ””, 三菱電機技報, vol.87, no.6, pp.19-22, 2013.

三輪祥太郎 (Shotaro Miwa)

1991年東京大学工学部電気電子工学科卒業。同年三菱電機(株)入社。現在同社先端技術総合研究所に勤務。画像認識・学習理論とその応用システムの研究開発に従事。博士(工学)。情報処理学会会員。

渡邊信太郎 (Shintaro Watanabe)

1999年京都大学工学部電気電子工学科卒業。2001年同大学院情報学研究科修士課程修了。同年三菱電機(株)入社。現在同社先端技術総合研究所に勤務。画像処理技術とその応用システムの研究開発に従事。情報処理学会会員。

平位隆史 (Takashi Hirai)

1989年3月京都大学大学院工学研究科数理工学専攻博士後期課程研究指導認定退学。同年三菱電機(株)入社。現在同社先端技術総合研究所に勤務。セキュリティシステム、設備診断システム、計測システムの研究開発に従事。博士(工学)。電気学会会員。

松本 崇 (Takashi Matsumoto)

1997年芝浦工業大学大学院機械工学研究科修士課程修了。同年三菱電機(株)入社。現在同社静岡製作所に勤務。ルームエアコンの企画・開発に従事。