

遠赤外線画像を用いた室内単独行動時における異常検出

○青木正喜

成蹊大学 理工学部 情報科学科 〒180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺北町 3-3-1
E-mail: masa@st.seikei.ac.jp

概要: 室内で単独行動中に発生する異常事態は、発見が遅れ重大な結果を招く可能性が大である。適切な処置のためには早期発見、早期連絡が重要である。本論文では、固定遠赤外線カメラ画像により室内の人間を撮影し、人間の検出・追跡による異常の検出について述べる。人間はピーク波長 $10\mu\text{m}$ 前後の遠赤外線を放射している。遠赤外線カメラ画像は、環境可視光の影響を受け難く、基本的な背景差分により人間検出が安定して行える。室内での行動、デスクワーク、浴室での行動、自動車の運転、外部から室内への侵入の5シーンを対象として、提案手法を適用し、有効性を示した。

An incident detection for indoor activities of independent person through far infrared imaging

○Masayoshi Aoki

Department of Computer and Information Science, Faculty of Science and Technology,
Seikei University, Tokyo, Japan

Abstract: An incident for indoor activities of independent person has a potential risk not to be found for some time. To save lives and give timely treatments, it is very important to detect such situation as early as possible. In this paper we propose an indoor scene analyzing system to detect incidents or hazardous situations of one person's independent activities. We utilize far infrared image sequences obtained from fixed position camera with a fixed line of sight direction. Human area candidates detected by background subtraction are tracked in image sequence. We detect an incident using shape and motion cue, such as head and body relative position, sudden jerky motion or very little motion. Through preliminary experiments, we are convinced that the proposed system is very promising. We will show some experimental results to show the feasibility of the proposed system.

1. はじめに

単独行動に関して、山歩き、スキー、海や川での水泳、ボート、交通流の少ない場所での自動車運転等の比較的非常的な状

況における潜在的な危険性は、広く認識されている。これらの状況において、他人の援助が得られないことは当然であるが、最大の問題は何らかの異常・事故が発生した

場合に発見されず、救助・救援が遅れ大事に至る可能性が非常に高い点にある。これに対し、日常的な状況における同様な危険性の存在に関しては認識がそれほど高くない。日常的な典型的状況は部屋の中に一人である場合である。個室のオフィスにおけるデスクワークは危険性が低いと思われがちであるが、何らかの脳血管障害や心臓発作が発生した場合に発見が遅れる可能性が高い。これらの状況においては、一刻も早い発見と早期治療が重要である。例えば、tPA^{注)}による治療は発症から3時間以内であれば、回復率が高い。夜のオフィスで一人で残業している状況は個室と同じである。家庭内においても部屋の中、家の中に一人である状況は多く発生すると考えられる。最近では、高齢化に伴い独居高齢者の異常発見が遅れ、手遅れとなった事例が多く報道されるようになってきている。単独行動という観点からは、浴室は一般に一人で利用し、家庭内事故として入浴中の事故が多いとの報告もある。また車の運転も同乗者が居ない場合には単独行動であり、異常が発生した場合には、他車を巻き込んだ事故となる可能性が高い。

人間における何らかの脳血管障害や心臓発作等の異常発見手段として第一に考えられるのは、何らかの生体信号を常時測定(モニタ)することである。生体信号を人体から直接測定するためには、ウェアラブルな接触型システムが必要となる。あらかじめ病気の危険性が高いことが予測される場合には、このようなシステムを用いて24時間の連続測定・記録が行われている。しかし

接触型システムの装着は煩わしく、装着者への制約もあり、予防手段として一般の健康者に適用することは困難である。通常の高齢者を被験者に確保した上で、行動の異常を発見するためには非接触のシステムが不可欠である。部屋の中における行動に限定すれば、画像を用いた異常検出システムが考えられる。画像システムとしては、撮像に用いる波長領域が重要である。波長領域として可視光を使用する通常のカメラでは、画像が環境光の影響を大きく受け、また衣服による人間と周囲との差異が微妙であり、人間の検出自体が画像処理としては非常に困難である。本研究では、環境光の影響を受け難い遠赤外線の利用を提案する。

遠赤外線は反射光を利用する可視光とは異なり、絶対0度でない物体自体から放射される長波長の光であり、環境可視光の影響を受け難い。単体の遠赤外線センサは、人感センサとして照明の自動スイッチや人間が近づくことを検出して機器を起動させる用途等に広く実用化されている。二次元の遠赤外線センサの出力である遠赤外線画像は、温度画像(thermal image)とも呼ばれ、基本的には二次元の温度の分布を表す。人間の温度が周囲の温度より高い場合には、良好なコントラストが得られ、温度差を用いることで比較的簡単なアルゴリズムにより人間の検出が行える。この場合に、人間の着衣の模様等の影響は受けない。遠赤外線画像の応用としては、車載遠赤外線カメラを用いての歩行者検出が研究されており、一部実用化されている。二次元の温度計測としては、工業用に広く利用されている。

本研究では、室内で単独行動をしている人間の異常検出への遠赤外線画像の適用を

注) tPA: tissue plasminogen activator
組織プラスミノゲン活性化物質

提案する。遠赤外線画像から人間を検出し、その形状・姿勢・動きから総合的に異常の判定を行う。カメラを固定し、背景差分を基本とした手法により人間を検出する。検出された人間候補領域から、検出した頭部と、身体全体との位置関係を姿勢判断の一つの指標とする。頭部に関してはテンプレートを更新しながらテンプレートマッチングを適用し追跡を行う。デスクワークに関しては、腕の形状にも着目する。運転者に関しては、ガラスのレンズが遠赤外線を透過しないことを利用し、眼鏡着用者に関して、眼鏡の検出とその追跡から、顔の向きの判断を行う。移動中に倒れ込む現象に関しては、二次元の人間領域を正規化し、時間軸方向も含めた3次元の異常モデルを想定し、時間軸方向の伸縮を吸収するDPマッチングを適用する。対象とするシーンとしては、部屋の中での移動、デスクワーク、運転作業、浴室での行動、外部から部屋への侵入の5種類について、遠赤外線画像を撮影し、提案したアルゴリズムを適用し、室内で単独行動をしている人間の異常検出への遠赤外線画像利用の有効性を示した。

2. 赤外線

赤外線は、可視光の波長領域 $0.4\mu\text{m}$ ～ $0.75\mu\text{m}$ より波長の長い $0.75\mu\text{m}$ ～ 1mm の波長領域の電磁波である。この広い波長領域は、例えば近赤外 ($0.75\mu\text{m}$ ～ $3\mu\text{m}$)、中赤外 ($3\mu\text{m}$ ～ $7\mu\text{m}$)、遠赤外 ($7\mu\text{m}$ ～ 1mm) の3つに区分される。遠赤外は英語では FIR: Far Infrared または LWIR: Long-wave Infrared の用語が使われる。この中で、近赤外の可視光に近い波長領域と遠赤外の $10\mu\text{m}$ 前後の波長領域の実用化が進んでい

る。

近赤外線は可視光に近い性質を有しており、通常のレンズが使用でき、赤外線フィルムと赤外フィルタを用い、ヘイズの影響を減らした鮮明な白黒山岳写真の撮影が可能である。ビデオカメラの半導体撮像素子は近赤外領域に感度を有し、近赤外線を用いた歩行者検出が実用化されている。近赤外線は可視光と同様に反射光を検出しているため、夜間や室内ではLED等を用いた近赤外線照明を必要とする。

遠赤外線は物体の温度によって物体自体から放射される熱輻射であり、物体の温度を絶対温度 T [K]で表すとピーク波長は次式のウィーンの変位則に従う。

$$\lambda_{\text{max}}=2898/T [\mu\text{m}]$$

常温付近に対応するピーク波長は $10\mu\text{m}$ 前後であり、人間の体温に対応するピーク波長は約 $10\mu\text{m}$ である。遠赤外線の利用波長領域としては $8\mu\text{m}$ ～ $12\mu\text{m}$ が一般的である。遠赤外線は大気中の分子により吸収されるが、 $8\mu\text{m}$ ～ $12\mu\text{m}$ の波長領域は吸収の少ない「大気の窓」となっており、大気を通しての撮影が可能である。近赤外線はガラスを透過するが、遠赤外線はガラスを透過しないため、レンズの材料としてはゲルマニウムが用いられる。

この波長領域の撮像には、熱雑音を減らすために冷却型センサが用いられ、大型で高価格であった。近年微細加工技術の進展により非冷却型 (uncooled) の熱型センサの使用が可能となり、低価格で高性能のカメラが実現し、車載遠赤外線カメラを用いた歩行者検出装置が市販車に導入されており、画素数 320×240 のカメラが市販されており、画素数 640×480 のカメラも開発され、

通常の可視カメラと同程度の解像度の高精度な画像を得ることが可能である。

遠赤外線画像は環境可視光の影響を受け難く、人間自体は昼夜に関係なく照明不要で安定した画像として得られ、人間の検出に有効である。特に人間の温度が周囲よりも高温であれば、高いコントラストが得られ、簡単なアルゴリズムにより人間の検出が行える。可視光の環境光は、遠赤外線画像に直接的な影響を及ぼすことは少ないが、周囲環境の温度を上昇させることにより間接的に影響を及ぼすため、屋外の同一場面で昼夜同一の画像が得られる訳ではない。特に夏では周囲環境の温度が人間よりも高くなる極性反転 (polarity change) が発生する可能性が高い。遠赤外線よりも波長の長い電波の波長領域での撮像も試みられており、障害物の反対側もある程度まで画像として捉えることが期待されている。

3. アルゴリズム

遠赤外線画像は上述のような特徴を持っている。遠赤外線画像を用いた室内単独行動時における異常検出として、各フレームにおける人間検出とその時間的経過の利用 (テンプレートマッチングを用いた追跡も含める) と、時間軸を取り込んだ 3 次元 (xy-t) モデルの当てはめを試みた。カメラを固定し人間の温度が周囲より高く、かつ温度差が十分にあると仮定する。画像に適用する各種処理としては、背景差分、2 値化、連結成分検出 (外接長方形、中心、重心)、テンプレートマッチング等の個々の標準的手法を組み合わせて人間候補領域の検出、身体の部分の検出に用いた。

3.1 各フレームでの処理とその応用

3.1.1 頭と胴体の検出

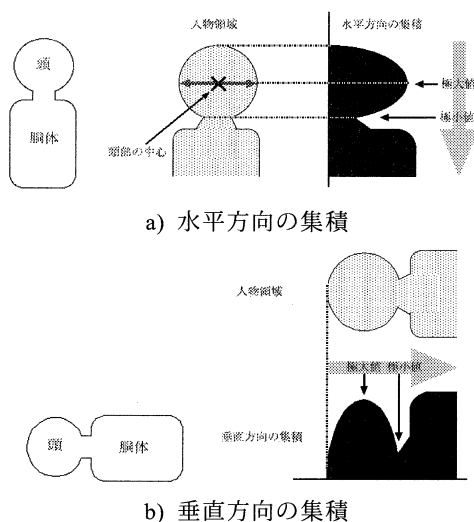


図 1. 頭部検出

頭と胴体の位置関係は状況の判断にとって重要である。まずは頭が胴体の上にあると仮定し水平方向の集積を図 1a に示すように上から調べ、極大値の位置を頭の上下方向の中心、極小値の位置を首の上下方向の中心、首より下を胴体とする。頭の中心位置の横幅を頭の大きさとする。垂直方向の集積を図 1b のように横方向に調べ、人間が横位置の場合に対処する。この場合左右両方向から調べる。頭部の検出には、テンプレートマッチングも適用した。

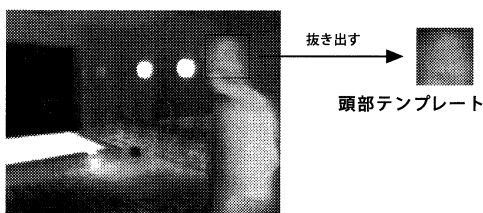


図 2. 頭部検出テンプレート

図 2 に示すように、あるフレームで検出

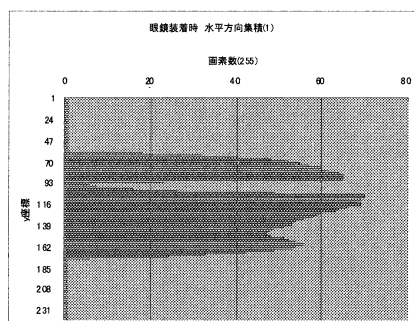
された頭部の多値画像を切り出してテンプレートとしテンプレートマッチングを行う。マッチングにより検出された頭部を新たなテンプレートとして更新する。この手法により検出された頭と胴体の位置関係から、頭の位置が胴体重心の上部に位置している場合を正常、この条件を満たさない場合を異常と判断する。またこれらの位置の時間的変化についても、正常・異常の判断の補助情報として用いる。

3.1.2 眼鏡の検出

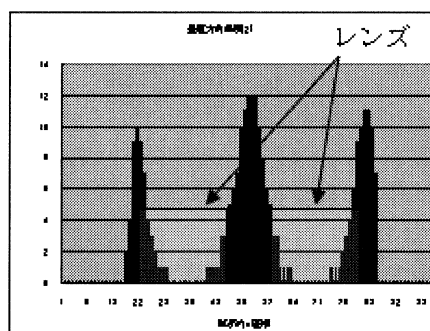
グレイスケールのテンプレートを用いて追跡した頭部（顔領域）を図3に示すように2値化する。2値化の結果、顔領域を1とすれば、眼鏡は遠赤外線を透過しないため、眼鏡領域は0となる。まず2値化結果の横方向の集積から、図4aに示すように1の画素の少ない眼鏡候補領域を、横長の長方形をして切り出す。次にこの長方形領域の縦方向の集積から、図4bに示すように1の画素の少ないレンズ候補領域からレンズ領域を包含する長方形を切り出す。正面を向いている2値のテンプレートを用いて、顔の向きの判断の補助とする。



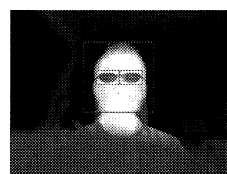
図3. 原画像と差分2値画像



a) 2値化結果の横方向の集積



b) 長方形領域(眼鏡候補領域)の縦方向の集積



c) 顔領域と眼鏡の検出結果

図4. 眼鏡検出

3.1.3 侵入者の検出

窓の位置はあらかじめわかっているため、図5に示すように窓の開閉の検出を追加する。

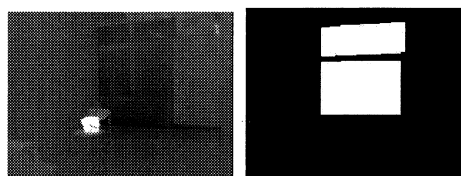


図5. 元画像と窓のマスク

3.1.4 デスクワーク中の姿勢

デスクワーク中の姿勢検出のために、図 6 に示すモデルを導入する。

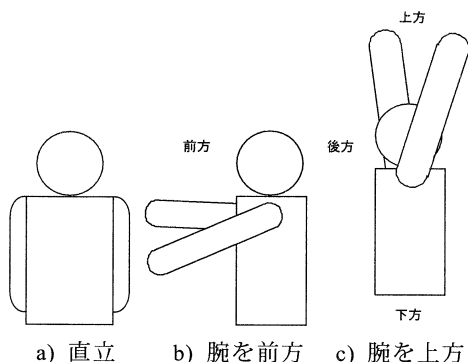


図 6. デスクワーク中の姿勢

3.2 3次元 (xy-t) モデル

異常事態として、人間が倒れる場合の人体の動きの直接検出を目的として、画像の時系列を 3 次元 (xy-t) 空間内でのマッチングを行う。人間が倒れる典型的なシーンにおいて、各フレームで人間領域を検出し、この領域を正方形に正規化し、図 7 に示すように人間が倒れるシーンのモデルとする。検出対象の画像時系列においても、同様に各フレームで人間領域を検出し、この領域を正方形に正規化する。マッチングは正規化したモデルと対象画像のフレーム間で類似度を計算する。フレーム間の類似度としては正規化画像をベクトルとして次式を適用する。

$$\cos \theta = \frac{(\overline{A}, \overline{B})}{|\overline{A}| |\overline{B}|}$$

where,

$|\overline{A}| = (a_{11}, a_{12}, \dots, a_{2020})$: 対象

$|\overline{B}| = (b_{11}, b_{12}, \dots, b_{2020})$: モデル

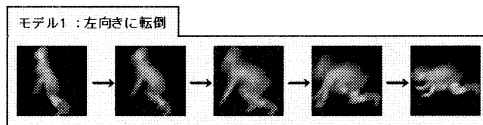


図 7. 人間が倒れるシーンのモデル

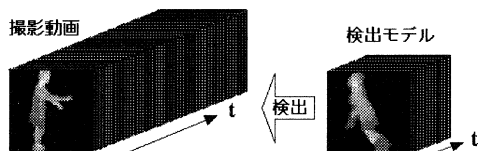


図 8. 撮影動画と検出モデルの比較

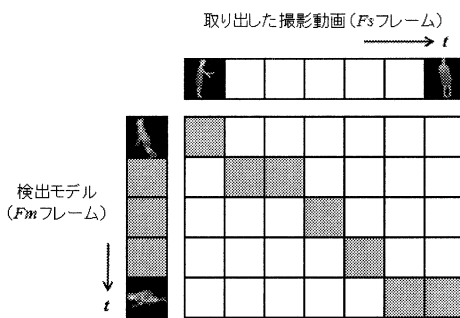


図 9. 撮影動画と検出モデルの比較 (DP マッチング)

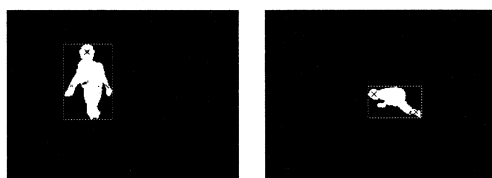
図 8 に示すように、時間軸に関しては伸縮の可能性が存在する。時間軸方向の伸縮に対応する方策として、図 9 に示すように左上を始点とし、右下を目的地とする最適経路問題に置換して等価的に DP マッチングを行う。

4. 実験結果

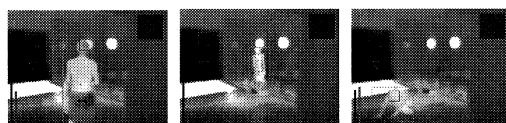
4.1 各フレームでの処理とその応用

室内を歩行中の転倒を、頭の位置と体の位置関係により正常と判断 (図 10a)、異常と判断 (図 10b) した例を示す。同様にして浴室で浴槽の外にいる人間を正常と判断 (図 11a, b)、異常と判断 (図 11c) した

例を示す。窓の開閉検出と侵入者の検出を図 12a-図 12c に示す。眼鏡の検出を用いた運転者の顔の向きを検出の例を図 13a-図 13c に示す。図 14 にデスクワーク中の異常検出の例を示す。これらの例により、遠赤外線を室内での単独行動の解析に使用しうる可能性を示した。



a) 正常時 b) 異常時
図 10. 歩行時の異常検出 (室内)



a) 正常時-1 b) 正常時-2 c) 異常時
図 11. 歩行時の異常検出 (浴室内)



a) 侵入 b) 物色 c) 退去
図 12. 窓の検出と侵入者の検出



a) 右向き b) 前方視 c) 左向き
図 13. 運転者の顔の向きの検出



a) 作業中 b) 背伸び c) うつ伏せ
図 14. デスクワーク中の異常

4.2 3次元 (xy-t) モデル

歩行中に左向きに転倒するケースと右向きに転倒するケースに対応する2つのモデルを用意した。画像は 20×20 に正規化し、モデルとしてそれぞれのケースに 30 フレームを割り当てた。これを別に撮影した歩行中左向きに転倒するシーンと 3 次元 (xy-t) の DP マッチングを行った。結果は図 15a, b に示すように、左向きに転倒するモデルとのマッチングが大きく、左右に転倒する二つのケースのモデルが識別された。



q1: 起立時に左向きに転倒



q2: 着席時に左向きに倒れ込み



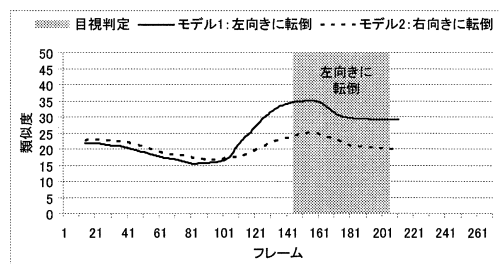
q3: 起立時に右向きに転倒



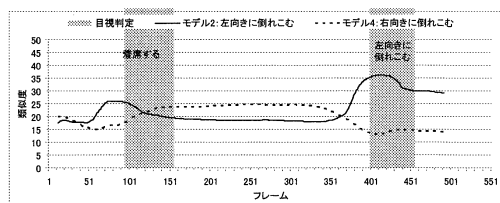
q4: 着席時に右向きに倒れ込み

図 15a. 4 種の検出モデル

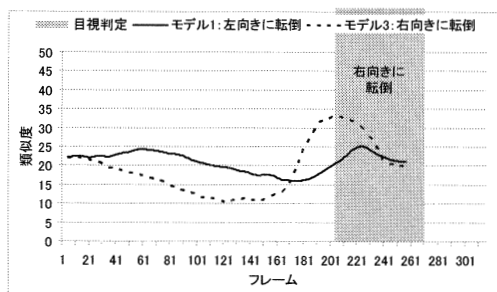
(q1~q4 とも 1, 6, 11, 21, 26 frame の検出モデル)



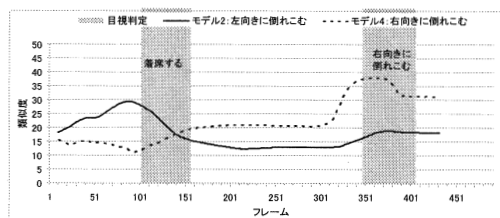
q1: 歩行中に左向きに転倒するシーン



q2: 着席後、左向きに倒れ込むシーン



q3: 歩行中に右向きに転倒するシーン



q4: 着席後、右向きに倒れ込むシーン

図 15b. マッチング結果

結論・検討

本論文では遠赤外線画像の利用が、部屋の中で単独行動をしている人間の異常検出に有効である可能性を示した。部屋の中に限定したことで、人間の検出に適した条件が設定されている。実用化により、異常の早期発見が可能となり、救助への寄与が期待される。本研究は異常発見の可能性を示した予備的な研究段階であり、実用化へ向けては検出アルゴリズムの精緻化の他にもいくつかの課題がある。

画像自体に関しては、浴室において浴槽外の人間には遠赤外線は有効と考えられるが、人間が浴槽の中に入った場合には、極性反転や融け込みが発生し人間検出が機能しない可能性が大である。デスクワークにおいては、突っ伏しての仮眠と異常は姿勢の違いが微妙で判断が困難である。これら

の例からも分かるように遠赤外線単独で全ての状況に対応させることは困難であり、他のセンサーとのセンサーフュージョンが必要になると考えられる。

別の大きな問題は、人間側の受け入れの温度差である。このような異常検出システムはプライバシーの問題とも密接な関係がある。監視されるという点に関しては、比較的抵抗感の少ない人もいれば、強い抵抗感を示す人もいる。これは、個人の価値観に依存し、どのへんで妥協するかは文化の問題でもあり、時代とともに変化する。異常検出システムの開発を正式に提案したところ、受け入れ側の論理から受け入れられなかった事例もある。安全との兼ね合いに関し、当事者の合意が不可欠である。

謝辞

本研究は、成蹊大学ハイテクリサーチセンタのプロジェクトの一環として行ったものである。

文献

青木正喜、安田 昇 “遠赤外線カメラを用いた歩行者検出”, 情報処理学会論文誌, コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol.47, No.SIG5 (CVIM13), pp.1-9, Jan. 2006

岩井儀雄、日浦慎作、新井健夫 “画像処理による安心・安全空間の構築”, 情報処理学会論文誌, コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol.48, No.SIG1 (CVIM17), pp.12-23, Feb. 2007

James W. Davis Vinay Sharma, “Robust Background-Subtraction for Person Detection in Thermal Imagery”, 1st Joint IEEE Int'l Workshop on Object Tracking and Classification Beyond the Visible Spectrum (OTCBVS' 04), Washington, D. C., JUN 27 - JUL 2, 2004

Shinko Y. Cheng, Sangho Park, Mohan M. Trivedi: “Multiperspective Thermal IR and Video Arrays for 3D Body Tracking and Driver Activity Analysis”, 2nd Joint IEEE Int'l Workshop on Object Tracking and Classification Beyond the Visible Spectrum (OTCBVS' 05), San Diego, CA JUN 20, 2005

M. Kitazume, S. Katahara and M. Aoki, “An incident detection for indoor activities of independent person through far infrared imaging”, ISMICT2009, 24-26 Feb. 2009 (printing)