

# カメラを用いた廊下見守りシステムの開発

窪田 直樹 平湯 秀和

## Development of Safety Passage System Using Camera

Naoki KUBOTA Hidekazu HIRAYU

**あらまし** 近年、転倒や浴室での溺死など、屋内事故に起因する死者の数が、交通事故による死者の数を上回っている。高齢化が進む中で、事故の件数も増えているが、これらの事故の中には、早期に発見すれば死に至らなかったケースが多く含まれる。本研究では、廊下での転倒事故の発見を目的とし、カメラを用いた廊下見守りシステムに必要なアルゴリズムの開発と実験を行ったので報告する。

**キーワード** 画像センシング, CHLAC, 見守りシステム

### 1. はじめに

近年、一人暮らしの老人が誰にも看取られること無く死亡する「孤独死」という言葉がマスコミに取り上げられるようになった。孤独死は、定義が曖昧であることや直接の死因(病死、事故等)では無いことから全国的な統計が取られていないが、阪神淡路大震災復興住宅では震災後10年間に600人余りが死後に発見されている。また、国内の死亡事故のうち、転倒や浴室での溺死など屋内事故による死者の数は、交通事故による死者の数を上回っている<sup>[1]</sup>。これらの死亡事故の大半は、老人の一人暮らし、または家族や介護者が留守の間に発生しており、早期発見ができていれば死に至らなかったと思われるケースも多く含まれている。このような事態は、家族との同居や介護サービスの充実が進めば減少すると考えられるが、核家族化、少子高齢化が進む現状では困難である。一方、一人暮らしでも炊事・洗濯などの日常生活には支障がない老人も多い。これらの老人に対しては、事故が起きたときだけ手助けがあれば致命的な事故を避けることができると考えられる。

このような背景から、一人暮らしの老人向け見守りシステムが開発され徐々に普及し始めている。既存の見守りシステムは、通報の方法から大きく二つに分けられる。一つは、事故発生時に老人自身がボタンを押すことなどで介護者に通報するシステムであり、もう一つは、日常生活時の電気やガスの使用状況を定期的に介護者に通報するシステムである。しかし、前者は、突然の発作や、装置を離れていたところに置いていたなどの理由でボタンを押すことができないことがある。また、後者については、電気やガスの使用と事故の発生が直接関係してはならないため、事故発生後早期に発見することができないなどの問題点がある。

本研究では、システムが直接事故を検出し通報する見守りシステムの一つとして、段差のある玄関や動線の要となる廊下を対象に、カメラを用いた見守りシステムを開発したので報告する。

### 2. システム概要

カメラで撮影された映像から転倒を検出するには、映像からそこに写っている人物を抽出し、続いてその人物の状態を調べる方法が考えられる。すでに、映像から人物の行動を認識する試みは数多くなされているが、これらの手法の多くは、事前に多くの学習データが必要であったり、行動の認識に多大な計算コストがかかたりする。本提案システムでは、一人暮らしの老人を対象としていることから一人の人物の行動の様子だけ調べればよい。そこで、学習の必要がなく、処理コストも小さい背景差分法と限定CHLAC法を組み合わせたアルゴリズムを用いた。

#### 2.1 背景差分法

背景差分法は、人物が写っていない画像(背景画像)をあらかじめ用意しておき、入力画像との差分をとることで人物部分を抽出する方法である。本システムでは以下のような背景差分法を用いた。

まず、背景画像を作成する。人物が写っていない映像をしばらくの間取り込み、画素ごとに時間方向の平均輝度を求めた画像  $f_b(0, x, y)$  と標準偏差を求めた画像  $f_{bs}(0, x, y)$  を作成する。ここで、実際の背景は、照明の変化や外光の変化により明るさが変化するため、背景画像も時間とともに更新しなければならない。そこで、入力画像  $f_i(t, x, y)$  を用いて、式(1)を満たす画素(前景領域)を、式(2)のように更新する。

$$|f_b(t, x, y) - f_i(t, x, y)| \geq c_0 f_{bs}(t, x, y) \dots\dots\dots (1)$$

$$\begin{cases} f_b'(t+1, x, y) = f_b(t, x, y) \\ f_{bs}(t+1, x, y) = c_1 f_{bs}(t, x, y) + (1 - c_1) f_i(t, x, y) \end{cases} \dots\dots\dots (2)$$

また、式(1)を満たさない画素(背景領域)は、式(3)のように更新する。

$$\begin{cases} f_b'(t+1, x, y) = c_2 f_b(t, x, y) + (1 - c_2) f_i(t, x, y) \\ f_{bs}(t+1, x, y) = c_2 f_{bs}(t, x, y) + (1 - c_2) c_3 |f_i(t, x, y) - f_b(t, x, y)| \end{cases} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $c_0, \dots, c_3$  は任意の定数である。

さらに、本システムでは、輝度変化の激しい玄関・廊下を対象としているため、カメラの自動露出調整機能や自動ゲイン調整機能を使用することを想定している。そのため、極端に明るさの異なる対象が写ったりするときに、画面全体の明るさが異なることがあるので、式(1)を満たす $(x, y)$ の集合を $P$ とし、次のような処理を加えている。

$$f_b(t+1, x, y) = f_b'(t+1, x, y) \frac{\sum_{x,y \in P} f_i(t+1, x, y)}{\sum_{x,y \in P} f_b'(t+1, x, y)} \dots\dots\dots (4)$$

このようにして、緩やかな輝度変化やカメラの自動調整機能に対応可能な背景画像を作成する。

続いて、背景と入力画像の差分をとる。すでに、式(1)を用いることで画像を背景と前景に分離しているが、この手法では壁や床面にできた影の影響を受けやすく、人物以外の広い領域も前景として抽出することがある。そこで、本システムでは、エッジ画像の差分を取得することとした。背景画像と前景画像の各エッジ画像  $f_{ai}(t, x, y)$ ,  $f_{ii}(t, x, y)$  を作成する。また、背景画像のエッジ画像については、背景画像と同様にエッジ画像の標準偏差画像  $f_{abs}(t, x, y)$  を求め、式(2)(3)の  $f_{bs}(t, x, y)$  と同様に更新している。最終的な背景差分画像  $f_{ab}(t, x, y)$  は、式(5)のようになる。

$$f_{ab}(t, x, y) = \begin{cases} 1 \cdot |f_{ai}(t, x, y) - f_{ii}(t, x, y)| \geq c_4 f_{abs}(t, x, y) \\ 0 \cdot |f_{ai}(t, x, y) - f_{ii}(t, x, y)| < c_4 f_{abs}(t, x, y) \end{cases} \dots\dots\dots (5)$$

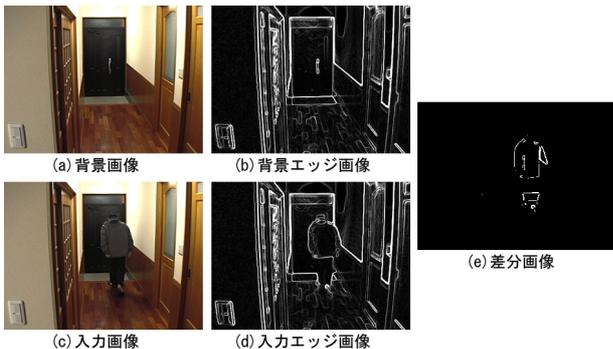


図1 背景差分画像の処理画像

図1に、背景差分画像の処理画像を示す。

こうして求めた背景差分画像より、人物の高さを求め、ある閾値より低い状態を転倒として検出する。なお、人の高さを算出するためには、廊下やカメラのパラメータが必要となるが、これらの入力方法については3章で述べる。

2. 2 限定CHLAC法

CHLAC法<sup>[2]</sup>は、対象の位置に依存することなく統計的に対象の形状や動作の特徴を取得する手法である。本システムでは、CHLAC法の動作特徴量のみを利用する限定CHLAC法を定義し、転倒を検出する。

まず、入力画像に対し、式(6)のようにフレーム間差分画像  $f_{df}(t, x, y)$  を求める。

$$f_{df}(t, x, y) = \begin{cases} 1 \cdot |f_i(t, x, y) - f_i(t-1, x, y)| \geq c_4 \\ 0 \cdot |f_i(t, x, y) - f_i(t-1, x, y)| < c_4 \end{cases} \dots\dots\dots (6)$$

この画像に対し、式(7)に示すCHLAC法を用いて、特徴量を求める。

$$c(t, n) = \sum_x \sum_y f_{df}(t-1, x, y) f_{df}(t, x + \Delta x(n), y + \Delta y(n)) \dots\dots\dots (7)$$

ここで、 $\begin{cases} \Delta x(n) = n \bmod 3 - 1 \\ \Delta y(n) = \lfloor \frac{n}{3} \rfloor - 1 \\ n = 1, 2, \dots, 9 \end{cases}$  である。

さらに、式(8)に示すように9つの特徴量を正規化する。

$$c_i(t, n) = \frac{c(t, n)}{\sum_n c(t, n)} \dots\dots\dots (8)$$

この  $c_i(t, n)$  は、 $f_{df}(t, x, y) = 1$  の画素が上向きに移動すると特徴量  $c_i(t, 2)$  が他の特徴量より大きくなり、下向きに移動すると  $c_i(t, 8)$  が大きくなる傾向にある。なお、移動方向と  $n$  の関係は図2のようになる。

この歩行中に転倒する映像に対し、この限定CHLAC特徴を調べると、図3のようになる。ここで、横軸は時刻  $t$ 、縦軸は特徴量、各グラフは  $n=1, 2, \dots, 9$  の場合の特徴量  $c_i(t, n)$  である。グラフより、歩行中は9つの特徴量にばらつきが見られるが、転倒中はばらつきが少なくなる傾向がみられる。そこで、転倒度  $T(t)$  を式(9)のように定義した。

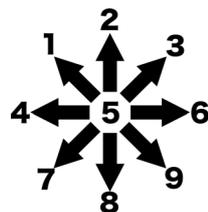


図2 移動方向とCHLAC特徴

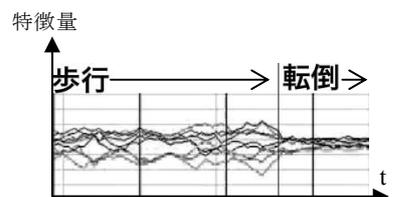


図3 歩行・転倒とCHLAC特徴

$$T(t) = -\sigma(t) \sum_n b(n) c_i(t, n) \dots \dots \dots (9)$$

$$\sigma(t) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_n (c_i(t, n) - \frac{1}{n} \sum_n c_i(t, n))^2}$$

ここで、

$$b(n) = \begin{cases} -2 \dots n = 2 \\ -1 \dots n = 1, 3 \\ 0 \dots n = 4, 5, 6 \\ 1 \dots n = 7, 9 \\ 2 \dots n = 8 \end{cases} \quad \text{である.}$$

転倒度  $T(t)$  は、9つのCHLAC特徴量のばらつきが小さいほど、また、画素の下向き移動量が多いほど値が大きくなる。この値が閾値を超えたときに転倒したとみなす。閾値は、転倒映像を処理した上で決定したが、図4に示すように、通常歩行時においてもこの閾値を超えることがある。これは歩行に伴う体の上下動により発生しているためであり、一定間隔で閾値を超えたり下回ったりする。そこで、転倒度が閾値を超えた状態が一定時間続いたときに転倒と見なすこととした。

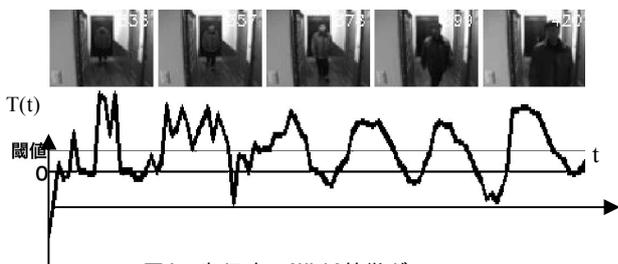


図4 歩行時のCHLAC特徴グラフ

### 3. 設定画面

一般に、画像処理に用いるカメラは、カメラの設置場所、向き、画角、絞り等を固定して使用するが、またはそれらの情報を外部に出力できる様になっている。また、画像処理プログラムはカメラの情報を事前に入力し、画像と撮影対象の対応を計算する必要がある。

本システムは一般住居でも導入しやすいように、詳細な情報の入力・設定を極力減らすことにした。図5に、設定画面を示す。画面の左側には、カメラからの



図5 設定画面

映像が、右側には設定用のインターフェースが並んでいる。

本システムが使用する画像処理アルゴリズムのうち、限定CHLAC法は対象の動きを検出するため、カメラの設置等に関する情報を必要としない。一方、背景差分法では、人の高さを算出するために、画素の大きさと実際の長さとの対応が必要になる。そこで、本システムでは、廊下の幅(cm)と、画面上の廊下の領域(左右の壁との境)を指定することとした。これにより、画像のy座標を特定することでその位置における画素の大きさと実際の長さとの対応をとることができる。背景差分法で抽出される領域の下端は足と廊下が接する点になるため、この点の1画素あたりの長さ、抽出された領域の高さから、人の高さを算出することができる。

### 4. 実験

前章までで述べた挙動判別および位置判別手法を用いて、廊下での転倒を検出する実験を行った。カメラは、できるだけ広い範囲を撮影するため、図5に示すように廊下隅の天井付近に、長手方向やや下向きになるよう設置した。

#### 4. 1 照明状態が変化しない場合

図6に、人が奥の玄関ドアから入ってきて、靴を脱いだ後玄関の段差で転倒する模擬動作の映像での処理結

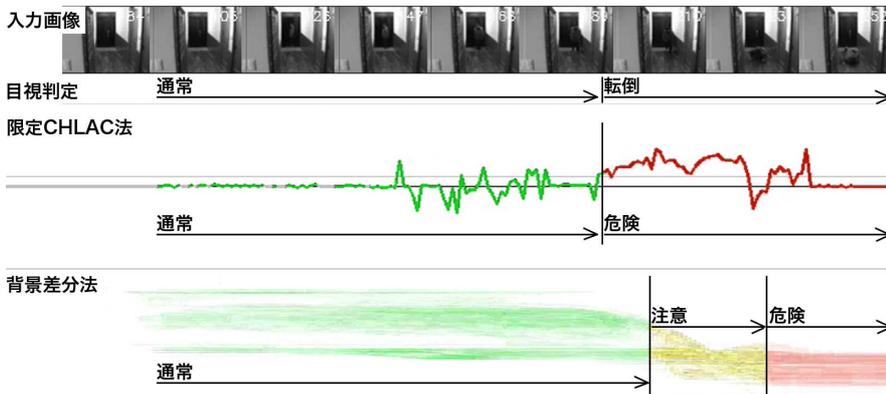


図6 転倒映像の検出結果

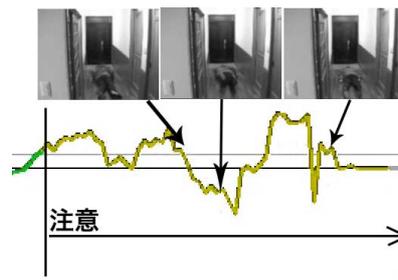


図7 限定CHLAC法の転倒検出失敗の例

果を示す。ここで、照明は点灯したままの状態に変化していない。図は、上から約1秒ごとの入力画像、目視による通常・転倒の区別、限定CHLAC法による危険度グラフ、背景差分法による対象の位置・大きさのグラフである。グラフは通常時を緑、注意を黄色、危険を赤で表示しているが、印刷の都合上矢印を入れることで区別している。限定CHLAC法と背景差分法で、転倒と判定するまでに若干の時間差があるが、いずれの方法も転倒を検知している。

同様に、廊下を手前から奥へ歩く途中で転倒する映像、転倒せずに通過する映像(通常歩行映像)について検証を行った。結果を表1および表2に示す。

表1 転倒映像の検出結果(照明一定)

歩行方向	手前から奥	奥から手前
背景差分転倒検出	2/2	2/2
CHLAC転倒検出	1/2	2/2

(ここで、1/2は、2種類の転倒映像に対し1回検出したことを表す)

表2 通常歩行映像の検出結果(照明一定)

歩行方向	手前から奥	奥から手前
背景差分転倒検出	0/2	0/2
CHLAC転倒検出	0/2	0/2

(ここで、0/2は、2種類の映像に対し転倒と誤検出しなかったことを表す)

通常歩行映像については、背景差分法、限定CHLAC法のいずれについても誤検出をしなかった。一方、転倒映像については、限定CHLAC法で検出できなかった映像があった。そのときの映像および危険度グラフを図7に示す。この映像では、人が転倒直後に、転んだ反動で大きく足を振り上げている。そのため、式(9)のΣの値が負になり、危険度が大きく下がっている。結果、注意状態が一定時間以上連続せず、危険として検出しなかった。しかし、転倒時および振り上げた脚が下がるときに危険度が高くなっていることから、経過時間と転倒度の組み合わせから解決できると考えられる。

#### 4. 2 照明状態が変化する場合

図8に、手前から奥へ歩く途中で転倒する映像での処理結果を示す。ここで、照明は最初消えているが、人

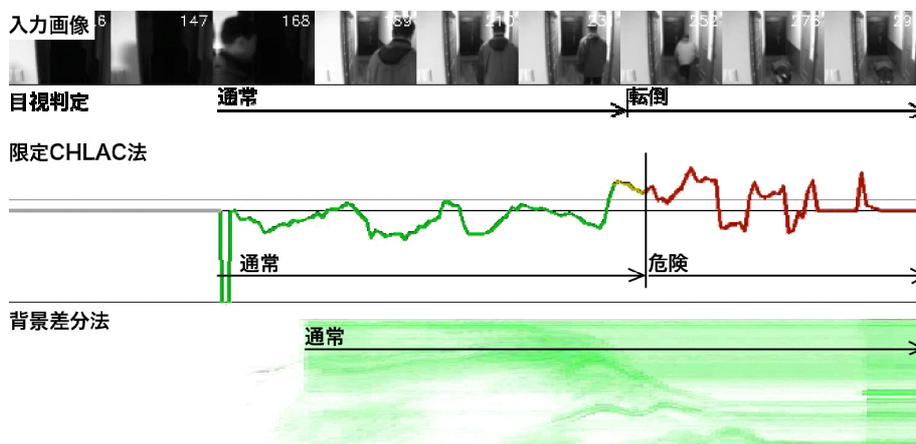


図8 照明状態が変化する場合

が近づくと点灯する検知センサー型である。

この条件では、限定CHLAC法では転倒を検出しているが、背景差分法ではできていない。これは、照明状態が変わったため画像の背景そのものが変わってしまい、適切な背景差分画像が得られなかったためである。図9に、照明が変わった直後の背景差分画像を示す。人物だけでなく、背景部分も抽出されていることがわかる。結果を表3に示す。

表3 転倒映像の検出結果(照明変化)

歩行方向	手前から奥	奥から手前
背景差分転倒検出	0/2	0/2
CHLAC転倒検出	2/2	1/2

#### 4. 3 出力

背景差分法、限定CHLAC法の結果を組み合わせ、最終出力として表示することとした。図10に、出力画像を示す。上端に現在の状態を、中断に危険状態になった時刻を、下段に現在時刻を表示している。

### 5. まとめ

画像を用いた見守りシステムについて、人の転倒を検出する方法として、限定CHLAC法と、背景差分法を組み合わせることで、廊下を歩いている最中に転倒する人を検出できる見通しを得た。また、これに必要なユーザーインターフェースも作成した。

### 文 献

- [1] 厚生労働省, “死因簡単分類別にみた性別死亡数・死亡率” および “家庭内における主な不慮の事故の種類別にみた年齢別死亡数・構成割合”, 平成18年人口動態統計(確定数)の概況, pp15-17, 2007.
- [2] 下畠康幸, 大津展之, “立体高次局所自己相関特徴を用いた複数移動物体の同時認識”, 信学技報 PRMU2006-104, pp.1-6, 2006.



図9 背景差分画像



図10 出力画像