

三次元位置に基づく救急医療処置の自動分割

田中 等幸 浅井 博次 平湯 秀和

Automatic Segmentation for Emergency Medical Treatment Based on 3-D Position

Tomoyuki TANAKA Hirotugu ASAI Hidekazu HIRAYU

あらまし 救急医療処置を対象として、三次元位置に基づく医療処置の自動分割アルゴリズムについて報告する。提案する手法は、三次元位置の計測データに対して、固定長の窓をあてはめ、主成分分析によって得られる法線ベクトルを特徴量とし、隣接する窓から計算される特徴量の類似度から処置の分割点を判定するものである。予備実験では、センシングデバイスとして使用する超音波式位置測定装置の精度を明らかにし、次に医療処置の分割実験を行った。分割実験では、1次救命処置の模擬動作をセンシングし、提案手法によって処置を分割した。その結果、適正な窓サイズと閾値を設定することで、医療処置に関する事前知識を用いることなく、医療処置を自動的に分割できることを確認した。

キーワード 救急医療, 心肺蘇生術, 自動分割, 三次元位置, 主成分分析

1. はじめに

1.1 動機と目的

一刻を争う救急医療では、通常、医療処置の記録は事後入力であり、記録の正確性の欠如や医師の負担が大きいなどの問題がある。この問題に対する解決策の一助となるために、我々はリアルタイムにカルテ入力を可能にする診療記録システムを開発した^[1,3]。このシステムによって、診療記録の正確性の確保はもちろん、記録に要する医師や看護師の負担を軽減することが期待されるとともに、診療行為の一覧性の確保及び、キーワード検索による診療映像の表示を可能としている。しかしながら、医療従事者から、記録者は常時システムの前に居て操作する必要があること、要約した記録を付与するための労力が必要であること、また記録した要約情報自体に記録者の恣意性や主観性が含まれるなどの問題を指摘された。つまり、システムを利用する前提として、医療処置の様子を逐次観察し、記録する人が必要であるため、上述した問題を解決するためには医療処置の内容を自動的に要約することが要求された。この要求に応えるには、まず人間の振る舞いを経時的かつ大まかに分割することが極めて重要である。

これまでに我々は、医療処置を自動的に抽出する手法として、カメラなどのセンサを用いて、知識ベースでの認識手法について検討を行ってきた^[3]。しかし、この手法は現実的である一方で、対象とする処置に応じて、それに対応するプログラムを実装する必要がある。我々の最終目標は、医療処置で行われた全ての処置行為を要約することであるため、医療処置に関する知識を最初から用いず、まずは処置を経時的に自動分割することが必要であると考え、そこで本研究では、事前知識を用いることなく、三次元位

置を用いて医療処置者の処置行為を分割するアルゴリズムについて検討する。

1.2 研究のアプローチ

人間の行動を認識し理解することによって各種サービスを提供する研究が数多く行われている^[5-9]。これらの研究で使用されている手法の多くはカメラによる映像解析であるが、プライベートな空間を対象とする場合には、目的に応じたセンシングデバイスによって研究されている。また、行動識別のアプローチも目的やアプリケーションによって多様である。対象とする動作を限定することなく、人間の行動すべてを予測するチャレンジ的な研究、対象とする行動のみに限定してそれ以外の行動は異常検知として識別する研究、また観測対象を絞り認識率を向上させる現実的な研究があげられる。我々が扱う対象は、次のような特徴がある。

- (1) プライバシーに敏感である
- (2) 複数人が右往左往する現場である
- (3) 集中治療室などの限定された環境である
- (4) 医療処置は標準的ガイドライン^[4]によって定義されている

(1)を考慮すると、カメラ以外のセンシングデバイスが有効であると考えられる。(2)(3)においては、対象とする環境全体を観測し、複数人の振る舞いを区分する必要がある。(4)は観測対象を絞り識別率を向上させるものに該当する。以上から、本研究では環境埋め込み型の超音波式の位置センサを採用することとし、定義された処置を識別するアプローチをとる。

1.3 対象とする医療処置

医療従事者が行う救急救命処置は2次救命処置と呼ばれ、意識確認、人工呼吸、心臓マッサージ、換気、除細動、

点滴、薬物投与など高度な医療行為である。この一連の医療処置は心肺蘇生術に代表される医師の単独動作で行われる処置と、除細動に代表される医療機器を使用する処置の2つに大別される。後者においては、救命処置で使用する医療機器は決まっているため、予め医師と医療機器に発信器を取り付けることで、医療従事者と医療機器との相対的な位置関係から医療処置を判断することが可能である。そこで本研究では、処置者が単独に行う処置動作を対象として、1次救急救命処置の医療処置を自動的に分割する。

2. 提案手法

2.1 基本アイデア

一般に、1次救命処置の初期は次の手順で行われる^[4]。

- (1) 呼吸確認を行う。
- (2) 脈拍確認後、応援要請などの指示を行う。
- (3) 人工呼吸を行う。
- (4) 心臓マッサージを行う。
- (5) 意識の回復や反応を確認しながら(3)(4)を繰り返す。

この手順について処置者の姿勢を観察すると、処置中の処置者の姿勢は一定時間ほぼ同じ姿勢を維持することが確認された。そこで、処置者の身体の一部に発信器を装着し、次の仮定を設定する。

- a. 医療処置中の処置者の姿勢は一定時間維持されるため、発信器の軌跡の空間的ばらつきは小さい。
- b. 処置に移る際の処置者の姿勢は変化する。そのため、発信器の軌跡の空間的ばらつきは大きい。

2.2 分割アルゴリズム

計測装置によって取得した三次元位置データに対して Savitzky-Golay アルゴリズムによって前処置を行い、図1に示す手順で処置の分割を行う。時系列位置データから特徴量を抽出する方法はRaviらの固定長の窓をスライドする手法を用いた^[10,11]。窓は窓サイズの1/2間隔でスライドさせる。窓ごとに時系列位置データを主成分分析し、第1主成分、第2主成分及び第3主成分を求める。第3主成分は、第1主成分及び第2主成分のいずれにも直交する主軸平面の法線ベクトルを表しており、このベクトルを窓の特徴量とする。次に、窓ごとに計算された特徴ベクトルの類似度を判定するため、隣接する窓から計算される特徴ベクトルの内積を行い、分割の指標値とする。このとき、ベクトルの始点終点の違いによるベクトルの方向の違いは考慮せず、ベクトルの三次元空間上の傾きを扱うため、内積の絶対値を利用する。ここで、前節に示した仮定と本手法と関係づけると、同一の姿勢が継続するような安定した状態での法線ベクトルは大きくばらつかず、隣接するベクトルの類似度は1に近づく。しかし、姿勢が著しく変化するなどの不安定な状態での法線ベクトルは大きくばらつき、隣接する法線ベクトルの類似度は0に近づく。したがって、隣接するベクトルの類似度がある閾値より小さくなった時点分割点とする。

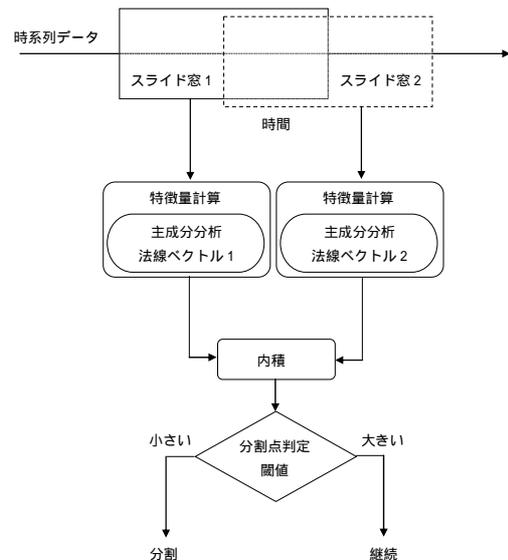


図1 処理の流れ

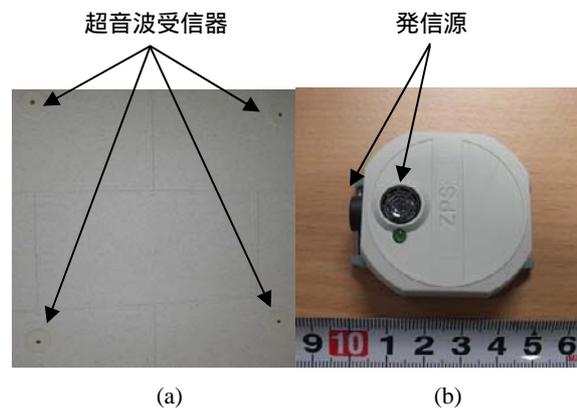


図3 実験環境 ((a)受信器 (一部) (b)発信器)

3. 実験方法

3.1 実験環境

本研究では、超音波方式による三次元位置測定装置(古河機械金属株式会社製, Zone Positioning System)を使用して、医療処置者の身体の一部に装着した発信器の三次元位置を計測する。測定装置の主な仕様を表1に示す。発信器から発信する超音波が受信器に到達するまでの時間から三次元位置を計算するが、このときの計算アルゴリズムは最小二乗法とロバスト推定法の2種類が用意されている^[12]。実験環境の大きさは4.0×4.0×2.7mであり、天井には受信器がほぼ格子状に25箇所設置されている(図3(a))。超音波送信器(図3(b))の大きさは50×50×15mmで30g(電池装着時)と小型かつ軽量なものであり、発信源は遮蔽による影響を回避するために、上面方向と側面方向の2箇所搭載されている。発信器は複数個使用することができ、対象物に取り付けた発信器のID情報とセ

ンサ信号がリンクすることで、時系列的に三次元位置の取得が可能となる。

本研究では、処置者の動きを拘束しないことを考慮し、1個の発信器を装着して実験を行う。

表1 製品仕様

| 項目 | 仕様 |
|-------------|-------------------|
| 超音波周波数 | 中心周波数40KHz |
| タグコントロール周波数 | 315MHz帯 |
| 計測精度 | 20-80mm |
| サンプリング周波数 | 50/n Hz (タグn個使用時) |
| 計算アルゴリズム | 最小二乗法, ロバスト推定法 |

4. 実験と考察

4.1 予備実験

4.1.1 計測点による誤差評価

測定装置の計算アルゴリズムによる精度を確認するために、部屋内の誤差評価を行った。評価方法は文献[12]を参考とした。予め実測した部屋内の座標値と計測装置によって出力値との差を誤差とした。1計測点につき鉛直方向の軸に対して90°に発信器の向きをかえて100サンプルを取得し、合計400サンプルの平均から誤差を求めた。床面(0mm)、腰位置(床面から1000mm)、及び肩位置(床面から1500mm)を想定した3平面を計測面とし、1平面につき25点を計測した。空間での計測点は75点である。図4は75点の誤差データを基に線形補完した誤差分布である。青色は誤差が小さく、赤色は誤差が大きいくことを示している。図4(a)-(c)は三次元位置計算アルゴリズムを最小二乗法として、床面からそれぞれ0,1000及び1500mmの高さでの誤差を示している。床面から1500mmの高さになると、発信器と受信器間の送受信環境が悪くなり、外れ値の混入によって誤差が大きくなることから分かる。図4(d)は計算アルゴリズムをロバスト推定法としたときの床面から1500mmにおける誤差を示している。ロバスト推定法における誤差は10-93mmであった。処置を要約する目的においては許容範囲内であり、三次元位置の計算アルゴリズムはロバスト推定法を採用する。

4.1.2 遮蔽による誤差評価

救急医療は複数人によって処置されるため、発信器の装着位置によっては遮蔽されることが想定される。そのため、遮蔽による誤差を評価する。発信器に遮蔽物(200×300×5mmの厚紙)を接近させ、遮蔽による影響を評価した。送受信環境が良好な部屋の中心から縦横方向に1000mm離れた8箇所の位置を計測点とし、発信器と遮蔽物との距離を250, 500, 1000, 1500及び2000mmの5通りについて計測した。空間的な計測点は40点である。図5は1計測点につき400サンプルの平均から誤差を求めプロットしたものである。横軸は遮蔽物と発信器間の距離を示し、縦軸は誤差を示している。発信器と遮蔽物との

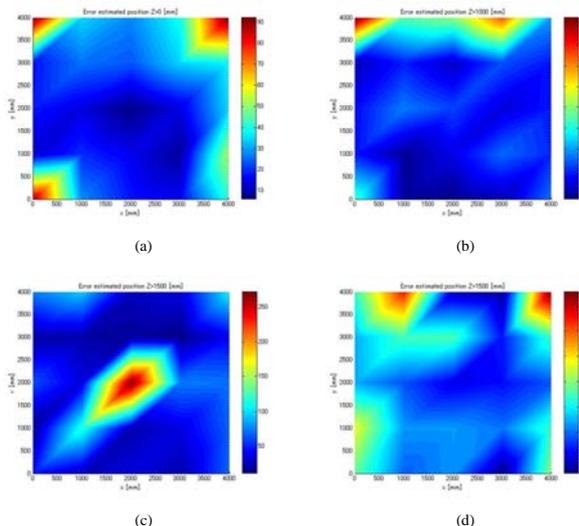


図4 計測点における誤差評価

- (a) 床面からの高さ0m 最小二乗法
- (b) 床面からの高さ1m 最小二乗法
- (c) 床面からの高さ1.5m 最小二乗法
- (d) 床面からの高さ1.5m ロバスト推定法

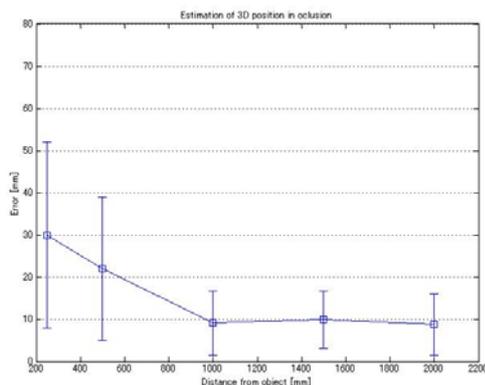


図5 遮蔽による誤差評価

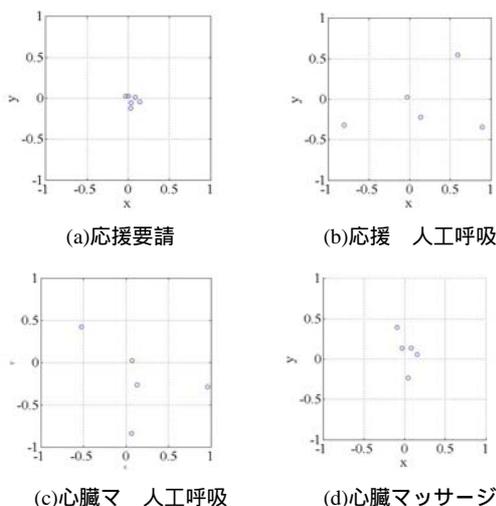


図6 法線ベクトルの分布

距離が1m程度接近するにしたがって誤差は著しく大きくなる事が分かる。これは遮蔽物による反射の影響が大きいと考えられるため、発信器の装着位置はできるだけ遮蔽が起りにくい場所に装着したほうが良いとの知見が得られた。しかし、250mmの距離でもセンチオダの誤差であることから、発信器が完全に遮蔽されることがなければ許容される誤差である。

4.2 分割実験

分割アルゴリズムの有効性について確認した。遮蔽による影響を少なくするために、発信器を処置者の背中に1個装着し、1次救命処置を模擬動作した。21.5Hzで取得した時系列位置データに対して、窓サイズ64サンプル(2.97秒)を設定し、窓を半分ずつ重複しスライドさせ特徴量を計算した。また、分割結果と映像を比較するために、模擬動作中の様子をビデオ記録した。

図6は窓サイズを64サンプルとした場合、法線ベクトルを二次元平面に投影したときの分布結果である。図6(a)は応援要請、図6(b)は応援要請から人工呼吸に移行する区間、図6(c)は心臓マッサージから人工呼吸への移行区間、図6(d)は心臓マッサージの処置区間のベクトルの分布を示している。いずれも連続する5窓分のベクトル座標をプロットしたものであり、約14.9秒間の分布である。この結果から処置中は法線ベクトルのちらばりは小さく、処置の移行区間は大きくちらばっている様子が分かる。図7は窓サイズを64サンプルとした場合の隣接するベクトルの類似度の推移を示したものである。なお、ビデオ映像を手動によって分割した結果を点線で示している。

分割判定の閾値を0.8-0.85に設定すると、処置の切り替わりをほぼ分割できることが確認できる。しかし、数箇所分割できていない区間や過分割されている区間も確認された。この区間について映像を確認した結果、人工呼吸時の過分割は1-2秒程度の深呼吸の影響によるものと考えられる。これは窓サイズを大きくすることで、この過分割を回避することができる。また、人工呼吸から心臓マッサージ(窓番号100-102)への移行区間において法線ベクトルの類似度は小さい。これは処置の切り替わり動作がゆるやかな動作であり、2.97秒の小さい窓サイズでは動作を包含できないためである。

窓サイズの大きさによる分割結果の違いを確認するため、窓サイズを16サンプル(0.74秒)、32サンプル(1.48秒)、128サンプル(5.95秒)及び256サンプル(11.90秒)に変化させ、前節で用いたデータに対して同様の実験を行った。図8は図7と同様の処置の流れに対して、窓サイズを16、32、64、128及び256に変化させたときの処置の分割結果を示している。上段から16、32、64、128及び256の窓サイズの違いによる結果であり、最下段はビデオ映像を示している。分割判定の閾値はいずれも0.8とした。窓サイズ64-128はビデオ映像で分割した数と近い結果であり、1次救命処置の模擬動作を分割するサイズとしては適当であると言える。窓サイズを大きく設定することによって、過分割や小さい窓では分割できなかった区間を分割することができるが、窓サイズ256に拡張すると複数の処置を包含してしまい分割できない。つまり、窓サイズを小さく設定すると、急激な動きに細分割し、逆に

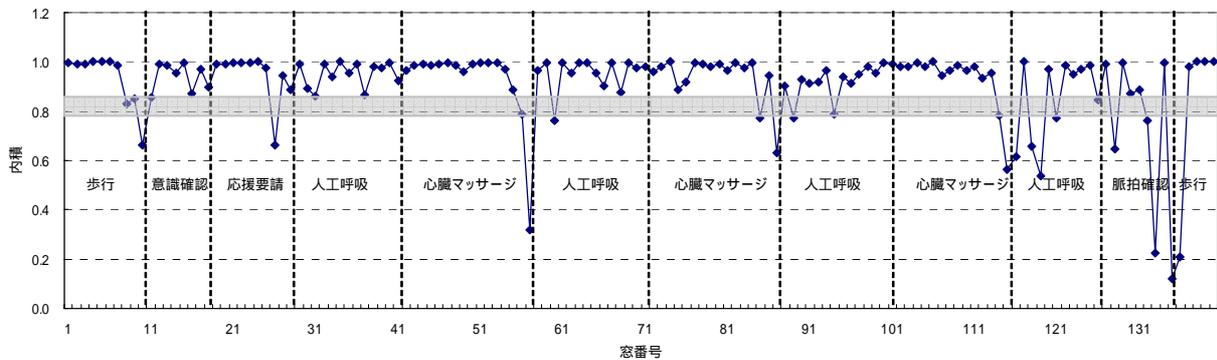


図7 ベクトルの類似度の推移 (窓サイズ64サンプル)

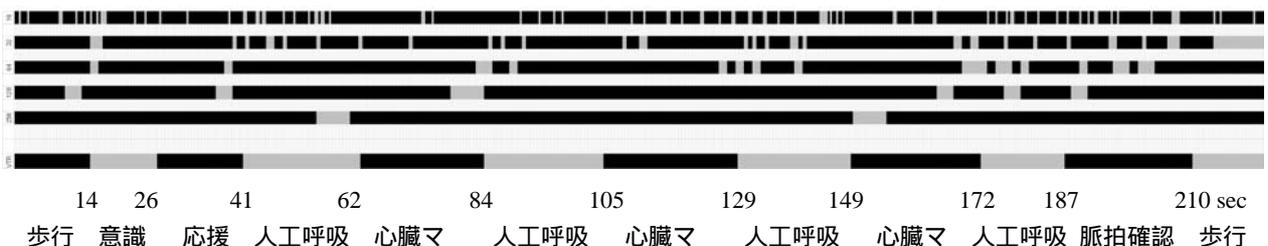


図8 処置の分割結果 (上段から16, 32, 64, 128, 256, VTR)

窓サイズを大きくするにしがたって、複合的な動作に分割する。しかしながら、処置の切り替わりを正確に分割しているとは言い難い。これは窓サイズが2の階乗であるため、窓サイズによる分割誤差があることや、医療処置全てを分割するためには窓サイズが必ずしも一意に決まらないこと、スライド方法を窓サイズの半分に固定していることなどがあげられる。

分割する対象や目的によって最適な窓サイズや閾値は異なる知見が得られたため、今後はデータを蓄積し、最適な窓サイズや閾値の決定方法とスライド方法について検討する。

5. まとめ

本研究では救急医療処置の自動要約を目的として、事前知識を用いることなく処置の切り替わりを自動的に分割するアルゴリズムについて提案した。予備実験として、実験環境に配置した超音波式位置測定装置の精度を評価し、自動分割実験に利用できることを確認した。次に、発信器を処置者に装着し、1次救命処置の模擬動作をセンシングし分割実験を行った。時系列位置データに対して窓をあてはめ、主成分分析から計算される法線ベクトルの傾きを特徴量とし、隣接する特徴ベクトルの類似度判定によって処置を分割した。その結果、窓サイズ64-128サンプル(2.97-5.95秒)、閾値0.8-0.85を設定することによって、処置を分割することが可能であることを示した。今後、分割精度を向上するアルゴリズムを検討し、実際の医療現場でのデータを蓄積することで、すべての医療処置に関する自動要約に発展させたいと考えている。

本研究は文部科学省知的クラスター創成事業の一環としてなされたものである。

文 献

- [1] 浅井博次, 棚橋英樹, 速水悟, “診療記録システムの開発”, 岐阜県生産情報技術研究所研究報告第7号, pp.5-7, 2006.
- [2] H. Asai, H. Tanahashi, et al., “The Cardiac Massage Detection in The Emergency Medical Care Video”, Proc. of the Sixth IASTED International Conference on Visualization, Imaging, And Image Processing, pp. 597-602, 2006.
- [3] 浅井博次, 田中等幸, “診療映像における自動イベント検出の検討”, 岐阜県生産情報研究所研究報告第8号, pp.4-8, 2007.
- [4] 岡田和夫他, “AHA心肺蘇生と救急心臓治療のためのガイドライン2005”, 中山書店, 2005.
- [5] 上田博唯, 山崎達也, “コピキタスホーム: 日常生活支援のための住環境知能化への試み”, 日本ロボット学会誌, Vol.25, No.4, pp.494-500, 2007
- [6] 橋本秀紀, “空間の知能化とシステムインテグレーション”, 計測と制御, Vol.44, No.8, pp.568-573, 2005.
- [7] 森武俊, 野口博史, 佐藤和正, “センシングルーム”, 日本ロボット学会誌, Vol.23, No.6, pp.665-669, 2005.
- [8] 青木茂樹, 大西正輝, 小島篤博, 福永邦雄, “HMMによる行動パターンの認識”, Vol.J85-D-II, No.7, pp.1265-1270, 2002.
- [9] 樋口未来, 小島篤博, 北橋忠宏, 福永邦雄, “協調型ベイジアンネットワークを用いた動作と動作対象の統合的認識”, 情報処理学会研究報告CVIM-148, pp.117-124, 2005.
- [10] N. Ravi, Dandekar, P.Mysore, and M.L.Littman, “Activity recognition from accelerometer data”, American association for artificial intelligence, July 2005.
- [11] 田淵勝宏, 納谷太, 大村廉, 野間春生, 小暮潔, 岸野文郎, “無線加速度センサを用いた人の日常行動識別におけるデータ収集条件の影響評価”, Vol.12, No.1, pp.25-35, 2006.
- [12] 西田佳史, 相澤洋志, 北村光司, 堀俊夫, 柿倉正義, 溝口博, “センサルームを用いた人の日常活動の頑強な観察とその応用”, 情報処理学会研究報告HI-106, Vol.2003, No.111, pp.37-44, 2003.