

「共有する医療」の実現に向けた救命診療のダイジェスト映像生成

大西 正輝[†] 依田 育士[†] 黒嶋 智美[†] 川島 理恵^{†,††}
織田 順^{†††} 三島 史朗^{†††} 太田 祥一^{†††} 行岡 哲男^{†††}

[†] 産業技術総合研究所 サービス工学研究センター つくば市梅園 1-1-1 中央第 2

^{††} 埼玉大学 教養学部 さいたま市桜区下大久保 255

^{†††} 東京医科大学 救急医学講座 新宿区西新宿 6-7-1

E-mail: †onishi@ni.aist.go.jp

あらまし 本研究では、救命室に設置した複数のステレオビジョンを用いて救命診療のダイジェスト映像を生成することで、医療関係者だけではなく患者、患者家族を含めた当事者全体が納得を共有するための医療の実現を目指している。まずはじめにステレオビジョンを用いて救命室の中の医師や看護師を追跡し、CG を用いて救命室を可視化する。次に映像の重要度を計算し、編集することによって救命診療のダイジェスト映像を生成する。最後に実際の現場の映像を生成することによって提案手法の有効性を確認する。

キーワード 救命医療, 共有する医療, ダイジェスト映像生成, 人物追跡, ステレオビジョン

1. はじめに

総務省消防庁の報告 [1] によると平成 22 年度に全国で救急搬送された患者数は年間約 500 万人で、その約 1 割は重症患者である。中でも、自宅や勤務先、路上などで心肺停止の状態で搬送されている患者は約 10 万人にもものぼることが報告されている。このように心肺が停止し、命の危機に瀕している重症患者は主に救命救急センターが対応することになっている。

一般に患者が医療を受ける際には医師から診療方針やリスクなどについての説明を受け、納得した上で医療行為を行うインフォームドコンセントが必要である。しかし、救急搬送が必要な重症患者は意識がないことが多く、その場合には医療施設や診療方針を自己決定することができない。また、それらを判断することが可能な家族が側についているとも限らない。救命診療は文字通り危機に瀕している命を救うための診療であり、このような場合にも医療者側は患者、患者家族の同意を得ることなく救命診療を進めざるを得ないことが多く、説明や同意、納得は事後的にならざるを得ないという問題が指摘されている。

このような現実を背景として、筆者らは社会技術研究開発センター (RISTEX) の支援を得て、多視点化による「共有する医療」の実現に向けた研究のプロジェクトを展開している。本プロジェクトでは、救命室に設置した複数のステレオカメラの映像を用いて、医療関係者はもちろんのこと、患者、患者家族を含めた当事者全体による全体の状況を共有するための医療の実現を目指している。共有が目指すものは、情報・状況の共有に基づく納得の共有である。近年、このような医療と IT を結び研究が急速に発展しており [2], [3], 本研究では IT 技

術によって救急医療の問題を解決することを目的としている。

本稿では、患者、患者家族を含めた納得の共有を実現するために、CG を用いて救命室での診療状況を可視化する手法を提案する。さらに、患者や患者家族に救命診療状況を説明する際への利用を想定して、1 分程度のダイジェスト映像を自動的に編集する手法を提案する。

一般に、重症患者と一緒に来た (あるいは遅れて合流した) 患者家族は診療中は家族控室で待つことになる。随時、医者や看護師は家族控室に状況の説明に行くが、患者家族にとってはどのような状況かを判断するのは難しく、不安を感じることが多い。本映像生成手法は、このような家族に診療映像を提示することで、不安を和らげる効果が期待できる。

以下、まず 2 章では救命室に設置したステレオカメラを用いて医師や看護師の位置追跡方法を説明する。次に 3 章ではこれらの位置を基にして救命診療を可視化する方法を明らかにする。さらに 5 章では映像中の重要度を定義することによって、ダイジェスト映像を生成する手法を明らかにする。最後に 6 章でまとめとする。

2. 医師や看護師の位置追跡

本研究ではステレオビジョンを用いて医師や看護師の位置を抽出する。ここでは基礎アルゴリズムとして用いるファジィクラスタリングによる動線抽出手法 [4] について簡単に説明する。

2.1 ユビキタスステレオビジョン

筆者らの研究チームではユビキタスステレオビジョン [5] と呼ばれる、どんな場所でも頑健に使えることを目指したステレオビジョンのハードウェアとソフトウェア

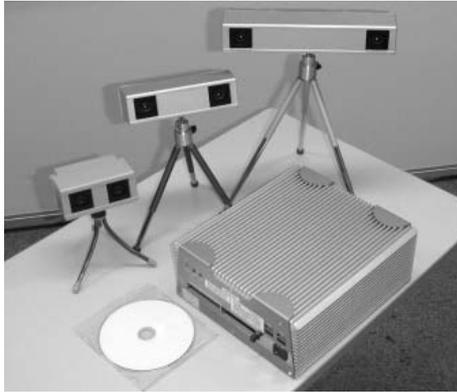


図 1 コビキタスステレオビジョンデバイス
Fig. 1 Ubiquitous Stereo Vision Device (USVD)



(a) Texture image (b) Disparity image

図 2 コビキタスステレオビジョンによって得られた画像
Fig. 2 Input image from USVD

アを開発している(図 1)。

コビキタスステレオビジョンは、 640×480 画素のステレオ画像を FPGA ボードによって処理することで、各画素あたり 2 [byte] の視差値を 15 [fps] で得ることができる (320×240 画素の場合は 30 [fps])。視差計算は専用の FPGA ボードで行うため、後段のポストプロセスに 100% のマシン CPU パワーを費やすことができる。また、用途に合わせてカメラのベースラインは 5, 10, 18 [cm] の 3 種類を用意している。図 2 に救命室に設置したコビキタスステレオビジョンから得られたテクスチャ画像 (a) と視差画像 (b) の例を示す。

視差画像はカメラをピンホール投影と仮定することで画素 (x, y) の視差値 d から 3 次元上の点 $X_{xy} = (X_{xy}, Y_{xy}, Z_{xy})$ を復元することができる。X の座標系は計算の簡略化のため、 $X-Z$ 平面が床面と平行になるように予めキャリブレーションしておく。図 3 のようにすべての 3 次元復元結果に対して $Y > 0$ の画素を床面に投影し、要素 $x_i = (X, Z)$ に格納する。そして x_i をクラスタリングすることで動線を抽出する。

2.2 二段階ファジィクラスタリングによる位置追跡

本クラスタリング手法は二段階の階層構造を持つ。まず、初期クラスタリングで要素 x_i ($i = 1, 2, \dots, M$) からある程度の大きさにまとめた中間クラスタ w_j ($j = 1, 2, \dots, N$) を作り、次に最終クラスタリングで中間クラスタから医師や看護師の領域 v_k ($k = 1, 2, \dots, C$) を

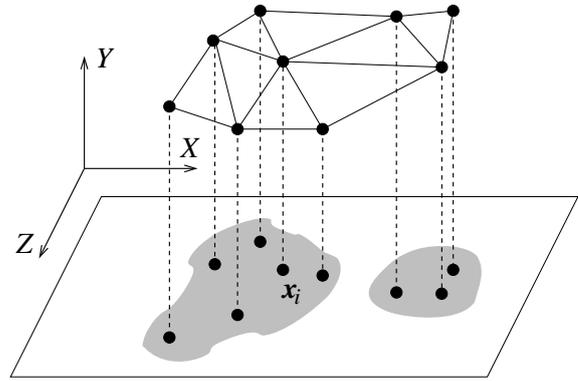


図 3 座標系
Fig. 3 Coordinate System

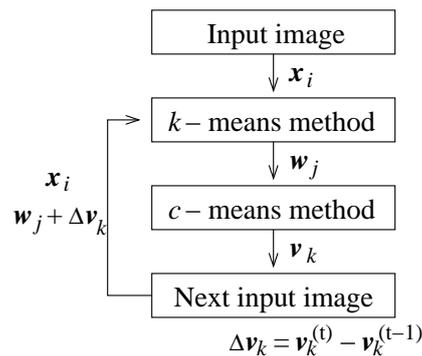


図 4 クラスタリング処理のながれ
Fig. 4 Flow of clustering

抽出する。処理のながれを図 4 に示す。

初期クラスタリングには k -means 法を用い、最終クラスタリングにはファジィクラスタリングである c -means 法を用いる。ファジィクラスタリングでは提案者である Bezdek に倣い、 k -means 法を c -means 法と呼ぶのが一般的である [6]。本稿ではファジィクラスタリングを指す場合には c -means 法と呼び、 k -means 法はファジィ性のないものとして区別している。また、初期から c -means 法を用いる方法も考えられるが、 c -means 法は各要素毎にメンバシップ関数を計算する必要があり、要素数が増えると計算量が增大するため、初期クラスタリングでは k -means 法を用いる。さらに各クラスタ v_k は速度 Δv_k を求めておき、 v_k に含まれる w_j における次フレームの予測値に用いる。なお、移動しているクラスには HUMAN、止まっているクラスには OBJECT、要素数が規定数に届かないクラスには UNKNOWN のラベルを付ける。

本クラスタリング手法は階層的な予測を導入することで時系列情報を有効に活用し、 c -menas 法を利用することで、クラスタ間が隣接した場合には曖昧な分割を表現することができる。また、時系列画像のクラスタリングであるため、一枚の画像では収束計算を行わず、時間を進めながら繰り返し計算を行うことで効率良く計算することができる。

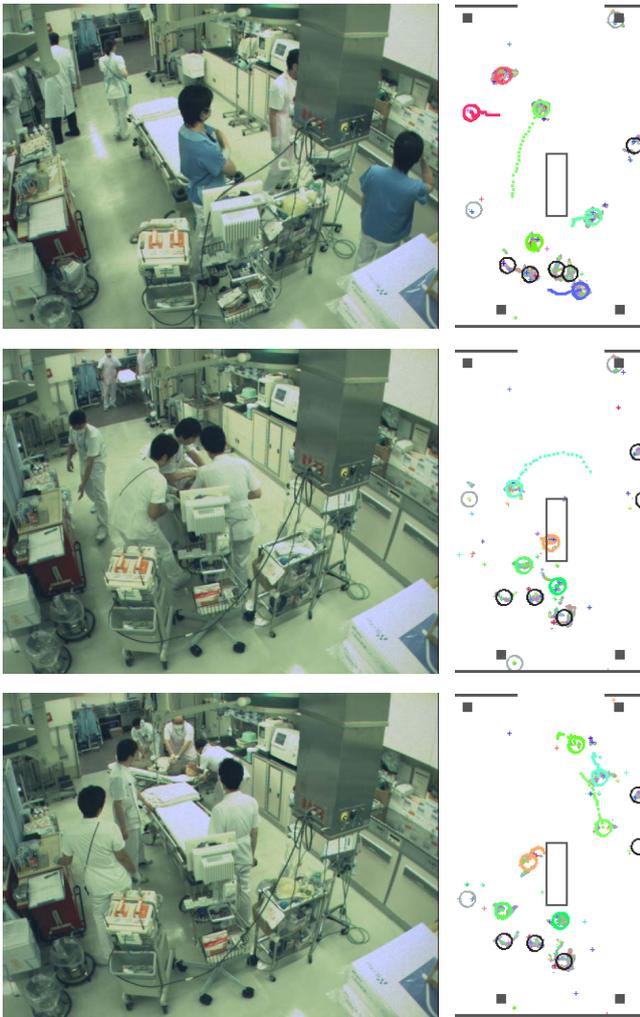


図 5 医師や看護師の追跡結果

Fig. 5 Tracking Results of Medical Workers

動線の抽出例を図 5 に示す．右段の図は室内を上から見た平面を表し，灰色がステレオ画像処理によって抽出された領域である．+印は k -means 法の重心を表し，色のついた丸は HUMAN のラベルのついた人間の位置を表す．クラスタの出現した順番によって異なる色を配色した．また，過去 24 フレーム分の重心位置に点を打つことで軌跡が分かるようにした．一方，黒丸は OBJECT のラベルのついた静止物体の位置を，灰色の丸は UNKNOWN のラベルのついたクラスタの位置を表している．黒丸によって医療機器と点滴台が抽出できている．本手法は，人の密度が 0.5 [人/ m^2] 程度の環境において動線の始めから最後までを完全にトラッキングできた場合に成功と見なす抽出率で 98% 以上の精度を実現している．

3. 救命診療の可視化

医療従事者の追跡結果に対して，動いている時には進行方向を向いているものと仮定し，止まっている時には患者（ストレッチャー中心）を見ているものと仮定すると，それぞれの時間毎に医療従事者の向いている方向を

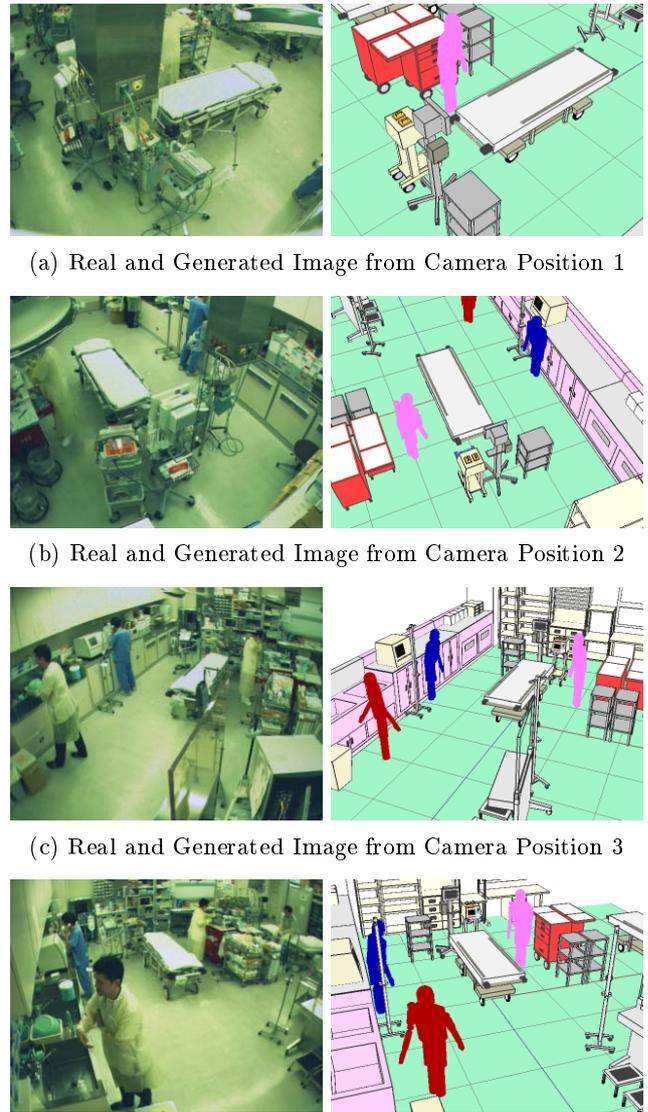


図 6 実映像と生成映像

Fig. 6 Real Images and Generated Images

推定することができる．

さらには，救命室内にある除細動器や点滴，ストレッチャー，棚などの機材の位置を予め決めておくことで，救命室を可視化することができる．図 6 に OpenGL を用いて救命室および医療従事者を可視化した例を示す．救命室の四隅に設置した 4 台のユビキタスステレオビジョンからの映像と，ほぼ同じ視点から救命室を CG によって可視化している．サッカーやアメフトなどのスポーツ映像に対して仮想的な映像を実映像から合成する VR の研究 [7], [8] が盛んに行われているが，本研究では医療従事者のプライバシーの問題を考え，完全に CG だけで再構成を行っている．無影灯など一部に省略しているものもあるが，実映像に近い映像が再構成できていることが分かる．

なお，ここでは医師や看護師の典型的な動作として“移動”，“気管挿管”，“心臓マッサージ”，“静脈確保”の 4 種類の動作を取り上げる．中でも“移動”以外の動作

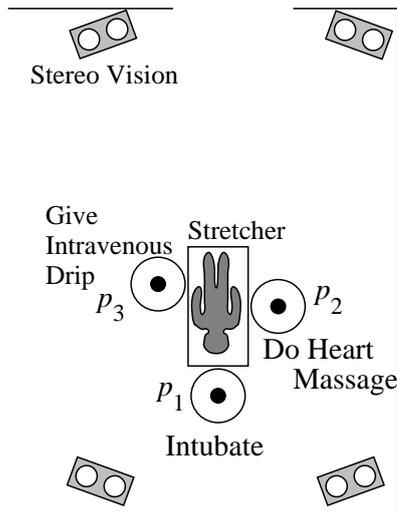


図 7 動線の抽出結果

Fig. 7 Example of Extracted Trajectory

を行うためには患者とある位置関係を保つ必要がある。例えば，“気管挿管”では喉から管を通す必要があるため，患者の頭頂部付近に立つ必要がある。また，心臓マッサージをする際には患者の右測位に立つことが多い。そこで，ここでは医師の位置によって，“移動”以外の3種類の動作を推定する。図7にそれらの動作を規定するための位置を示す。“気管挿管”の位置を p_1 ，“心臓マッサージ”の位置を p_2 ，“静脈確保”の位置を p_3 として，医師との距離 $\|v_k - p_m\|$ を閾値処理することによって医師の動作を決定する。

そして，CG を用いて救命診療を可視化する際には，図8に示すように医療従事者にそれらの動作を行わせる。

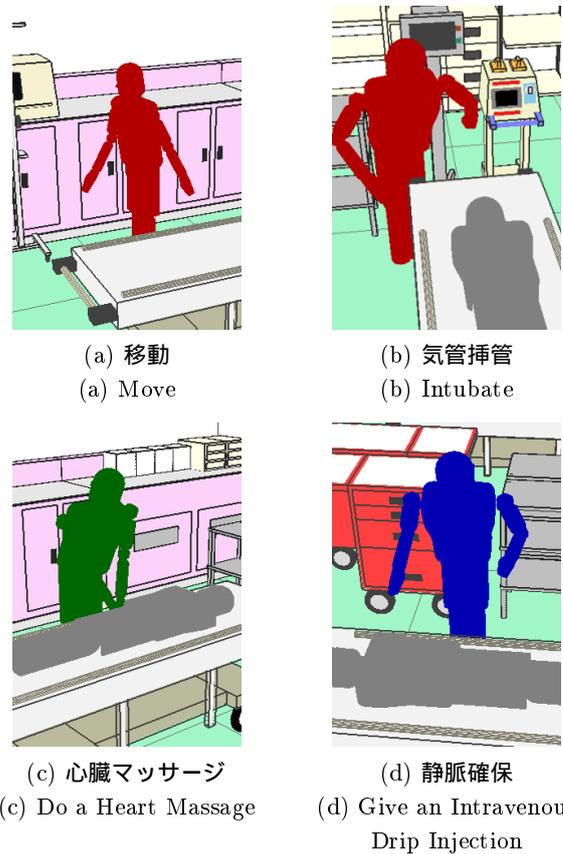
4. 映像重要度

救命診療のシーンには映像として重要な時間帯もあれば，重要ではない時間帯もある。特に，患者や患者家族に救命診療の状況を説明する際には，重要な時間帯のみを抽出して見せる方が効率が良い。このような場合には個人の好みに合わせた要約映像を作成する研究[9]が行われている。本研究では映像の重要な時間帯のみをつなぎ合わせてダイジェスト映像を作成するために映像重要度を定義する。

救命診療の状況説明で重要になるのは，患者が搬送されてきてからストレッチャーに移されるまでの時間や，気管挿管や心臓マッサージが行われている時間，さらには医師が何らかの動作を行うために移動している時間などが考えられる。そこで，医療従事者の位置と速度に注目して重要度を計算する。

4.1 位置重要度

気管挿管や心臓マッサージは3章で説明した通り，特定の位置にて行われる。そこで，これらの重要な動作を行っている時間帯を位置重要度によって定義する。位置



(a) 移動
(a) Move

(b) 気管挿管
(b) Intubate

(c) 心臓マッサージ
(c) Do a Heart Massage

(d) 静脈確保
(d) Give an Intravenous Drip Injection

図 8 救命室での動作

Fig. 8 Behavior in Emergency Room

自由度 PI はこれらの動作を行う位置に立っているほど値が大きくなる指標で次式で求める。

$$PI = \sum_{k=1}^C \sum_{m=1}^3 \exp \left\{ -\frac{\|v_k - p_m\|}{2\sigma^2} \right\} \quad (1)$$

ここで C は医療従事者の人数を表す。また， σ はこれらの位置から離れた際の重要度の下がり幅を分散で表している。

4.2 速度重要度

一般に映像に変化がない場合には映像に飽きることが知られている。ここでは，ダイジェスト映像に変化をつけるために，速度重要度を定義する。医療従事者が C 人いる時の速度重要度 VI は，単純にそれぞれの医療従事者の速度の総和によって次式で定義する。

$$VI = \sum_{k=1}^C \|\Delta v_k\| \quad (2)$$

速度重要度は，患者が搬送される時や，医師や看護師が立ち位置を変える時に値が大きくなると期待される。

4.3 映像重要度を用いたダイジェスト映像生成

最後に位置重要度と速度自由度を用いて救命診療の1分間のダイジェスト映像を生成する方法について説明す

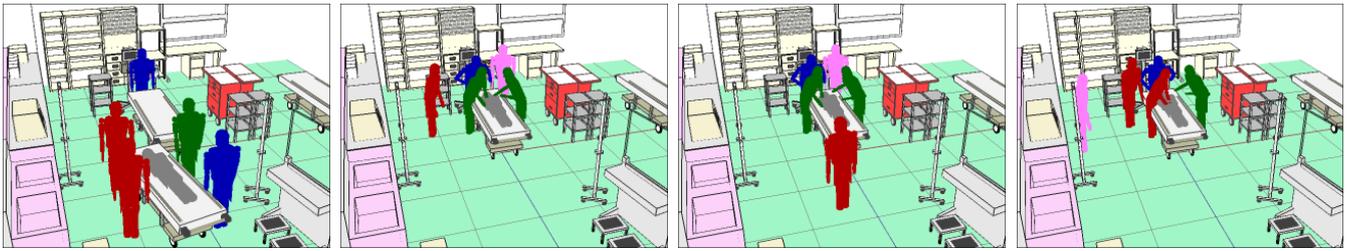


図 10 救命診療のダイジェスト映像
Fig. 10 Digest video of Emergency Care

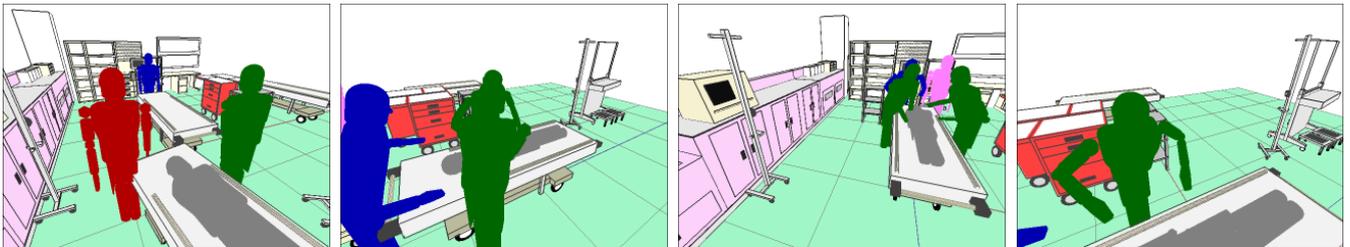
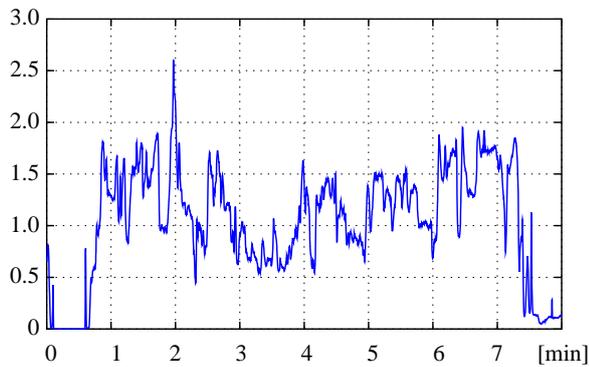
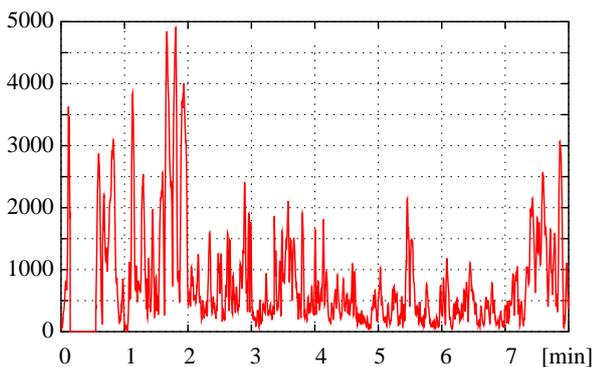


図 11 医師視点でのダイジェスト映像
Fig. 11 Digest Video from a Doctor's Viewpoint



(a) 位置重要度



(b) 速度重要度

図 9 映像重要度

Fig. 9 Degree of Importance of Image Sequence

る．1 分間の構成は位置重要度の総和の大きい 10 秒を 3 カットと，速度重要度の総和の大きい 15 秒を 2 カットで構成する．このような構成にすることによって，ダイジェスト映像には重要な動作をしている時間帯と動き

のある時間帯をバランスよく配置することができる．

5. 実験・考察

5.1 ダイジェスト映像生成

提案手法を用いて東京医科大学病院の救命室の診療ダイジェスト映像を自動で生成した．図 7 に示すように救命室の四隅にステレオカメラを設置し，それらの視差画像を用いて救命室を再構成した．

実際の診療映像から位置および速度に関する重要度を求めた結果を図 9 に示す．(a) が位置重要度を，(b) が速度重要度を示している．一般的に救命室において，医療従事者が動き回り続けているという状況は少ないため，位置重要度の値の変動は比較的穏やかなのに対して速度重要度の値は変動が激しい．

これらの映像重要度が最大になるように生成した映像を図 10 に示す．左から奇数枚目の映像が速度重要度によって選択された映像であり，偶数枚目の映像が位置重要度によって選択された映像である．視点は自由に選択することができるが，ここではカメラ位置 4 と同じ視点に設定した．搬送の時間帯や，気管挿管や心臓マッサージをしている時間帯，さらには医師に動きがある時間帯の映像を自動的に編集することができている．

5.2 考 察

救命室における医療従事者の位置や速度から映像重要度を求めることによって救命診療のダイジェスト映像を生成した．本手法について考察する．

- 救命診療の可視化

医療従事者の位置から心臓マッサージなどの動作を推定し，CG によって救命診療を可視化する手法を提案し

た．今回，最終的な視点は医師や患者がマウスで決定することを想定し，自由視点映像で実装したが，図 11 のように例えば医師が見た映像や患者家族が見た映像などを再構成することも可能である．このような映像は医師や看護師がどのような位置に立つのが適当かなどを考える材料にもなり得ると考えられる．

- 映像重要度によるダイジェスト映像生成

医療従事者の位置と速度から映像中の重要度を算出し，重要度の高い映像を編集することでダイジェスト映像を生成する手法を提案した．実際の救命診療シーンをを用いた実験では救命診療に重要と思われる搬入や気管挿管，心臓マッサージの動作が含まれていることを確認した．

- 共有する医療の実現に向けて

本プロジェクトの最終目標は共有する医療の実現である．本手法を用いて生成した映像を用いることで患者や患者家族を含めた共有する医療の実現が可能になるかを検証する必要がある．今後，例えば救急搬送体験者によるインタビューなどによってこれらのシステムの検証，および共有する医療に実現に向けて必要なことなどを明らかにしていく必要があると考えられる．さらに，研究プロジェクトでは映像解析だけではなく，ホットラインや診療中の社会的な会話分析に関する研究も行っている [11] ~ [13]．今後，映像解析および会話分析を融合することによって共有する医療の実現を目指していく．

- 今後の課題

提案手法では視点の決定までは言及せずに，見る人がマウスで自由に視点を決定できるようにした．最終的な映像生成を考えると視点までを自動的に決定することができれば，より見る人の負担を減らすことができる．これまでにも 3 次元物体をよく見せるための 3 次元情報発生量 [10] などが提案されており，これらを導入することでより良い視点の決定ができると考えられる．また，救命室内での動作を 4 種類に限定したが，実際にはもっと多くの動作が観測されている．認識する動作数を増やしてさらにリアリティを上げる必要があるが今後の課題とする．

6. ま と め

本稿では救命診療において，医療関係者はもちろんのこと，患者，患者家族を含めて納得を共有する医療の実現を目指し，救命室に設置したステレオカメラを用いて救命診療ダイジェスト映像の生成手法を提案した．さら

に実際の救命診療ダイジェスト映像を生成し，映像として重要な搬入や気管挿管，心臓マッサージなどのシーンが含まれていることを確認した．今後の課題としては，よりよい視点を自動的に決定すること，医療従事者の認識動作数を増やすことなどがあげられる．

謝辞：本研究成果の一部は RISTEX 委託の多視点化による共有する医療の実現に向けた研究の支援によるものである．

文 献

- [1] 総務省消防庁，“平成 22 年版 救急・救助の現況，”Dec. 2010．
- [2] 和泉 潔，奈良 温，伊関 洋，鈴木孝司，南部恭二郎，鎮西清行，村川正宏，坂無英徳，“手術室内の情報収集による術中モニタリングと手術戦略デスク，”電子情報通信学会誌，vol.94, no.4, pp.288-293, April 2011．
- [3] 大山永昭，“保健・医療分野の情報化の課題と展望，”信学論，vol.J83-D2, no.1, pp.34-41, Jan. 2000．
- [4] 大西正輝，依田育士，“ファジィクラスタリングを用いたステレオ画像からの動線抽出，”電気学会論文誌，vol.128, no.9, pp.1438-1446, Sep. 2008．
- [5] 依田育士，細谷大輔，坂上勝彦，“ユビキタスステレオビジョンによる駅ホーム端安全管理，”電学論 (C)，vol.124-C, no.3, pp.805-811, 2004．
- [6] James C. Bezdek, Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms (Advanced Applications in Pattern Recognition), Plenum Press, 1981.
- [7] Takeo Kanade, Peter Rander, and P. J. Narayanan, “Virtualized Reality: Constructing Virtual Worlds from Real Scenes,” IEEE Multimedia, Immersive Telepresence, vol.4, no.1, pp. 34-47, Jan. 1997.
- [8] 稲本 奈穂，斎藤 英雄，多視点スポーツ映像からの自由視点映像合成と提示信学論，vol.J88-D2, no.8, pp.1693-1701, Aug. 2005．
- [9] 益満 健，越後富夫，“映像重要度を用いたパーソナライズ要約映像作成手法，”信学論，vol.J84-D2, no.8, pp.1848-1855, Aug. 2001．
- [10] 山下拓也，青木茂樹，大西正輝，福永邦雄，“形状情報量の分布に基づくシーンの映像表現，”信学技報，PRMU2003-190, pp.25-30, Jan. 2004．
- [11] 川島理恵，行岡哲男，大西正輝，依田育士，“チーム医療の質的評価に関するステレオカメラと会話分析による方法論的検討，”第 36 回日本救急医学会総会・学術集会，1-10-6, Oct. 2008．
- [12] 川島理恵，黒島智美，太田祥一，織田 順，三島史朗，川原千香子，大西正輝，依田育士，行岡哲男，“救急現場における医師 - 患者家族間コミュニケーション：死亡宣告時の家族対応について，”第 39 回日本救急医学会総会・学術集会，Oct. 2011 (発表予定)
- [13] 黒嶋智美，川島理恵，太田祥一，織田 順，三島史朗，川原千香子，大西正輝，依田育士，行岡哲男，“共通認識による交渉時間の短縮化：ホットラインにおける東京ルール前後比較，”第 39 回日本救急医学会総会・学術集会，Oct. 2011 (発表予定)