

看護実習用患者ロボットの開発

Development of Patient Robot for Nursing Training

北川与史郎, 土屋智子, 宋薇, 見浪護 (福井大)
前泰志 (大阪大)

*Yoshiro KITAGAWA, Satoko TSUCHIYA, Wei SONG, Mamoru MINAMI (University of Fukui)
Yasushi MAE (Osaka Univ.), {kitagawa,tsuchiya, songwei,minami}@rc.his.fukui-u.ac.jp

In this paper, we propose a patient robot whose feeling changes as varying time by making use of chaos orbit to create human's psychology and we develop a system for the effective injection training. For confirming the effectiveness of this patient robot, according to experiment with patient robot using by student nurses, we measure heartbeat of student nurses at four different experiment conditions and we get questionnaire concerning with injection training and patient robot. In addition, we propose visual servoing by making the patient robot do some motions like human. Visual servoing to 3D head pose has been performed by the motions of eyes, neck and waist of the patient robot to keep the human's front face in the center of input images in left and right eyes.

Key Words: Patient robot, Visual servo, Emotion model

1. 緒言

今日, 高齢化社会が進み, 高度な医療技術が求められている。しかし, その一方で十分な訓練が行えないことによる医療ミスも起きている。特に看護において看護者は患者の様子を常に観察して, 患者が安心して安全に看護を受けられるように配慮しなくてはならない。そこで, 看護技量を高めるために, 看護学生が患者からの反応に対応する訓練のできる教材が必要である。

注射の練習に注目すると, 現存するシミュレータでは注射動作そのものの練習は出来ても, 相手の状況を窺いながら注射をする練習はできていないという状況がある。そこで本研究では, 看護学生の注射技術向上のため, 人間らしい振る舞いをする注射練習用患者ロボットの開発を行っている。

人間らしさを表現するための方法として, 人間は人の顔から多くの情報を得てコミュニケーションに利用していることに注目した。そのことから, ロボットが人間の顔から情報を得ることができるようになれば, 人間らしい振る舞いに近づくのではないかと考えた。ロボットが人間の顔から情報を得るには, まず顔の正面を見ることが重要である。そこで, 顔の正面を見るためには顔の位置/姿勢認識によるビジュアルサーボのシステムが必要になってくる。そこで本研究では, 患者ロボットによる人間の顔に対するビジュアルサーボを行うことで, 患者ロボットの振る舞いが人間らしくなるのかという検証を行う。

また, 以前提案された患者ロボットがカオスによって表情生成を行う [1] ことにより, 時間的に変化する感情を持った患者ロボットの有効性の検証を行う。まず, 患者ロボットは看護者が注射動作中に患者の顔を見ているかどうかを, 患者の視点から見た正面顔を検出することによって評価可能である。また, サーボモータを用いることにより患者ロボットは標準顔, 笑っている顔, 怒っている顔, 痛そうな顔の表情生成が可能であり, 腕や首, 腰も電動アクチュエータやステッピングモータにより動かすことができる。これらの機能を用いて患者ロボットの行動を生成し, 看護学生による注射実習を行う。

2. 患者ロボットの人間らしさの表現

2.1 人体モデル

患者ロボットの人体モデルには万能型実習モデル“さくら”を使用している。文献 [1] で試作した頭の部分で 9 自由度をもつ患者ロボットに改良を加えたものを使用する。具体的には, 看護師を認識する際に顔を上下左右方向に向けられるようにするため, 首には電動アクチュエータを取り付けた。さらに, 注射

時の抵抗などの動作を可能にするため, 肩, 腰の回転にはステッピングモータを, 腕・腰の傾斜用に電動アクチュエータを取り付けた。各部の構造を Fig.1 に示す。これにより, 肢体だけで 6 自由度を確保することができた。今回試作した患者ロボットは計 15 自由度を保持していることになる。

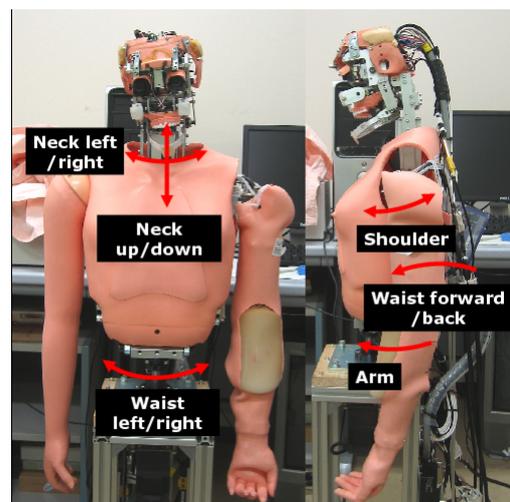


Fig. 1: Structure of patient robot

2.2 顔の認識手法

人間のように相手の顔を見続けることによって, ロボットが人間らしさを得ることができると考える。そこで, 患者ロボットの目, 首, 腰の動きによって人間の顔をカメラ画像の中心に捉え続けるビジュアルサーボを行い, 人間のような動きを生成する。注射実験では 1 台のカメラによる平面モデルを用いた Model-based Matching を行うが, ビジュアルサーボ実験では 2 台のカメラによる立体モデルを用いた Model-based Matching を行う。

ビジュアルサーボで用いる認識手法は基本的には文献 [2] と同様の手法であるが, 姿勢の表現方法をロール・ピッチ・ヨーからクォータニオン ($\Phi = \{\eta, \epsilon\}$) [3] へと変更している。これにより, $[-\pi, \pi]$ の範囲で姿勢を表す場合に, ロール・ピッチ・ヨーで発生する特異姿勢をなくすることができる。

2.3 感情モデル

人間に感情があるようにロボットにも感情があれば、より人間らしい振る舞いができるのではないかと考え、Fig.2のような感情モデルを提案する。患者ロボットの表情や行動は、Fig.2の $(y(t), x(t))$ の座標に依存して決定される。ここで、時々刻々と変化する感情を生成するために、Fig.2のX軸、Y軸をカオスの軌道によって変化させることを考える。そのカオス軌道の例として、レスラーモデルの非線形微分方程式を示す。

$$\dot{x} = -y - z \quad (1)$$

$$\dot{y} = x + ay \quad (2)$$

$$\dot{z} = b + (zx - c) \quad (3)$$

$$(a = 0.2, b = 0.2, r = 5.7)$$

式(1),(2),(3)の x, y, z 空間内の解軌道をFig.3に示す。このカオスの $x-y$ 平面軌道を別々に $x(t), y(t)$ とし、時間軌道を描いたものがFig.??である。これを $x(t), y(t)$ をX軸Y軸に用いることで感情を変化させる。二つのカオス軌道 $x(t), y(t)$ はある周期軌道に収束することはなく、常に新しい時間軌道を生成し続ける。そのため、ロボットの行動表現は、二度と繰り返すことのない無限のバラエティを持つことになる。しかし、現在は痛みセンサなどの注射の技量を測定するためのセンサがないため、Y軸は考えないものとする。

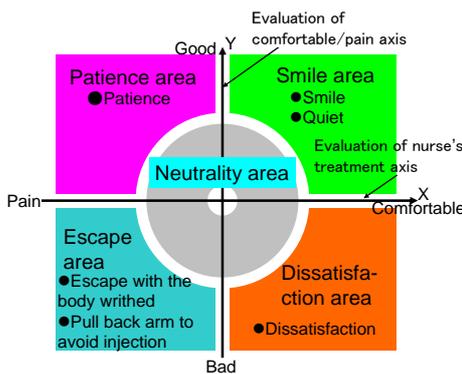


Fig. 2: Emotion model of patient robot

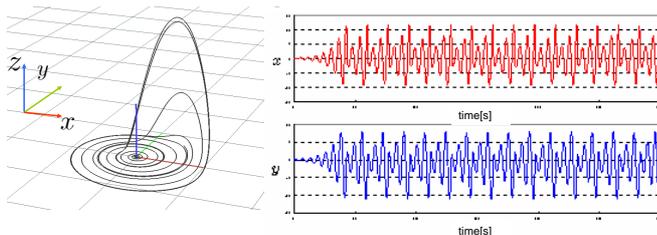


Fig. 3: Rössler model solution trajectory

Fig. 4: $x(t), y(t)$ time orbit

3. 実験

3.1 患者ロボットによるビジュアルサーボ

顔の認識結果を用いた患者ロボットによる3Dビジュアルサーボ実験を行った。患者ロボットの両目のカメラによって対象の顔の位置/姿勢を認識し、その情報をもとに対象の顔が移動したときに患者ロボットの可動部を動かすことで、カメラ画像中央に対象を捉え続ける実験である。可動部は両目カメラのパン(左右個別)・チルト(左右同時)、首上下・左右回転、腰前後傾斜・左右回転の3箇所7自由度である。それぞれの角度変数を $p_l, p_r, t, n_x, n_y, w_x, w_y$ とし、単位は[deg]とする。また、それらの正負の符号は右手系カメラ座標系 Σ_{CR} によって定める。

実験では、いくつかの条件を設定し、条件に基づいてサーボイングを行うかどうか決定する。設定する条件は、以下の4つとする。

条件(1): 認識結果の適合度が一定値以上あること

条件(2): 設定した画像中心領域(A_C)に顔を認識したとき

条件(3): 画像中心領域(A_C)の外部領域(A_O)に顔を認識したとき

条件(4): 首、腰の可動範囲を超えていないこと

条件(1)は正確な認識ができていないままサーボイングを行わないため、条件(2)(3)は画像の中心領域を設定するため、条件(4)はロボットのモータ保護のためである。また、初期段階では首によってサーボイングを行う。首の可動範囲を超えた場合、腰によるサーボイングを行うことでカメラを向けられる範囲を広げる。さらに、腰の可動範囲も超えた場合はサーボイングを行わないこととする。

認識では、立体モデルの位置/姿勢情報をもつ遺伝子を平面モデルへと射影、適合度関数によって評価し、その時点で最も適合度の高い遺伝子を選ぶことで対象の顔の位置/姿勢 $(x, y, z, \epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3)$ が得られる。そこで条件(1),(3),(4)を満たすとき、Fig.5のような右カメラ座標系 Σ_{CR} と対象の顔の座標系 Σ_M との関係から、角度偏差 $\Delta\theta_1, \Delta\theta_2$ を Σ_{CR} 座標系で認識した顔の位置 (x, y, z) を用いて、次式で与える。

$$\Delta\theta_1 = \text{atan2}(y, z) \quad (y \in A_O) \quad (4)$$

$$\Delta\theta_2 = \text{atan2}(x, z) \quad (x \in A_O) \quad (5)$$

現在の首の上下左右回転角度 (n_1^i, n_2^i) と角度偏差 $\Delta\theta_1, \Delta\theta_2$ から、画像の中心領域に顔を捉えるための目標角度 $(n_{1d}^{i+1}, n_{2d}^{i+1})$ が式(6),(7)より求められ、角度 $(n_{1d}^{i+1}, n_{2d}^{i+1})$ へとサーボイングを行う。首の可動範囲を超えた場合は腰の回転角 (w_1, w_2) に同様の式を用いる。

$$n_{1d}^{i+1} = n_1^i + \Delta\theta_1 \quad (6)$$

$$n_{2d}^{i+1} = n_2^i + \Delta\theta_2 \quad (7)$$

このとき、角度 n_1, n_2, w_1, w_2 は正面を0[deg]とする。また、目のパン・チルトを用いることで視線を中央、上下左右、右上、左上、右下、左下の9方向に向けることができる。これを用いて中心領域内部での微調整を行う。条件(1)(2)を満たす場合にはサーボイングを行わない。

実際の実験では、適合度1.0以上のときサーボイングを行うこととし、中心領域 A_C は x が ± 40 [mm]内、 y が ± 20 [mm]内の範囲に設定する。また首の可動範囲は左右 ± 30 [deg]以内、上下 -8 [deg]~ 4 [deg]以内、腰の可動範囲は左右 ± 30 [deg]以内、前後傾斜 -15 [deg]~ 10 [deg]以内とした。

実験結果をFig.6に示す。Fig.6(a)~(e)はそれぞれ適合度、画像内での位置 (x, y, z) 、姿勢 $(\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3)$ 、首・腰の回転角度、目が向いている方向を示している。Fig.6(a)(b)(d)(e)より、認識結果がサーボイング条件を満たしたとき、対象が画像の中央になるようにサーボイングを行えていることが分かる。特にFig.6(a)(b)に注目すると、適合度1.0以上で x, y が中心領域外にあると認識した場合に、 x, y の値がすぐに中心領域外から中心領域内へと移動していることが分かる。このことから、顔を視界の中心に捉え続けるビジュアルサーボは成功しているといえる。また、ビジュアルサーボによって人間のような振る舞いが生成できることを確認した。

3.2 注射実験

3.2.1 行動パターン

看護学科で実験を行うにあたり、Fig.7のようなロボットの行動パターンを考えた。注射を開始してから注射器を持つまでを、注射器を持ってから刺すまでを、注射器を刺してから抜くまでを、注射器を抜いてから注射が終了するまでをとし

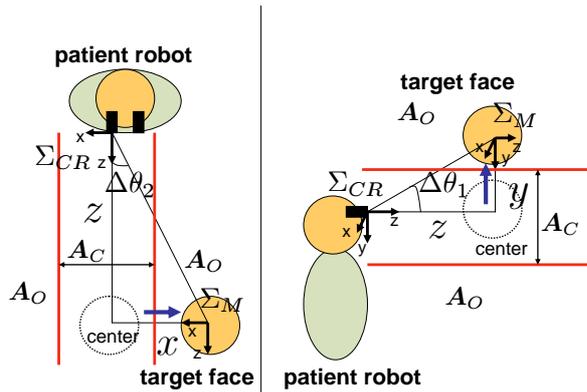


Fig. 5: Angle of servoing

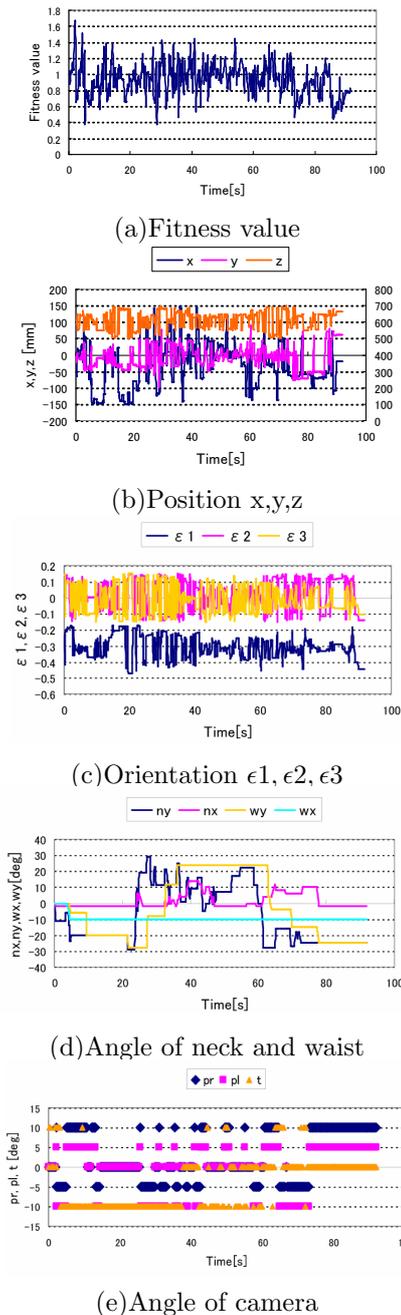


Fig. 6: Recognition and servoing result

て4つの部分に分け、それぞれの部分で行動を与えた。各部分に移るときにボタンを押すことで、行動を変化させる。

ここで、表情の生成条件について説明する。患者ロボットは、Model-based Matching 法と GA 探索により顔の検出を行う。適合度関数を $F(0 \leq F \leq 1)$ と表し $F(t) \geq 0.7$ を満足する時間 t の総和に対する全実験時間 T の割合を f とする。さらに、この割合 f を $-1 \sim 1$ に標準化した値を $r(0 \leq f \leq 1)$ とする。

$$r = 2.0 \cdot f - 1.0 \quad (8)$$

これにより、感情の閾値 Q は次式で表される。

$$Q = r \quad (9)$$

また、カオス軌道の時間変化 $x(t)$ を用いた感情生成を行う場合、感情の閾値 Q は次式で表す。

$$Q = r + x(t) \quad (10)$$

カオス軌道には 2.3 節で説明したレスラーモデルを用いる。この値の変化によって、ロボットの表情は変化する。

まずでは、患者ロボットは顔検出を行い、その結果から表情生成を行う。 $Q > 0.2$ の場合、患者ロボットは笑った顔をする。 $Q < 0.2$ のときは普通の顔をする。注射を持つ前であるため、痛がったり腕を動かしたりはしない。

次にでは、ボタンを押した瞬間に普通の顔で嫌がる、或いは普通の顔のみの動作をする。どちらの動作を行うかはカオスによって決定する。これらの動きをした後は、と同様に正面顔の検出を行う。 $Q > 0.2$ のときは、患者ロボットは笑った顔をする。 $Q < -0.2$ のときは、痛い顔をして腕を引いて注射を嫌がる。それ以外のときは普通の顔をする。

では、ボタンを押した瞬間に A, C の痛い顔だけ、あるいは B, D の痛い顔をして注射を嫌がる動作のどちらかを行う。どちらの動作を行うかは、固定する場合もあるがカオスによって決定する場合もある。これらの動作をした後は、と同様に正面顔の検出をする。表情や動作の生成条件は、と同じである。

では、と同様に正面顔の検出を行い表情や動作の生成条件は、と同じであるが、では既に注射は抜いているので、痛い顔をしたときに腕は動かさない。

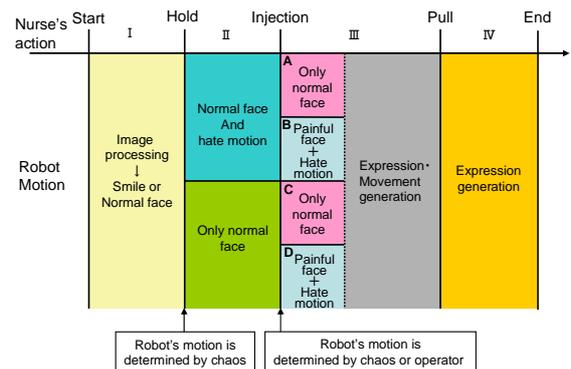


Fig. 7: Action pattern

3.2.2 実験方法

この節では患者ロボットの有効性を確認するために行った実験の方法について述べる。本研究で開発中の患者ロボットは看護学生のトレーニングを対象としているため、今回の実験では看護学生を被験者にした。

実験では腕モデル、人形(患者ロボットは動かない)、固定(感情の閾値が固定)、カオス(感情の閾値がカオスで変化)の4パターンいずれかのモデルを相手に実際の採血の手順に基づいて採血を行ってもらった。これら4つのパターンについては、後

ほど詳しく説明する．その時，看護学生の手には脈拍計を装着し，採血中の心拍数を測定した．実験は1人が同じパターンを4回連続で行った．ロボットの行動に人間がなれてしまうことを防ぐため，各パターンごとに注射をする人を交代した．また，データの信頼性を高めるために各パターンごとに2人ずつ行い，合計8人32回の実験を行った．このとき使用した脈拍計は，日本精密計測(株)のパルスコーチ neo HR-40であり，4秒毎に脈拍数の計測を行うモードで使用した．

ここで，先程述べた4つのパターンについて詳しく説明する．『腕モデル』とは人間の腕だけを模したモデルのことであり，普段，看護学生は，このようなモデルを用いて注射の練習を行っている．

『人形』とは，患者ロボットを全く動作をさせない状態のことである．先程説明した腕モデルとの違いは，腕だけを模したモデルではなく，全身を模したモデルであるという点である．

『固定』とは，患者ロボットの感情の閾値が固定の状態である．このときの感情の閾値 Q は式(9)で与える．『カオス』とは，患者ロボットの感情の閾値がカオス軌道によって変化する状態のことである．このときの感情の閾値 Q は式(10)で与える．固定との違いは，患者ロボットの動きが予測不可能な点である．これはカオス軌道が二度と同じ軌道を通らないためである．感情の閾値が固定の場合と感情の閾値がカオスで変化する場合のロボットの行動は3.2.1節で述べた行動パターンに従う．カオスの場合は注射開始から終了まで，感情の閾値がカオス軌道によって変化する．

3.2.3 実験結果

実験の様子を Fig.8 に示す．Fig.9 は腕モデル，人形(患者ロボットは動かない)，固定(感情の閾値が固定のとき)，カオスで閾値を変化させたときのスタートから持つ(K_1 とする)，持つから抜く(K_2 とする)，抜くから終了(K_3 とする)のそれぞれの区間の心拍数の傾きの平均を示すグラフである．Fig.9内の0から2，2から4，4から6の区間がそれぞれスタートから持つ，持つから抜く，抜くから終了に対応している．これらの傾きは，最小二乗法によって求めた．心拍数の傾きが正であれば常に緊張感を持って注射ができていた状態であるといえる．逆に，心拍数の傾きが負であるならば緊張感がなくなっている状態であるといえる．注射において，一番重要かつ事故が発生しやすい動作は注射器を持ってから，抜くまでの動作である．よって，ここで特に持つから抜くの部分に注目すると，カオスを利用したときだけ持つから抜くの区間の看護学生の心拍数の傾きが正となっている．すなわちカオスを利用したときだけ，看護学生は緊張感を持った演習ができていたといえる．よってロボットの個性にカオスの軌道を利用することは有効であるといえる．



Fig. 8: Injection experiment

3.2.4 アンケート

実験の前後に，看護学生へのアンケートを実施した．ここではその結果を示す．今回アンケートに協力してもらったのは，女性32名，男性7名の合計39名である．

- 問A：今回の採血演習は腕モデルを使用した採血の学内演習と比べて学習効果は上がると思いますか

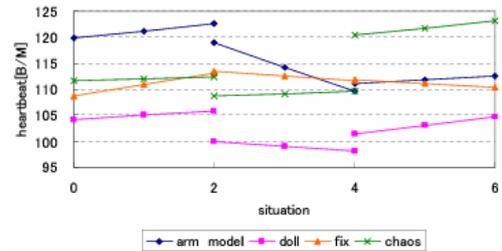


Fig. 9: Inclination of heartbeat(average)

Table. 1: Result of question A,B,C

Question	Pretty think	So think	Not so think	No think	No entry
A	20.5%	69.2%	7.7%	0.0%	2.6%
B	15.4%	17.9%	64.1%	0.0%	2.6%
C	43.6%	43.6%	10.3%	0.0%	2.6%

- 問B：今回の採血演習は学生同士で実施する採血の学内演習と比べて学習効果は上がると思いますか
- 問C：表情や身体運動など反応する患者ロボットは，腕モデルと比べて，より人体に近いと思いますか

問A，B，Cの結果を Table.1 に示す．問Aでは，1のかなり思うや2のやや思うを選んだ理由として患者ロボットが動くので反応を見ながら練習できるからという意見が多かった．

問Bでは，3のあまり思わないを選んだ理由として学生同士の方が不安を声で聞けるから，血管の感覚がつかめるからという意見が多かった．逆に，1のかなり思うを選んだ人では学生同士だと多少の痛さは我慢してしまう人が多いからという意見が多かった．

問Cでは，1のかなり思う，2のやや思うを選んだ人は全体の約87%もいた．このことより患者ロボットを用いることで，腕モデルより実際の注射に近い状態での練習ができるといえる．

4. 結言

患者ロボットによる顔認識を行い，移動する顔をカメラ画像の中央に捉え続けるビジュアルサーボが可能であることを示した．また，これにより人間のような振る舞いを生成することができた．

さらに，カオスの軌道を人間の心理状態の生成に生かすことで，時間的に変化する感情を持った患者ロボットを用いて看護学生による注射実験を行った．その結果より，カオスを感情生成に用いた患者ロボットは腕モデルや人形，固定閾値で変化する患者ロボットを相手にトレーニングを行うよりも緊張感を持つことができ，より効果的にトレーニングができるといえる．また，アンケート結果から，患者ロボットは学生の練習に対して有意義なものであることを確認した．

参考文献

- [1] 前泰志(大阪大)，橋本智治，土屋智子，見浪護(福井大)，大西武夫(システムワン) “看護実習用患者ロボットの感情モデルに基づく表情生成”，日本ロボット学会学術講演会予稿集(CD-ROM)Vol.25th Page.2J26，2007.09.13
- [2] Wei Song, Mamoru Minami and Yasushi Mae, “Evolutiveary Head Pose Measurement by Improved Stereo Model Matching”, SICE-ICASE International Joint Conference 2006, 18-21, 2006.
- [3] B.Sciciliano and L.Villani:“Robot Force control”, ISBN 0-7923-7733-8