

新たなコミュニケーションメディアとしてのアンドロイドの開発 —正弦波による自然な周期的運動の生成—

丸林実雄 (大阪大学) 港隆史 (大阪大学) 石黒浩 (大阪大学)

Development of an Android as a New Communication Media: Natural Rhythmic Motion based on a Sinusoidal Wave

*Norio MARUBAYASHI (Osaka University), Takashi MINATO (Osaka University),
Hiroshi ISHIGURO (Osaka University)

Abstract— The humanlike appearance of android enables natural human-robot communication. Our research purpose is to realize a new *human presence media* that gives the sense that a sentient individual is present. It is, therefore, inevitable to study methods of generating natural motions in a multi-degree of freedom android. The problem is not how to duplicate human motion, but how to generate motion that give the impression of a person. In this paper, we mention several basic ideas of generating natural motion and propose a method to generate the motion by tuning parameters of sinusoidal waves.

Key Words: Android, Communication media, Natural motion, Multi-DOF, Rhythmic motion

1. はじめに

近年、日常活動型ロボットの研究開発が盛んになってきているが、その中でも特にヒューマノイドロボットは注目を集めている。産業ロボットの形態がその機能から決定されているのと同様に、ヒューマノイドロボットの人間の姿にもいくつかの機能がある。その中の最も重要な機能は、人間の日常生活の中で人間と自然なコミュニケーションをもたらすことである。すなわち人間と自然なコミュニケーションを行うことができる存在であるということに、ヒューマノイドロボットの大きな存在意義がある。この存在意義を最大限に生かすとヒューマノイドロボットは、人間に対する感覚と同じ感覚でコミュニケーションを行うことができる新たなメディアとなりうる。すなわちこれまでのコンピュータインターフェースでは実現できなかった、新たな存在感のあるメディアとなる。

存在感のあるメディアを実現する上で問題となるのはその形態である。これまで種々のヒューマノイドロボットが開発されているが、機械らしい見かけがよいのか、人間にできるだけ近い見かけがよいのかという問題については研究されていない。我々はその答えとして、究極の存在感は人間にできるだけ近い姿、動作を有するロボットにあると考える。本研究ではこの答えを確かめるべく、人間として認識される新たなメディアの実現を目指して研究を行っている。

人間に酷似したロボットを作るためには、人間の運動機構と等価な運動が可能な機構を作成することが考えられる。しかし人間の筋骨格を完全に実現する機構を追究すると、人間に酷似した見かけの実現との両立が困難となる。本研究ではこれまでに、見かけを可能な限り人間に近づけ、かつその制約の下で多自由度の関節を有するヒューマノイドロボットを開発した。本研究ではこのロボットをアンドロイドと呼んでいる。このアンドロイドが人間として認識されるためには、ど

のようにして人間が自然と感じる動作を生成するかが問題となる。

動作を生成するためには、各関節位置軌道を与えなければならないが、多自由度ロボットにおいてはそれらをすべて手動で設計するのは困難である。従って、低次元パラメータ空間での動作の設計が必要となる。マニピュレータの軌道生成においては、例えば [1] のように人間の動作特性を解析し、その特性に従った評価関数に基づく軌道生成手法などが提案されている。またモーションキャプチャで計測した人間の運動データをロボットにマッピングして動作を生成する手法が考えられる。そのためには自由度の異なる人間とロボットの関節角空間のマッピングが必要となる。合志ら [2] は超多自由度の人間筋骨格モデルの姿勢と低自由度ロボットの姿勢の間の写像を求める手法を提案している。しかしこれらの研究では、実際の多自由度ヒューマノイドロボットの動きの自然さを評価するまでには至っていない。

一方、自然な動作生成についてはコンピュータグラフィックスの分野で研究が行われている。例えば [3, 4] ではCG エージェントの動作の自然さを、首や腕のわずかな動作の有無やノイズの有無など、細かな動作にまで及ぶ項目について評価している。またコミュニケーションにおける動作を考えると、会話相手に対する反応の自然さも追究されなければならない。渡辺 [5] の研究が示すように、相手の動作に同調するロボットの動作が、コミュニケーションにおける動作の自然さを増すのは明らかである。

また自然さの実現に関して、機械的な外観を持つヒューマノイドロボットと異なり、アンドロイドには「不気味の谷」[6] という問題がある。これは森が示したロボットの性質で、Fig.1 に示すように、ロボットの見かけおよび動作が人間のそれに近づくと、人間に与える親近感が増加するが、人間とわずかに違う部分では

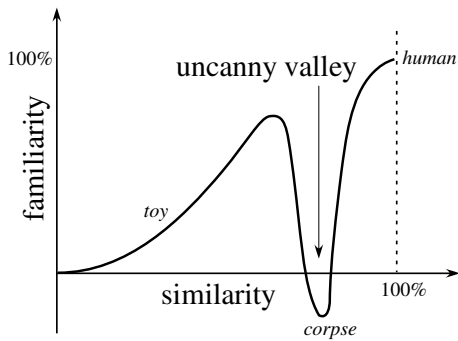


Fig.1 Uncanny valley

Table 1 Degree of freedom

	Degree of freedom
Eyes	5
Mouth	1
Neck	3
Arms	9×2
Torso	4

不気味さを与えるというものである。従来のヒューマノイドロボットでは谷の左側に位置すると考えられるが、人間と酷似した見かけを持つアンドロイドでは谷底から右側に位置すると考えられる。この不気味の谷の存在により、従来研究の評価がそのままアンドロイドにも適用できるとは限らない。従って実際にアンドロイドを用いた評価が必要である。

そこで本研究では人間と酷似した見かけを持つアンドロイドロボットが自然なコミュニケーションを実現するための動作生成に関する研究を行う。以下では開発したアンドロイドを紹介し、自然な動作生成のためのいくつかの基本的考えについて述べる。次にその1つとして、正弦波を用いた動作生成について説明し、簡単な実験結果を示す。

2. 開発したアンドロイド

開発したアンドロイド (Repliee Q1) を Fig.2 に示す。見かけは成人女性で、上半身の見える部分はすべてシリコン製の皮膚で覆われている。上半身に 31 自由度 (Table 1) の関節を有しており、それらは全てエアアクチュエータにより駆動される。またエアアクチュエータはダンピング特性があり、コンプライアンス制御なしに柔らかな制御が実現できる。この特性は実際にアンドロイドと触れ合うコミュニケーションにおいて有効である。センサとして piezo 素子を利用した高感度皮膚センサを上半身の 11 カ所の皮下に備える。このセンサは素子の変形速度に応じた値を出力するため、皮膚を強く叩く、軽く触れるなどを識別することができる。アンドロイドの制御は外部コンピュータから各関節の位置を指令することにより行う。アクチュエータは回転型、直道型が混在しており、直道型が使われている関節では、指令値が関節角度に比例しない。



Fig.2 Android "Repliee Q1"

3. アンドロイドの自然な動作

多自由度のアンドロイドの動作を生成するために、各関節位置軌道を全て手動で設計するのは非常に膨大な作業であり、かつ汎用性がない。これを解決するためには、何らかの評価に基づいて自動的に動作を生成する手法が必要である。ここでは自然な動作を生成するためのいくつかの基本的考えをに示す。これらの基本的考えはすべて独立なものではなく、相互に関係するものである。

3.1 正弦波による動作生成

人間の運動パターンは周期的運動と離散的運動に分けられるが、Schaal ら [7] は人間の腕などの周期運動が関節角空間における滑らかな正弦波運動生成の結果であることを示している。また人間の腕の二次元運動における関節角軌道が、ある範囲であれば正弦波のみで表現できることを示している研究もある。コンピュータグラフィックスの分野では、Perlin [8] が CG エージェントの動作生成において、各関節を正弦波状のノイズパターンで動作させ、そのノイズのパラメータを変更することにより種々の動作を実現させている。アンドロイドにおいても、正弦波状の関節位置軌道を与え、そのパラメータのみを調整することによって周期的動作を生成する手法が考えられる。

3.2 意識的 / 無意識的動作

人間の動作を観察すると、眼球の運動、呼吸による肩や胸の運動、立位姿勢における微小揺動など、無意識に生じる様々な運動がある。また個人の癖なども無意識に生じる動作である。ヒューマノイドロボットの研究では、Miyashita ら [9] は同軸 2 輪倒立振子型ヒューマノイドロボット Robovie-III において、動作とは無関係に現れる倒立制御による揺動が、ロボットの動作の自然さを増すことを示している。またコンピュータグラフィックスの分野では、CG エージェントの動作にノイズを付加することにより、動作の自然さを増すことができることが示されている [3, 4]。このような無意

識に生じる動作は、わずかな動作ではあるが、人間に酷似した見かけを持つアンドロイドにおいては重要な要素だと考えられる。

また上記のような無目的の動作ではなく、目的を持つ動作においても意識的に行う動作と無意識的に行う動作がある。人間はパターン化された運動、作業などは無意識的に動作を生成している。無意識的な動作は感覚入力の予測モデルを予め持っており、実際の感覚入力がそれに従っている限り、パターン化された運動を行っていると考えられる。このような意識的動作、無意識的動作の違いは見た目にも現れる。そこでアンドロイドの動作生成においても、意識的動作と無意識的動作の二重制御構造を用意することで、より自然な動作を生成することができると考えられる。

3.3 自身/相手との同調動作

人間は、右腕と左腕の同調した運動など、様々な部位間で同調した運動を行う。また自身の発話に対して無意識的に同調する動作を見せる。このような同調動作はアンドロイドにおいても、自然な動作を実現するために重要である。発話音声との同調に関して、音声波形から自動的に口の動作を生成する手法が考えられる。また単語の区切れと同時にわずかな頷きを発生させるというように、音声特徴から無意識的動作を自動的に発生させる手法が考えられる。

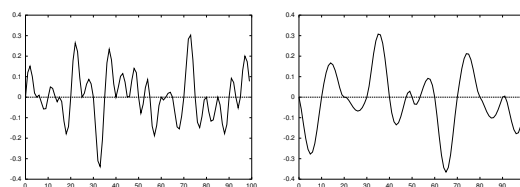
また他人とのコミュニケーションを行う場合、相手の発話、動作と同調する動作も自然な動作生成に重要な要素となる。コミュニケーションロボットにおいて、相手発話、動作との同調動作により、自然なコミュニケーションを実現しようとする研究がある [5, 10]。アンドロイドにおいても相手との同調に基づいて自動的に動作を生成する手法が有効である。

4. 正弦波による周期的動作生成

アンドロイドの自然な動作生成手法として、全関節を正弦波あるいは正弦波の組み合わせにより動作させ、その周期、振幅、位相等のパラメータを調節することにより種々の周期的動作を生成する手法を構築する。それでもなお多自由度ロボットにおいては膨大なパラメータ空間となる。しかし種々の動作を生成した場合、各関節の運動はすべて独立ではなく、相関関係を持っていると考えられる。そこで自然な動作を生成するための抽象化されたパラメータ (例えば関節 1 と関節 2 の振幅比というパラメータ) を探索し、少数のパラメータ調節で動作生成可能なシステムの構築を目指す。

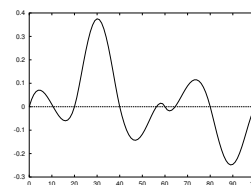
これまで、周期信号生成器として CPG (Central Pattern Generator) を用いてロボットの動作を生成する研究が数多く行われている。これらの研究では CPG に外界との相互作用により生じた感覚入力をフィードバックすることにより、ロバスタな歩行 [11, 12] やリズム音に合わせたドラム打撃 [13] などを実現している。これらの研究では目的の動作を生成するために、複雑な CPG, CPG ネットワークの構造、センサフィードバックなどが研究されているが、本研究は多自由度ロボットの動作をより単純なシステムにより生成することを目指す点でこれらの研究と異なる。

まず初期の実装として、ランダムな正弦波状の指令



(a) $T=5$

(b) $T=10$



(c) $T=20$

Fig.3 Examples of Perlin noise

値をすべての関節に与えて動作を生成するプログラムを作成した。指令値は Perlin ノイズ [14] により生成した。これはコンピュータグラフィックスの分野でテクスチャ作成に用いられるノイズであり、指定した周期 T で必ず原点に戻ってくるランダムな周期的信号を生成する。Fig.2 にいくつかの例を示す。この出力値に適切な値をかけたものをそのまま指令値とし、周期を関節ごとに変更できるようにした。

次に周期を種々に変化させ、どのような動作が生成されるか試みた。このとき左右の腕、肩の関節には同じ指令値を与えた。また顔は動作させなかった。各関節をランダムな周期的指令値を与えると、Perlin が CG エージェントで示したように [15]、あたりを見回し大きく腕を動かしながら演説しているような動作になる。この実験中に時折、人間が動作しているように見える動作が観察される。その例を Fig.4,5 に示した。図中の数値はフレーム数 (1 フレームは 33[msec]) である。Fig.4 は両腕を前に広げる動作、Fig.5 は両腕を下に広げて強く否定するような動作である。印象評価実験は行っていないが、この実験により正弦波のパラメータ調整のみで、人間らしい自然な動作を生成可能であることを確認した。今後引き続き、正弦波のパラメータ調整による動作生成手法の構築を行う。

5. おわりに

本研究では新たな存在感のあるメディアの実現を目指し、自然な動作、コミュニケーションを行うことができるアンドロイドの開発を提案した。そして自然な動作の生成が基本問題であることを示し、そのためのいくつかの基本的考えについて述べた。本報告では、正弦波を用いた動作生成について単純な実装を試みただけであるが、今後この手法について研究を進める。

参考文献

- [1] 加島正, 石動善久. ヒトの運動軌道を目指したマニピュ



Fig.4 Example of generated motion 1



Fig.5 Example of generated motion2

- [6] 森政弘. 不気味の谷. *Energy*, Vol. 7, No. 4, pp. 33–35, 1970.
- [7] S. Schaal and D. Sternad. Origins and violations of the 2/3 power law in rhythmic 3d movements. *Experimental Brain Research*, Vol. 136, pp. 60–72, 2001.
- [8] K. Perlin. Real time responsive animation with personality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 1, No. 1, pp. 5–15, 1995.
- [9] T. Miyashita and H. Ishiguro. Natural behavior generation for humanoid robots. In *Proceedings of IEEE International Conference on Humanoid Robots*, 2003.
- [10] 畠山誠, 西田豊明. 同調動作に基づくロボットと人間のコミュニケーション. 第 17 回人工知能学会全国大会論文集, pp. 1D1–05, 2003.
- [11] 多賀巖太郎. 歩行の創発. *日本ロボット学会誌*, Vol. 15, No. 5, pp. 680–683, 1997.
- [12] 福岡泰宏, 木村浩. 四足ロボットの生物規範型不整地適応歩行-体性感覚・前庭感覚による調節-. *日本ロボット学会誌*, Vol. 19, No. 4, pp. 510–517, 2001.
- [13] 琴坂信哉, S. Schaal. 神経振動子を用いたロボットのリズム的な運動生成. *日本ロボット学会誌*, Vol. 19, No. 1, pp. 116–123, 2001.
- [14] K. Perlin. An image synthesizer. *Computer Graphics*, Vol. 19, No. 3, pp. 287–296, 1985.
- [15] Ken perlin's homepage.
<http://mrl.nyu.edu/~perlin/experiments/fiend/>.

レータの軌道計画. *日本ロボット学会誌*, Vol. 16, No. 8, pp. 1131–1137, 1998.

- [2] 合志剣之助, 中村仁彦, 岡田昌史. 低自由度ヒューマンフィギュアとの双方向変換を用いた大自由度人体筋骨格モデルの運動制御. *ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集*, pp. 2P1–3F–C5, 2003.
- [3] J. K. Hodgins, J. F. O'Brien, and J. Tumblin. Perception of human motion with different geometric models. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 4, No. 4, pp. 307–316, 1998.
- [4] B. Bodenheimer, A. V. Shleyfman, and J. K. Hodgins. The effects of noise on the perception of animated human running. In *Proceedings of Eurographics Animation Workshop*, pp. 53–63, 1999.
- [5] 渡辺富夫. 身体的コミュニケーションにおける引き込みと身体性—心が通う身体的コミュニケーションシステム e-cosmic の開発を通して—. *ベビーサイエンス*, Vol. 2, pp. 4–12, 2002.