

LED 明滅による運動錯覚を用いた 携帯型アンドロイドの運動生成

Creating Motion of Mobile Android by Motion Illusions with LED Blinking

境 くりま^{1,2*} 港 隆史² 西尾 修一² 石黒 浩^{1,2}
Kurima Sakai^{1,2} Takashi Minato² Shuichi Nishio² Hiroshi Ishiguro^{1,2}

¹ 大阪大学

¹ Osaka University

² 国際電気通信基礎技術研究所

² Advanced Telecommunications Research Institute International

Abstract: We can not naturally communicate through communication media such as cell phone compared with face to face communication because they can not transmit human presence. We try to transmit human presence by a small humanoid communication medium "Elfoid". Elfoid is a new information medium that harmonizes human with information-environment beyond existing personal computers and cellphones, and is designed according to minimum requirements to express humanlike appearance and motion, which are revealed in our past studies. To transmit human presence, Elfoid needs to express motions. However it is too small to equip actuators for motions. Instead of actuators, we proposed a way to have users recognize motions of Elfoid by using motion illusion with LED blinking. In this paper, we focused on motion of nodding that is important for talking. In the results of experiments, we revealed that a blinking pattern to manipulate a shadow of the face naturally elicits an illusion of nodding motion.

1 はじめに

電話やインターネットの普及により、遠隔地にいる人といつでもどこでも対話できるようになってきた。しかし、携帯電話やパソコンを用いて対話したとしても、対面状況のように対話相手の雰囲気などを感じながら対話するまでには至らない。そのような自然な対話が実現されていない理由は、対話相手の存在感が十分に伝わっていないためだと考えられる。

そもそも存在感とはメディアが対話相手その者に感じられる感覚のことである。本研究室では実在の人間を模したアンドロイド“ジェミノイド”[1]を用いた研究により、本人と異なる見かけをしているアンドロイドであっても、本人が存在しているように感じられる事例があげられている。そこで、人間としての必要最小限の見かけと動きの要素のみを備えたアンドロイド“テレノイド”[2]を開発し、存在感伝達に必要な本質的要因を探る研究が始まった。テレノイドの全長は約 70cm

程度であり、携帯電話のように持ち運ぶことができるなどの利便性がないため開発されたものが“エルフォイド”である [3] (図 1)。エルフォイドの全長は約 20 程度であり、そのデザインはテレノイドのコンセプトと同じである。本研究ではこのエルフォイドを用いて携帯電話などのメディアでは伝達できない存在感の伝達を図り、人間の存在感を伝達する本質的な要因を明らかにすることを最終目標としている。

アンドロイドによる遠隔操作において、話者の発話や唇の動きや頭の動き、さらには表情等を伝えることが重要である。しかし、エルフォイドの筐体サイズの制約により頭や腕などを動かすのに十分なアクチュエータを内蔵することは困難である。そこで、運動錯覚という現象に着目し、運動錯覚を誘発させることで実際にエルフォイドが動いている場合と同じ効果を得ることを目指す。運動錯覚を起こさせる方法として、LED の明滅パターンを用いる。本論文では自然会話において相槌、強調などの様々な役割を果たしている頷き [4] に着目し、ユーザに自然な頷きを錯覚させる明滅パターンを被験者実験により明らかにした。

*連絡先： 大阪大学基礎工学部石黒研究室
大阪府豊中市待兼山町 1-3
E-mail: sakai.kurima@irl.sys.es.osaka-u.ac.jp



図 1: エルフオイド.

2 関連研究と本研究の位置づけ

LED の明滅を用いたインタラクションの先行研究として、音声対話エージェントとユーザ間の対話の円滑化を図るものがあった [5]. しかし、先行研究ではシンボリックに動作を表現する明滅パターンの印象評価を行っていた. 一方、本研究ではシンボリックに頷きを表現するのではなく、頷きの動きを錯覚させる明滅パターンの印象評価を行う. また、先行研究ではエージェントに用いられる明滅パターンの印象を評価しているが、本研究ではエルフオイドを通した対話相手の動作を表す明滅パターンを評価している点で異なる.

今回運動錯覚を誘発させる LED の明滅パターンを考案するにあたり、大きく分けて 2 つのメカニズムを参考にした. 1 つはバイオロジカルモーションによる運動錯覚であり、もう 1 つは影による運動錯覚である.

バイオロジカルモーションとは人間の動きを表現できる点集合の動きのことである [6]. 図 2 のように人間は関節や四肢の端に対応する点集合の動きだけで人間の動きを認識することができる. 今回はこの点の動きをエルフオイド上で表現することで、頷きを錯覚させることを試みる.

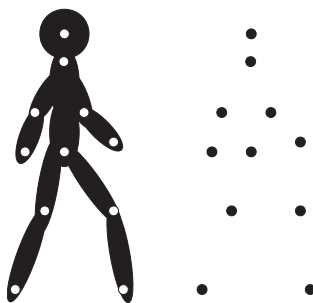


図 2: バイオロジカルモーション.

また、影による運動錯覚についての先行研究によると、影の変化を光源の変化ではなく、物体の変化によるものだと優先的に脳が処理するということが明らかと

なっている [7]. 図 3 のように、影が変化すると光源が動いたと処理するよりも四角形の位置が変化したと脳は処理する. このように、影を操作することで望みの動きを錯覚させることが考えられる. さらに、影を用いた錯覚の研究では、顔陰影編集により顔の容貌を変化させるものがある [8]. 実際の顔形状を変化させずに知覚される形状を変化させるための方法の 1 つが、顔表面の明度を変化させる化粧であり、多くの女性が一般的に好んで用いるのは、凹凸を強調して見せる化粧である. ただし、このような先行研究では陰影を変化させることで知覚させる形状を変化させ、自在に目標となる形状を知覚させることを目標としており、本研究のような運動錯覚を誘発させることを目標としていない.

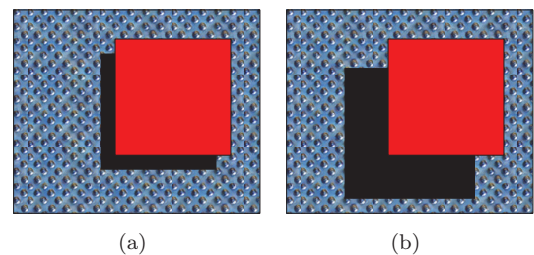


図 3: 影による運動錯覚 (参考文献 [7] の図を改編).

3 LED の明滅を用いた運動錯覚のデザイン

すでに述べたように今回頷きの動作を表現するにあたり、2 つの明滅パターンを考案した. また、LED の明滅パターンのみならず光源の種類も点光源と面光源と 2 種類用意し、2×2 種類のエルフオイドをデザインした.

3.1 バイオロジカルモーションによる運動錯覚

ここではバイオロジカルモーションを用いて頷き動作を表現する手法を説明する.

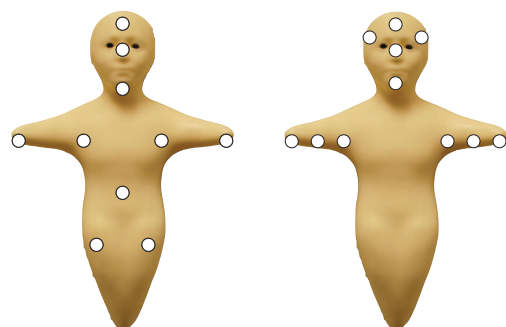
バイオロジカルモーションは人間の動きのみならず鳥や猫などの動物の動きも表現できるが、動きを認識させるためには全身の関節や四肢の端の光点の動きが必要である. 今回頷きを扱うがこの理由により図 4(a) に示すようにエルフオイドの関節や四肢の端と思われる部位に LED を配置した. 図 5 は LED を明滅させた様子とその全体である. 図 5(a) は点光源、図 5(b) は面光源を用いたものである. バイオロジカルモーション

は点光源を用いて表現するが、次節で説明する明滅パターンでは面光源を用いるため、比較のために面光源で表現するバイオロジカルモーションも用意した。点光源は砲弾型 LED を光を拡散させないように改造し、また面光源では砲弾型 LED の光を拡散させることで実装した。図 6 はエルフォイドの顔の内側に取り付ける半透明状の外骨格パーツである（ホットボンドを固めて作成した）。(a) では砲弾型 LED を直接外装の裏側に接触させて固定することにより点光源を実現している。また (b) では外骨格パーツの内側に LED を設置して光を拡散させることで面光源を実現している。それぞれ (i) が顔をあげている時、(ii) が顔を下げている時を表している。額と眉間の LED が交互に明滅することで顔の上下動を表し、頷きを錯覚させる仕組みとなっている。予備的実験を行ったところ全身のいくつかの関節や四肢の端の位置に光点を設置しなければその動作を認識することができなかったため、(iii) のような全身の関節や四肢の端と思われる位置に配置した LED は必要である。

3.2 影による運動錯覚

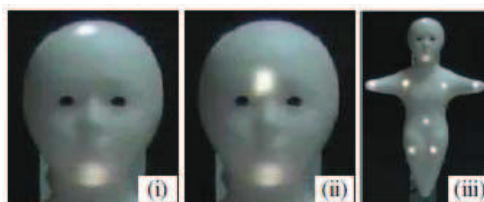
ここでは影を用いて頷き動作を表現する手法について説明する。

エルフォイドが顔を上げている状態と下げている状態とで、眉間と顎の下影が変化することに注目し、LED を設置した (図 4(b))。人が陰影から形状を知覚する際には、対象物体より上部に光源が存在することを無意識に想定していることが明らかになった [9] ため、エルフォイドが顔を上げると眉間と顎の下影が薄くなり、顔を下げると眉間と顎の下影が濃くなる状態を表現すれば良い。このパターンを LED を用いて表現したものが図 7 である。図 7 の (a) は点光源 (Point)、(b) は面光源 (Diffused) を用いたものである。影の表現には局所的に変化させるために点光源と用いるものと、やや広範囲に影を変化させるために面光源を用いるものを用意した。点光源、面光源の実装方法は、3.1 節と同様である。それぞれ (i) が顔をあげている時、(ii) が顔を下げている時を表している。また、(iii) は全身を写したものであるが、腕や体にも LED を設置している。これはバイオロジカルモーションを用いた明滅パターンと比較する際に、全体の光量を同程度にすることによって、光量の違いによる印象の変化を抑制するためである。ここでは首より下の体は静止しているので、図の姿勢で静止している時の影を LED 光で表現する。ただし、エルフォイドは両腕を左右に伸ばした姿勢であるため、顔の影と同じ光源を仮定すると、腕には影ができないことになるため、腕全体を光らせている。このようにすると、体に取り付けた LED の位置が

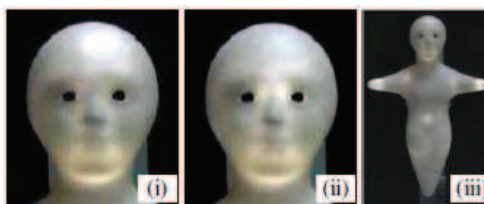


(a) バイオロジカルモーションを表現する場合。 (b) 影による運動錯覚を表現する場合。

図 4: LED の設置位置。

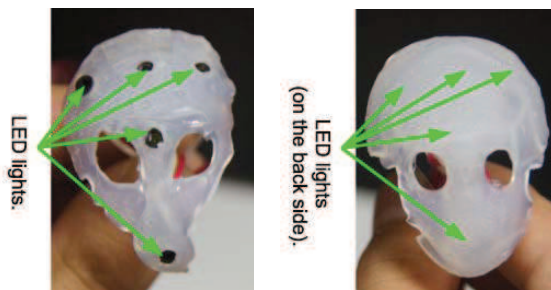


(a) バイオロジカルモーション - 点光源 (BP パターン)。



(b) バイオロジカルモーション - 面光源 (BD パターン)。

図 5: バイオロジカルモーションパターン。



(a) 点光源の外骨格。

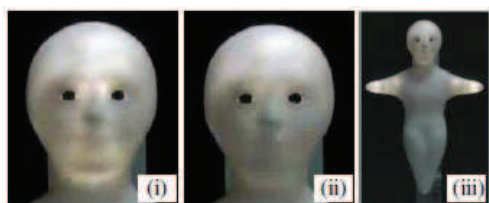
(b) 面光源の外骨格。

図 6: エルフォイドの外骨格。

図5と異なることになる。しかし、頭部と体でLED光の意味が異なると、影の動きによる運動錯覚が抑制される可能性があると考えたため、ここでは頭部と体のLED光の意味を統一することを優先した。



(a) 影による運動錯覚 - 点光源 (SP パターン).



(b) 影による運動錯覚 - 面光源 (SD パターン).

図 7: 影による運動錯覚パターン.

4 明滅パターンの評価実験

考案した4パターンの傾き表現の自然さを被験者実験により評価する。また、傾きの認識のしやすさについても調べる。図8は実験配置である。エルフォイドは机の上にスタンドを用いて固定し、どの被験者も同俯角(約15度)でエルフォイドと等距離(約90cm)から観察できるように、被験者ごとに座る位置を調整した。実験手順は以下のとおりである。

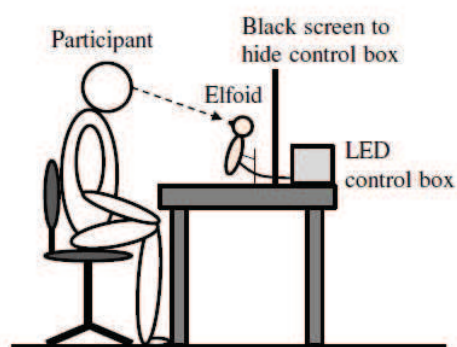


図 8: 実験配置.

4.1 実験手順

1. LEDの明滅を用いて、エルフォイドの傾きを表現した趣旨を被験者に説明する。
2. 各パターンを傾きを錯覚するまで繰り返し観察してもらい錯覚を知覚するまでにかかる時間を測る(タイムアウト5分)。観察後毎回印象を尋ねる。
3. 4パターンを2つずつ比較してもらいどちらがより自然にうなずいていると見えるか答えてもらう(全6組)。
4. エルフォイドの印象などについてのアンケートに答えてもらう。

1.の説明がない状況で予備的实验を行ったところ、被験者は傾きを錯覚することが困難であったため、今回の実験ではあらかじめLEDの明滅の意味を説明した。2.の提示順序はランダム順に観察してもらった。3.の組み合わせの順序もランダムに行う。評価段階は「先に見せた方が自然に傾いているように見える」、「後に見せた方が自然に傾いているように見える」、「両方とも同じくらい傾いているように見える」、「わからない」の4段階である。また、2パターンの比較の順序効果を無効化するために2パターンを何度も繰り返して見ることを許可した。

4.2 実験結果

本実験では15人(男9人、女6人、平均年齢21.9歳、標準偏差2.4歳)の被験者に参加してもらった。

まず、運動を錯覚するまでに要する時間について4パターンの比較を行った。各パターンにおいて傾きを錯覚するまでに要する時間は被験者により大きく異なるため、SDパターンの時間を基準に正規化しグラフ化したものが図9である。ただし、被験者が錯覚を起さなかった場合はデータとして用いていない。図9よりSDパターンが最も早く錯覚する傾向にあると考えられる。そこで、Wilcoxonの符号付順位和検定を用いて明滅パターンにより錯覚に要する時間に差があるか検定した。その結果SDがBT($T(n=16)=0, p<0.01$), SP($T(n=12)=14, p<0.05$), BP($T(n=9)=0, p<0.01$)より有意に早く傾きを錯覚させていることが分かった。次に、傾きの自然さについて、明滅パターンによって差があるかどうかシェッフェの一対比較法(中屋の変法)[10]を用いて検定した。シェッフェの方法を適用するにあたり、「先に見せた方が自然に傾いているように見える」場合は+1、「後に見せた方が自然に傾いているように見える」場合は-1、「両方とも同じくらい傾いているように見える」または「わからない」場合

は 0 と数値化して解析した。その結果、自然さの印象に明滅パターンによる効果が存在することが分かった ($F(3, 42) = 32.3, p < 0.01$)。図 10 はヤードスティック法を用いて被験者の主観的な自然さを尺度化したものである。この図では SD パターンは他の 3 パターンより有意に自然と評価され ($p < 0.01$)、BD パターンは BP パターンより有意に自然であると評価された ($p < 0.01$) ことを表している。

表 1 は被験者に最も自然に頷いているように見えたパターンを答えてもらい、その印象 (どのように動いたか) を答えてもらったものである。

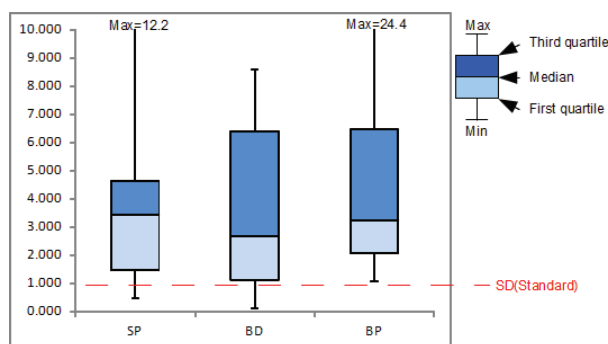


図 9: 頷きを知覚するのに要する時間を SD パターンの時間で正規化した箱ひげ図。

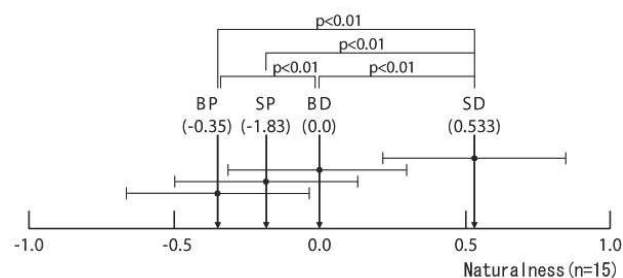


図 10: 被験者の主観的な自然さ (ヤードスティック法, 信頼区間 99% $Y(4, 42, 0.01) = 0.316$)。

5 考察

自然さの評価において影を用いた頷き表現 (SD パターン) の方が自然だという評価が得られた要因について、2つの表現方法の認識の仕方の違い注目した。バイオリジカルモーションを表現したエルフォイドについて、そもそもバイオリジカルモーションは点の集合で動きを表現するものであって、今回のようにエルフォイドの筐体が見えている状態では、点は動いているのかかわらず体はそもそも動いていないため矛盾が生じて運動知覚を妨げた恐れがある。予備的実験におい

表 1: 被験者別の最も自然と思われるパターンとその印象。

最も自然なパターン	印象
SD パターン	顔全体は動いて見えるのに眼だけが動いていないので見た目に矛盾が生じる。
SD パターン	生き物のようにならずにいる。
SD パターン	1 回だけでは見えない、長い間見ると見える。
SD パターン	実際にうなずいている。
SD パターン	実際に動いている。
SD パターン	実際に動いている。
SD パターン	ぶれた感じがする。
SD パターン	影のようになり、より自然に見える。
SD パターン	動かそうという感じ。
SD パターン	実際に動いている。
SD パターン	顔が実際にうなずいている。
SD パターン	自然なうなずき。
SP パターン	だんだんごく小さくうなずいているように見える。
SP パターン	実際に大きくうなずく。
SP パターン	動いている。

て BP パターンのエルフォイドを暗闇で筐体が見えない状況下で LED を明滅させたところ、頷いて見えるという評価を多数得た。従ってバイオリジカルモーションを表現できていないわけではなく、先に述べたように筐体が動いていないという知覚との矛盾が、不自然さを生む結果になったと考えられる。一方、影を用いた運動錯覚では、筐体の表面の影 (明暗) を変化させることで錯覚を誘発させる。図 3 の運動錯覚では、動いて見える四角形は実際に運動した場合でもその見かけに変化はない。そのような場合では、影の変化を光源の変化ではなく、物体の変化によるものと優先的に脳が処理することは先行研究の章で説明した。しかし、エルフォイドが実際に頷きの動作を行うと見かけに変化が生じる。本実験では、エルフォイドは実際に動くことはないという制約もとでも、頷きの運動錯覚を生じさせている結果が出ている。従って、人間は物体の表面の明暗の変化を物体の表面上のテクスチャの変化ではなく、影の変化を伴う物体の運動や変化によるものと優先的に脳が処理する傾向があると考えられる。

また、実験の説明において LED の明滅が頷きを表していることを説明しているため、実際にエルフォイドが顔を動かしているように錯覚しているのか、それともシンボリックに頷きを認識しているのか疑問が残る。しかし、表 1 の結果よりほとんどの被験者が SD パターンを最も自然であると評価し、さらに実際に首が上下に動いているように見えるという評価が得られている。従って、SD パターンに限って言えば十分に運動錯覚を誘発しているとみなすことができる。

今回は頷き動作の生成において、影を用いた運動錯覚が有効であることが分かった。このメカニズムは運動に伴う影の変化さえ表現できれば錯覚を誘発することができるので、腕や首を振るなどの動作は容易に表

現できる。これらの表現により腕や首振りなどの動作を錯覚できるのであれば、アクチュエータを必要とせずに動きを付与することができ、人間との多様なインタラクションの可能性が広がる。

6 おわりに

本論文ではバイオリジカルモーションを表現したLEDの明滅パターンと頷きに伴う影の変化を表現したLEDの明滅パターンを自然な頷きという点で比較した。本実験により、影を用いて錯覚を誘発する明滅パターンが今回比較したパターンのうち最も自然に頷きを表現することができることが明らかとなった。その結果より人間は物体の表面の明暗の変化を物体の表面上のテクスチャの変化ではなく、影の変化を伴う物体の運動や変化によるものと優先的に脳が処理する傾向があると考えられる。

今後の研究としてはこのパターンを実装したエルフォイドを用いて携帯電話などの現状の通信メディアよりも対話者の存在感伝達に有効か検証する必要がある。

また、今回用いた影による運動錯覚を用いた運動の生成がエルフォイドの顔にしか適用することができないのか、さらに腕などの体の部位の動作も生成することができるのかどうか検証できると、さらなる存在感の伝達につながるはずである。

謝辞

本研究は、JST 戦略的創造推進事業 (CREST) 「共生社会に向けた人間調和型情報技術の構築」採択課題「人の存在を伝達する携帯型遠隔操作アンドロイドの研究開発」(研究代表者 石黒浩)の一環として行われたものです。

参考文献

- [1] Nishio, S., Ishiguro, H., and Hagita, N.: Geminoid: Teleoperated Android of an Existing Person, *Humanoid Robots: New Developments*, A. C. de Pina Filho, Ed. I-Tech Education and Publishing, pp. 343–352 (2007)
- [2] Ogawa, K., Nishio, S., Koda, K., Balistreri, G., Watanabe, T., and Ishiguro, H.: Exploring the Natural Reaction of Young and Aged Person with Telenoid in a Real World, *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Information Systems (Special Issue on Human-Robot Interaction System)*, Vol. 15, No. 5, pp. 592–597 (2011)
- [3] 港 隆史, 西尾 修一, 小川 浩平, 石黒 浩: 携帯型遠隔操作アンドロイド「エルフォイド」の研究開発, 日本ロボット学会第 29 回学術講演会予稿集, pp. 302–304 (2011)
- [4] 庵原 彩子, 堀内 靖雄, 西田 昌史, 市川 憲: 自然対話におけるうなずきの機能に関する考察, 電子情報通信学会技術研究報告, *HCS*, ヒューマンコミュニケーション基礎, Vol. 104, No. 445, pp. 13–18 (2004)
- [5] 船越 孝太郎, 小林 一樹, 中野 幹生, 山田 誠二, 北村 泰彦, 辻野 広司: Artificial Subtle Expressionとしての明滅光源による音声対話の円滑化, 電子情報通信学会論文誌. A, Vol. 92, No. 11, pp. 818–827 (2009)
- [6] Johansson, G.: Visual Perception of Biological Motion and a Model for its Analysis, *Perception & Psychophysics*, Vol. 14, No. 2, pp. 201–211 (1973)
- [7] Kersten, D., Knill, D.C., Mamassian, P., and Bülthoff, I.: Illusory Motion from Shadows, *Nature*, Vol. 379, No. 6560, p. 31 (1996)
- [8] 高井 勇志, 石垣 智子, 松山 隆司: 目標モデル形状に基づく顔陰影編集システム, 映像情報メディア学会誌, Vol. 65, No. 7, pp. 1034–1044 (2011)
- [9] トム スタッフォード, マット ウェップ, MIND HACKS - 実験で知る心と脳のシステム, オーム社, (2005)
- [10] 中屋 澄子: Scheffe の一対比較法の一変法, 第 11 回官能検査大会報文集, pp. 1–12 (1970)