

〔非公開〕

TR-C-0097

眼のCGアニメーションと
視線の知覚に関する検討

森井 精啓
Kiyohiro MORII

鉄谷 信二
Nobuji TETSUTANI

岸野 文郎
Fumio KISHINO

1 9 9 4 3 . 3 0

A T R 通信システム研究所

眼のCGアニメーションと視線の知覚に関する検討
Study on CG Eye-Animation and the Feeling of a Gaze

森井精啓 鉄谷信二 岸野文郎
Kiyohiro MORII Nobuji Tetsutani Fumio KISHINO

(株) ATR 通信システム研究所
知能処理研究室

概 要

臨場感通信会議では、実際の面談会議と同様の自然な視線をCG人物像により表現することが要求される。本報告では、顔の3次元モデルを生成し、瞼の開閉、視線の変化をアニメーション表示する手法について述べると共に、このCG像を用いて視線の知覚に関して検討を行う。視線一致の評価に関して、実際の人物、2次元、3次元のCG像を用いて評価実験を行った。次に、動きを伴う視線を用いて、視線一致知覚時間、視線一致範囲について検討した。また、輻輳の変化が観察者にどの程度知覚されるかについても評価を行った。視線方向の知覚に関して、人物像の視線方向が観察者にどの程度知覚されるかについて、実際の人物および2次元、3次元のCG像を用いて評価を行った。次に、臨場感通信会議を想定し、複数の会議参加者と仮想オブジェクトが仮想空間に表示されている状況での視線の知覚についても評価を行った。さらに、視線検出装置を用いて実際の人物の視線の変化をリアルタイムにアニメーション表示するシステムを構成した。

Abstract

In a teleconferencing system with realistic sensations, a human image is generated by CG. It is required to animate a natural eye movement using CG. In this paper, we describe a real-time animation technique to generate blinking and gaze shift using Graphic Workstation and we report the results of an experiment on the feeling of a gaze. In our experiment, we subjectively evaluated the feeling of eye contact using static and moving eyes and we evaluated the feeling of convergence. We also performed experiments on the feeling of gaze direction using 2D and 3D display. We evaluated the feeling of a gaze in a teleconferencing with 2 persons. Moreover, we describe a real-time CG eye-animation system combined with an eye movement detector.

1. まえがき

本報告は、1991年9月から1994年3月まで、ATR通信システム研究所、知能処理研究室において行った、眼のCGアニメーションと視線の知覚に関する検討結果をまとめたものである。

人と人とのコミュニケーションにおいて重要な役割を果たしている視覚情報を利用した通信手段として、テレビ電話、テレビ会議が普及しつつある⁽¹⁾。しかしながら、現状の技術では、通常のビジネスでの打合わせのように、多くの人々が一堂に会して面談会議を行う感覚を再現することは困難である。一堂に会する感覚とは、例えば、面談会議で経験するように、会話している二人の視線が一致しているのを他の人が確認できたり、議長が、発言のきっかけをつかみたい人の視線を感じたりすることを言う。ATRでは、「遠隔地にいる人々があたかも一堂に会する感覚で会議を行うことができる通信」を臨場感通信会議と呼び、その要素技術の研究を進めている⁽²⁾。このシステムでは、コンピュータグラフィックス(CG)により仮想的な3次元空間を生成し、会議参加者の人物像を、この仮想空間に合成表示することにより同一の会議室にいるかのような感覚を再現する。この方式の中で扱われる人物像は、テレビカメラより撮像した人物像を処理し、3次元モデルを生成したCG像である。人物の視線の動きは、非装着な視線検出装置⁽³⁾を用いて検出し、その視線情報を相手側に伝送しCG像の眼を動かす。従って、臨場感通信会議で目指している“一堂に会する感覚”を再現するためには、CG像を用いて自然な視線を表現することが要求される。すでに、人物の表情をCGにより表現する研究は、活発に行われている⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。また、実際の人物の視線に関する心理学的研究も行われている⁽⁷⁾⁽⁸⁾。しかし、CGにより作成された眼の視線に関する評価は十分になされていない。

本論文では、視線の評価の為に眼のアニメーション表示として、顔の3次元モデルを生成し、瞼の開閉、眼の輻輳を考慮した視線の変化をアニメーション表示する手法⁽⁹⁾について述べるとともに、このCG像を用いて、視線一致、視線の知覚に関して評価を行った結果について述べる。さらに、視線検出装置を用いて、実際の人物の眼の動きに応じて、CG像の眼をリアルタイムにアニメーション表示するシステムについて報告する。

2. 眼のCGアニメーション

臨場感通信におけるCG像表示を用いた視線の知覚に関する評価のために以下のモデルを検討した⁽⁹⁾。

2.1 3次元モデルの生成

眼の開眼および閉眼状態について、顔の3次元座標とテクスチャ情報を、3次元デジタイザ（サイバーウェア社）を用いて取得する⁽¹⁰⁾。開眼状態の顔モデルより眼球の大きさを求め、眼球を球モデルで近似しテクスチャ情報をマッピングする。眼の開閉を行なうために、閉眼状態の顔モデルを用いて顔のワイヤフレームを瞼の底辺に沿って切開する。瞼を切開した顔モデルを用いて、瞼を形成する頂点をマニュアルで移動させて開眼状態を作成する。この顔モデルに眼球モデルを合成し、顔の3次元モデルを生成する。本モデルにより、瞬き、視線の変化をアニメーション表示できる。図1に生成したCG像の例を示す



図1 CG像

2.2 アニメーション表示

(1) 瞼の開閉

瞼の開閉は、開眼状態と閉眼状態の3次元モデルをキーフレームとし、その間を内挿することによりアニメーション表示する。フレーム間の瞼を形成する各頂点のベクトル V_i は次式で表される。

$$V_i = m/n \cdot D \cdot W_i + I \quad (0 \leq m \leq n) \quad (1)$$

但し、キーフレーム間の内挿数を n 、一定時間に0から n まで変化するフレーム数を m 、閉眼状態と2.1の操作により生成された開眼状態の差分ベクトルを W_i 、閉眼状態の瞼を形成する頂点のベクトルを I とする。 W_i を基準として眼の開閉度を D で設定する。

(2) 視線の変化

図2に示すように、視線は眼球を理想的な球と仮定して眼球中心、瞳孔中心、注視点を結ぶ直線とする。注視点の移動に対し、視線方向が注視点と一致するように、眼球モデルを回転させることにより視線の変化をアニメーション表示する。このCG人物像を用いることにより、輻輳の変化、視線方向の変化をアニメーション表示することができる。また、このCG像は、2次元表示だけでなく、液晶シャッター眼鏡を用いた時分割左右画像提示法による3次元表示も行うことができる。

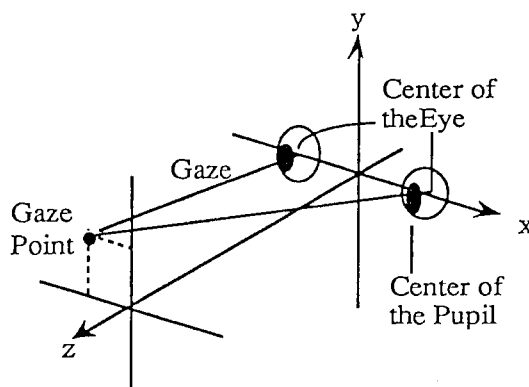


図2 視線と注視点

(3) 高速度カメラによる瞬きの撮影

(1)では、眼の開閉のアニメーション表示は、開眼状態と閉眼状態をキーフレームとして、中間状態を線形補完することにより行ったが、より自然な瞬きのアニメーション表示を行うために、ハイスピードカメラ（250フレーム/秒）を用いて実際の人物の瞬きを撮影し、その動きを調べた。9名の被験者について撮影を行った。図3に解析した動きの例を示す。図3では、時間経過に対する眼の開閉度（開眼状態を1とする）を示している。

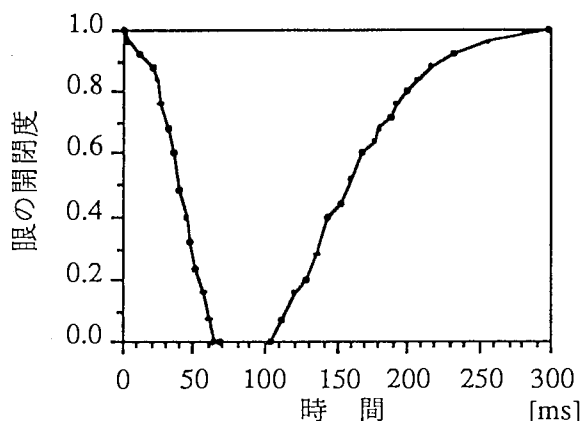


図3 瞬き時における眼の開閉度の変化

3. 視線一致の評価

従来のテレビ会議では、対話者の正面にカメラを設けることができないため視線一致を行うことができない。この問題を回避するために、各種の視線一致型表示装置が提案されている⁽¹¹⁾。しかし、観察者の視点位置に応じた映像表示等の点で問題がある。臨場感通信会議では、3次元人物像を仮想空間に合成し、観察者の視点位置に応じた映像を表示するために実際の会議と同様な視線一致を実現できると考えられる。CG人物像の視線に対しどの程度、視線一致を感じるかに関して、静止した状態の視線、動きを伴う視線について評価実験を行った。また、輻輳の変化がどの程度知覚されるかについても評価を行った。

3.1 静的状態での評価

注視点を凝視した状態の視線に対して、視線一致を感じる範囲についてCG人物像及び実際の人物を用いて評価実験を行った。

3.1.1 実験方法

実験に用いる人物像として、(a)実際の人物、(b)2次元表示によるCG人物像、(c)3次元表示のCG人物像の3種類を使用した。各人物像に対して、被験者との距離を70 cm および150 cmとして評価を行なった。これらの距離は、心理学の見地から、70cmでは個人的距離、150 cm では、近い社会的距離に位置づけられる⁽¹²⁾。実際の人物とCG像は同一人物である。人物像の視線を被験者の両眼中心から水平方向に移動させたとき、視線一致を感じるかどうかを表1に示す5段階の評価カテゴリを用いて評価した。被験者は男性2名、女性2名の4名で、各被験者に対して、実験を2回繰り返し行なった。

表1 評価カテゴリ

評 点	カ テ ゴ リ
5	視線を感じる
4	やや視線を感じる
3	分からない
2	やや視線が外れた
1	視線が外れた

CG像の表示装置として、70インチの背面投射型ディスプレイを用い、CG人物像を実際の人物と同じ大きさで表示した。顔の表示画素数は約160画素（水平方向）であり表情および眼を表現する画素数としては満足している⁽¹³⁾。3次元表示方法として、液晶シャッタ眼鏡を使用する時分割左右画像提示法を用い

た。また、人物像の両眼がスクリーン面に位置するように3次元の人物像を設定した。自然感を出すために、約3秒間隔で瞬きを行なう。眼の輻輳角は被験者の位置に合わせた。

3.1.2 実験結果および考察

(1) 実際の人物を用いた評価

実際の人物における視線一致の実験結果を図4に示す。横軸は視線移動者の注視点を示し、0は被験者の両眼中心、+側は被験者の左側になる。縦軸は4人の被験者の評価の平均値を示す。評点4以上の評価では、距離に関係なく、視線一致を感じる幅は、約8cmとなった。これは映像入力として単眼カメラを用いた従来のテレビ電話の実験結果⁽¹⁴⁾とほぼ一致した。

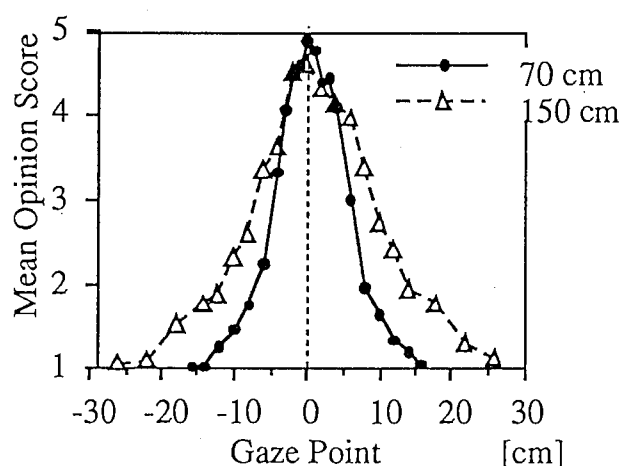


図4 実際の人物における視線一致の評価結果

(2) 実物と2D, 3D表示との比較

実物とCG像を用いた視線一致の評価結果を図5に示す。図中には評点4以上の視線一致を感じる範囲を示している。実際の人物を用いた場合と、3D、2D表示のCG像を用いた場合の評価の比較では、距離70cmの場合には、実物とCG像とであまり差は見られない。CG表示では、2D像、3D像ともに評価がやや一側に偏っているが、これは、CG顔モデル作成時の、眼球位置や顔の形状の微妙な誤差等が影響しているものと思われる。

距離150cmの場合、実物と比べてCG像の視線一致を感じる範囲が広がっている。これは、150cmでは、70cmに比べて注視点位置の変化に対する眼球の回転角が小さくなるため、より細かな判断が必要となるが、表示解像度が十分でないために細かな方向を判断できないためと考えられる。

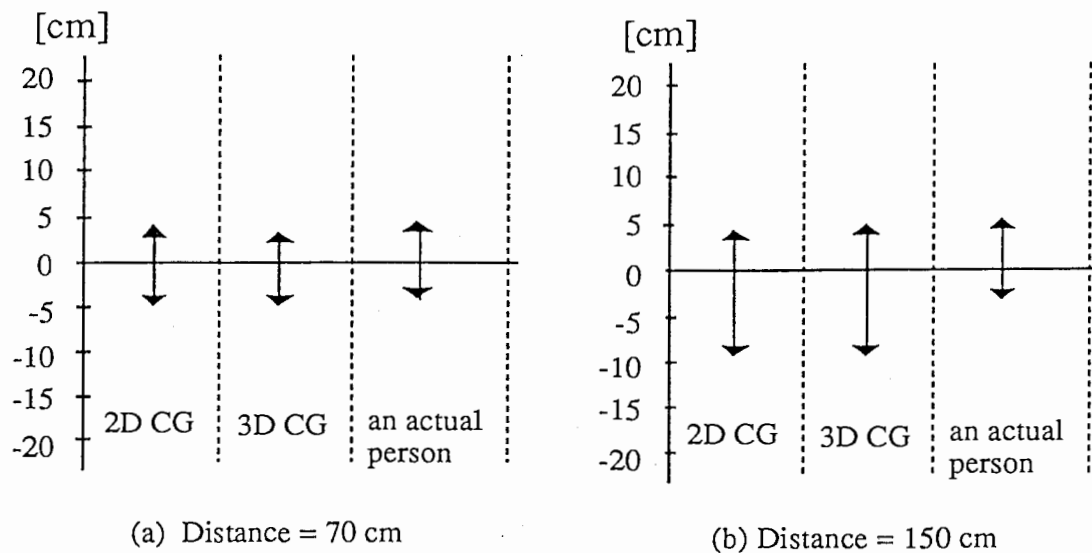


図5 実際の人物及びCG像による視線一致の評価

3.2 動的状態での評価

3.1では、視線は注視点を凝視した静止した状態であったが、実際の人間の眼は常に運動している。ここでは、動きを伴う視線について、視線一致知覚時間、視線一致範囲に関して実験、検討を行った。

3.2.1 実験方法

(1)視線一致知覚時間

人間の眼は常に運動しており、面談時においても（眼を合わす／はずす）という動作を繰り返している。そこで人間が、視線が合っていると判断するために必要な時間を調べるための評価実験を行った。

CG像を19インチディスプレイに実物と同じ大きさで表示し、被験者（6人）は、1m離れた位置で正対し観察した。CG像の視線を運動させる中で、視線が観察者の両眼の中心に停留する時間を変化させ、視線を感じたかどうかを（3：視線を感じた，2：どちらとも言えない，1：視線を感じなかった）の3段階の評点で主観評価を行なった。停留時間は0.1～1.5秒まで0.1秒間隔で変化させた。CG像の視線の動きとして、図6(a)に示すような規則的な動き、図6(b)に示すようなランダムな動きの2種類について実験を行なった。

(2)視線一致範囲の変化

一点を凝視している静止した視線を観察する場合と、動きを伴う視線を観察する場合とで、視線一致を感じる範囲にどのような変化が見られるかについて実験を行った、まず静止した視線について、(1)と同じ観察条件で、注視点位置を変化させて視線一致を感じるかどうかを表1の5段階のカテゴリで評価を行った。次に、動きを伴う視線について、図6(b)に示すようにランダムに視線を動かし、視線の停留位置を両眼中心から左右に変化させた場合に、視線一致を感じるかどうかを、表1の5段階で評価を行った。

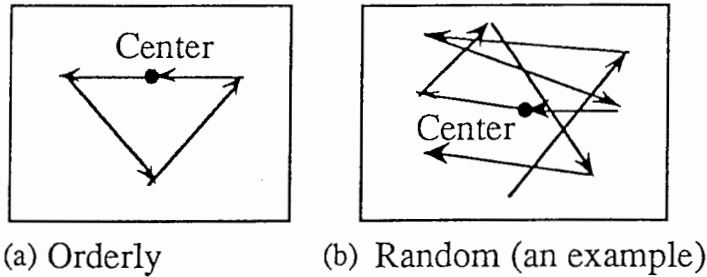


図6 実験に用いた視線の動き

3.2.2 実験結果および考察

視線一致知覚時間についての実験結果を、図7に示す。各停留時間における被験者の評価の平均値を示している。また、各被験者が視線を感じたと評価した最短時間の平均値を図中に破線で示してある。規則的な動きの視線に対しては、平均0.64秒、ランダムな動きの視線に対しては平均0.92秒で、視線を感じたと評価されている。規則的な動きの視線のほうが視線一致を感じるために要する時間が短く、また、図6において各停留時間における評価もやや高くなっている。これは被験者が視線の動きを予測しているため、より短い時間で知覚されたものと思われる。CGにより視線の動きを表現する際に、1対1の会話時等で、視線の動きがそれほど小さくなく、ある程度予測される場合においても、視線が合っていると感じられるためには、0.6秒程度以上視線を留める必要があると言える。

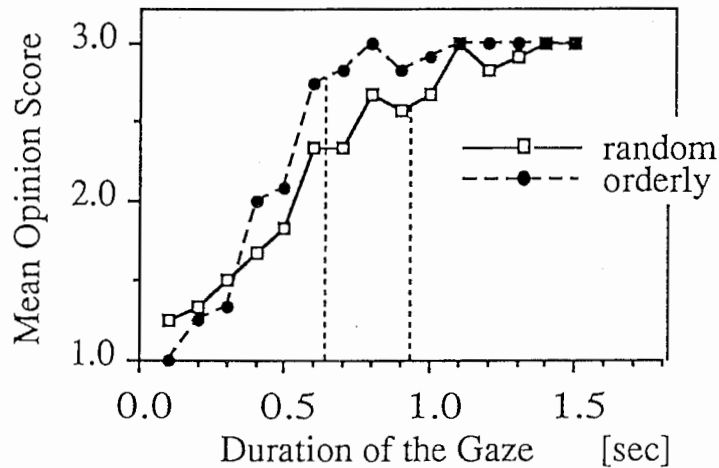


図7 視線一致知覚時間

視線一致範囲についての実験結果を図8に示す。視線の停留時間は、図7より分散を考慮して1.2秒とした。被験者の両眼中心を0とし、右側を+、左側を-として、各注視点位置での評価の平均値を示してある。視線を静止させた状態では評価が+側に偏っているが、これは、使用したCG像の実物との違い（眼球位置の誤差等）が影響しているものと考えられる。静止した視線に比べ、動きを

伴う視線のほうが視線一致を感じる範囲が広く、また、評価の左右の偏りも小さい。これは、視線が外れている状態から、中心方向への動きを伴うことにより。静止状態に比べて視線方向が知覚され易い為であると思われる。

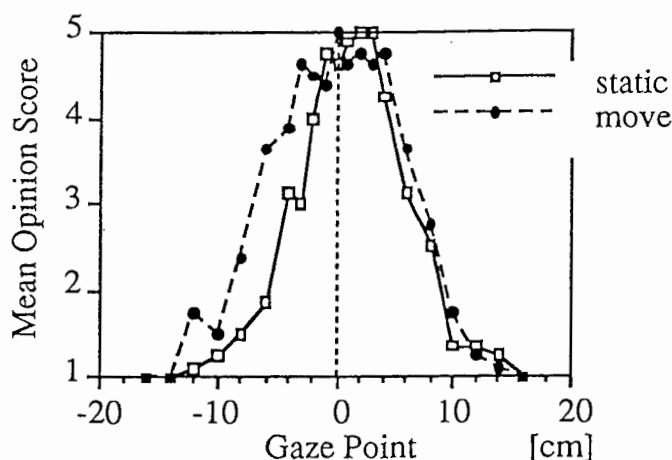


図8 静止した視線と動きを伴う視線に対する視線一致の評価

3.3 輻輳の変化の知覚

人間は、左右の眼で同一の物を見るため、視線方向が同じでも、注視点の遠近により輻輳角が変化する。3.1、3.2の実験では、輻輳角は被験者の位置に合わせたが、ここでは輻輳の変化が観察者にどの程度知覚されるかについて評価実験を行った。

3.3.1 実験方法

図9に示すようにCG像および実際の人物について視線方向は正面方向とし、注視点までの距離 d を変化させ、被験者は正面から観察し、相手の視線を感じるかどうかについて、3段階（3：視線を感じる、2：どちらとも言えない、1：視線を感じない）の評価カテゴリにより評価を行う。CG像は19インチCRTに実物と同じ大きさで表示した。眼の表示画素数は約100画素（水平方向）である。被験者との距離 D を150cmとして評価を行なった。注視点までの距離 d は、10cmから300cm（実際の人物については、10cmから150cm）まで変化させた。被験者は5名で、それぞれ2回実験を行った。

3.3.2 実験結果および考察

図10に実験結果を示す。図中、横軸は注視点までの距離 d を、縦軸は評価の平均値を表す。

実際の人物と、CG像で被験者との距離 D が150cmの場合を比較すると、ほぼ同様の評価となっており、 d が50cm以上では、観察者には、輻輳の変化はほとん

ど知覚されないことが分かる。ただし、実際の人物では、 $d = 150\text{cm}$ において被験者全員が評点3と評価しているのに対し、CG像では評価の平均値が2.7となっており、これは、眼球位置の誤差等CG像の不自然さが多少影響していると思われる。

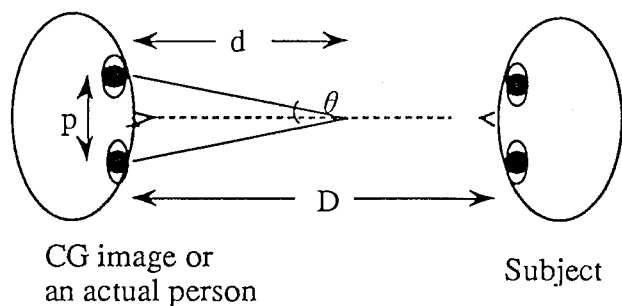


図9 輻輳の知覚についての実験条件

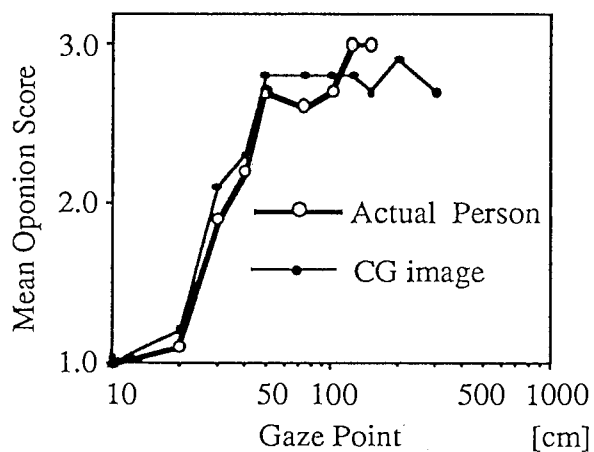


図10 輻輳の変化の知覚

4. 視線方向の知覚

実際の面談会議において、視線は重要な情報であり、他者の視線方向により、相手の興味の対象や意図を知る手掛かりとすることができる。ここでは、CG人物像の視線方向が、観察者にどの程度知覚されるかについて、実際の人物および2D、3D表示によるCG像を用いて評価実験を行い検討した。

4.1 実験方法

実験に用いる人物像として、(a)実際の人物、(b)2次元表示によるCG像、(c)3次元表示によるCG像の3種類を使用する。図11に示すように、人物像と被験者との距離は、150 cmとし、人物像を中心に半径50 cmの円周上に、正面方向を0とし、水平に左右25°まで5°間隔で注視目標を配置する。視線移動者またはCG像は、これらの注視目標のいずれかを注視した状態で、被験者は、人物像の視線方向を推定し、どの注視目標を見ているかを答える。被験者は判定開始前は人物下方を見ており、合図とともに人物像の視線を見て判定を行う。被験者は5名で、各人物像に対し実験を2回繰り返し行った。

CG像の表示装置として、70インチの背面投影型ディスプレイを使用した。3次元表示のために、図10の条件に一致するように両眼視差像を生成し、液晶シャッター眼鏡を使用する時分割左右画像提示法により表示した。2次元表示では、透視投影変換を行った画像を表示した。

CG像を用いた場合の実験風景を図12に示す。

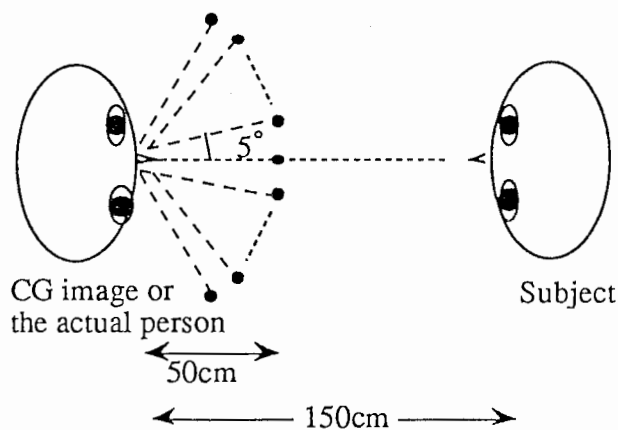


図11 視線方向の知覚に関する実験条件

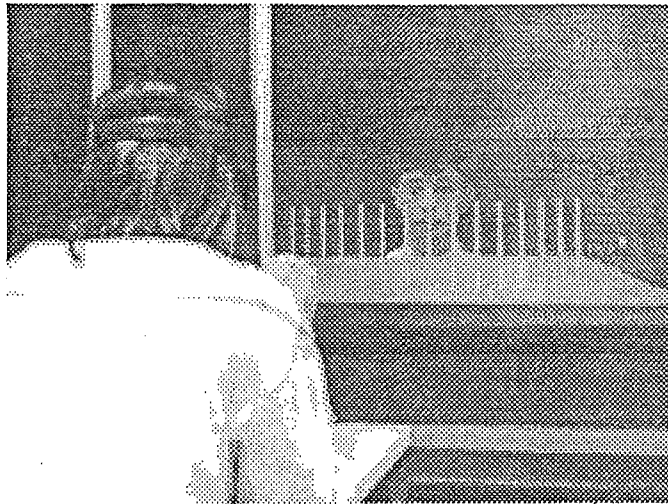


図 1 2 実際の人物を用いた場合の実験風景

4.2 実験結果および考察

図 1 3 に実際の人物の場合の評価結果を示す。横軸は視線方向、縦軸は被験者が判定した視線方向である。被験者から見て右方向を+、左方向を-としている。心理学の分野において、他者の視線方向の知覚に関して、過大に評価される傾向があることが報告されている⁽¹⁵⁾。今回の実験でも、 0° および $\pm 5^{\circ}$ は、ほぼ正確に判定されているが、 $\pm 10^{\circ}$ 以上では、それぞれ過大に評価されている。

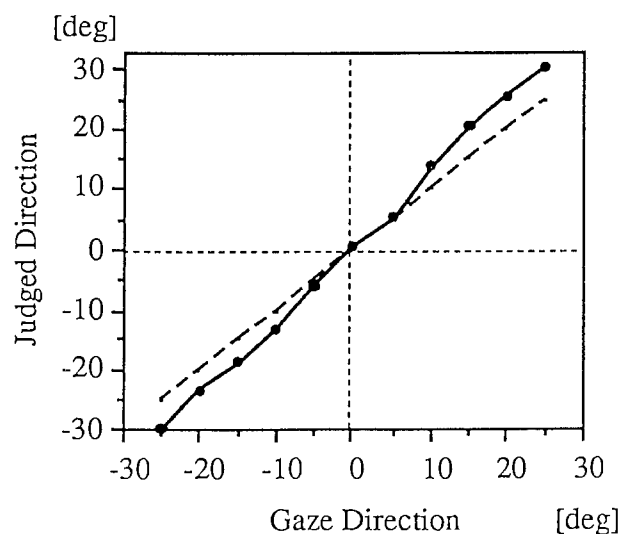


図 1 3 視線方向の知覚（実際の人物における評価）

図 1 4 に実際の人物、2 次元 C G 像、3 次元 C G 像について、実際の視線方向と被験者の判定した視線方向との差を示す。3 次元 C G 像では、実際の人物と同様に視線方向を過大に評価する傾向が見られる。多少、実際の人物と評価が異なっている原因としては、眼球位置や、まぶたの形状の微妙な誤差、および実験に用いた C G 像では、眼球の動きに伴うまぶた等の変化が表現されていないこと等が

考えられる。2次元CG像の場合には、実際の人物や3次元CG像の場合とは異なり視線が過小に評価されているが、この原因として、2次元像の場合には、視線方向が分かりにくいこと、CG人物像と注視目標との距離感が分からないため、視線と注視目標の関係が判定し難くなっていると考えられる。

臨場感通信会議では、仮想空間に3次元CG像を写し込むため、観察者からはCG人物像の視線の動きが過大に評価されると考えられる。したがって、人物の意図する注視対象を相手に正しく伝えるためには、正面付近の視線は、そのまま表示し、角度が大きい場合、実際よりも角度を小さく表示するという手法が考えられる。また、送信側において視線を検出する際に、誤差が生じると、観察者には、視線方向の誤差がより大きく感じられるため、正確に視線を検出することも重要である。

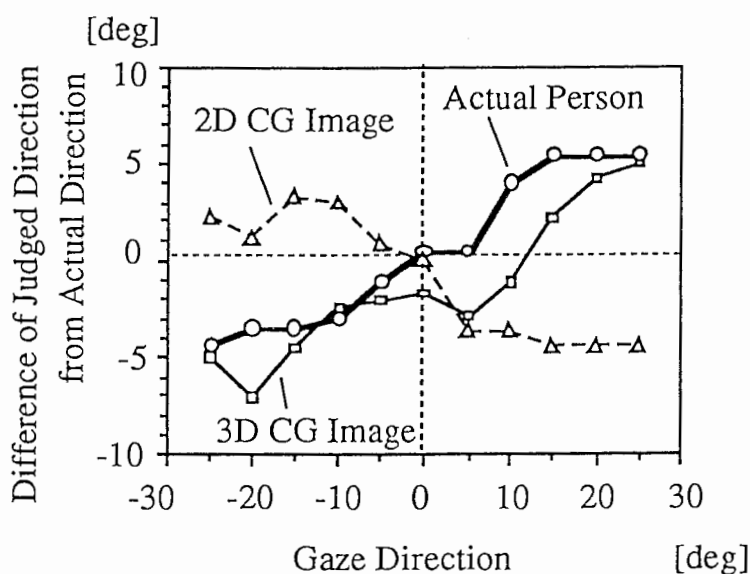


図1.4 実際の視線方向と判定との差

5. 複数人参加状況における視線の知覚

従来のテレビ会議で複数の人物がディスプレイに表示されている状況では、発話者が誰に対して話かけているのかを判断できず、このことがテレビ会議で円滑なコミュニケーションができない要因の一つとして指摘されている¹⁰⁾。しかし、立体表示された仮想空間に実際の面談会議と同様な雰囲気再現する臨場感通信会議では、他者の顔の向きや視線により会話相手を特定したり、相手の意図を知る手掛かりとすることができる。3. 4. では、1対1の対面状況での視線一致、視線の知覚について検討したが、本章では、臨場感通信会議を想定し、仮想空間に複数の人物および仮想物体が存在する状況での視線の知覚について検討する。仮想空間に2名のCG人物像およびオブジェクトを表示し、CG像の顔の向きや視線方向を変えて、CG像の視線がどの程度知覚されるかについて評価を行った。

5. 1 実験方法

(1) 顔の向きを変えた場合の評価

図15に示すように、70インチの背面投射型ディスプレイに、2. の手法で作成したCG人物像を2名等身大で表示し、さらにオブジェクトとして一辺5cmの立方体を表示する。オブジェクトはスクリーンから30cm手前に表示し、被験者及びCG像とオブジェクトとの間隔は60cmとする。このような条件で、CG人物像(CG1)の顔の向きを0°~100°(スクリーンの法線方向を0°とする)まで変化させ、被験者はCG1像がどの方向(1:被験者自身, 2:オブジェクト, 3:CG2, 4:いずれでもない)を見ているかを判定する。被験者は6名で、実験は2回繰り返した。表示方法として2次元表示と3次元表示について実験を行った。3次元表示としては、液晶シャッター眼鏡を用いた時分割左右画像提示法を用いた。また、2次元表示では、スクリーンに透視投影変換された像を表示するとともに、オブジェクトとCG像との距離を示すため、指標となる平行線を表示した。

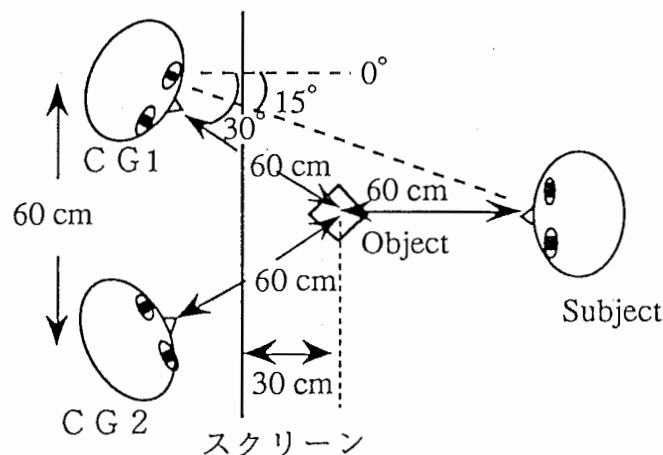


図15 複数人参加状況における視線の知覚に関する実験条件

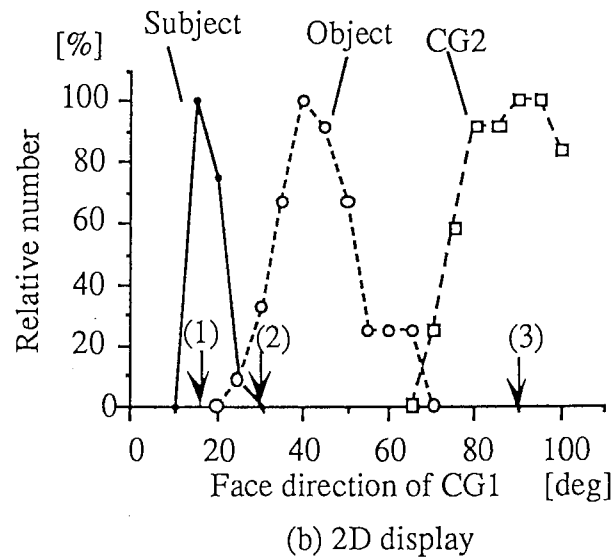
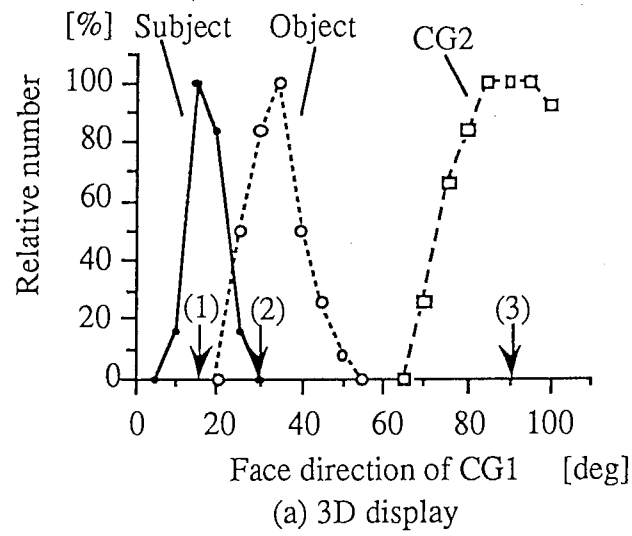
(2)視線方向を変化させた場合の評価

C G 1の顔の向きをオブジェクトの方向（図15で 30° ）および被験者の方向（図15で 15° ）とした状態で、視線方向を眼球運動のみで左右 20° の範囲で変化させて、被験者は、C G 1がどこを見ているか（1:被験者自身、2:オブジェクト、3:いずれでもない）を判定する。表示方法として立体表示を用いた。(1)と同様、被験者は6名で2回繰り返し実験を行った。

5. 2 実験結果

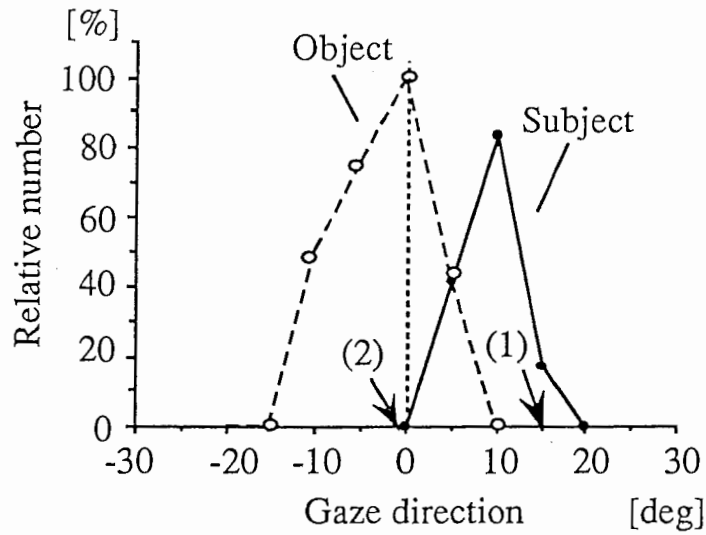
図16に、顔の向きを変化させた場合の評価結果を示す。横軸は顔の向き、縦軸はそれぞれの対象（被験者自身、オブジェクト、C G 2）について、（被験者数） $\times$ （実験回数）に対する、その対象を見ていると評価された割合（相対度数）を表す。被験者およびC G 2の方向の評価については3次元表示、2次元表示による違いはほとんど見られない。被験者の方向に関しては、正確にその方向を見ている場合のみ、相対度数が100%となっており、自分を見ているかどうかについては正確に知覚されていることが分かる。C G 2の方向については、被験者の方向に比べて、C G 2の方向を見ていると評価される幅が広がっている。この原因として横顔では相手の片眼しか見えず、顔の向きの情報（例えば鼻の方向）も十分に得られないためであると考えられる。一方、オブジェクトの方向に関しては、2次元表示と3次元表示では、評価が大きく異なる。3次元表示では、やや+側にずれているが、ほぼ正確に顔の向きが判断されており、これは、顔の向きが、横顔に比べて正面に近いと、向きの情報が十分に得られており、また3次元表示により、C G 像とオブジェクトの距離感も正確に知覚されているためと思われる。しかし、2次元表示では、実際の顔の向きと被験者の判断が異なっており、また評価の幅も広がっている。これは2次元表示では、距離の手掛かりが表示されていても、C G 像とオブジェクトとの正確な距離感が知覚できないため判断が困難になっているとされる。

図17に視線方向を変化させた場合の評価結果を示す。横軸は、C G 1の顔の正面方向を 0° としたときの視線方向で、被験者から見て右側を+としている。縦軸は、それぞれの対象に対する相対度数である。顔の向きが被験者の方向を向きかつ視線がオブジェクトの方向を見ている場合、顔の向きがオブジェクトの方向を向きかつ視線が被験者の方向を見ている場合では、それぞれ実際の対象物の方向よりやや内側に視線方向があるときに、その対象を見ていると評価されている。これは、4. で述べた視線方向の過大評価の影響と考えられる。つぎに、それぞれの顔の向きにおける正面付近の視線の評価を見ると、被験者の方向に比べて、オブジェクトの方向を向いている場合のほうが評価の幅が広がっており、被験者から見て斜め向きの顔に対しては正確な知覚がやや困難になっているものと思われる。

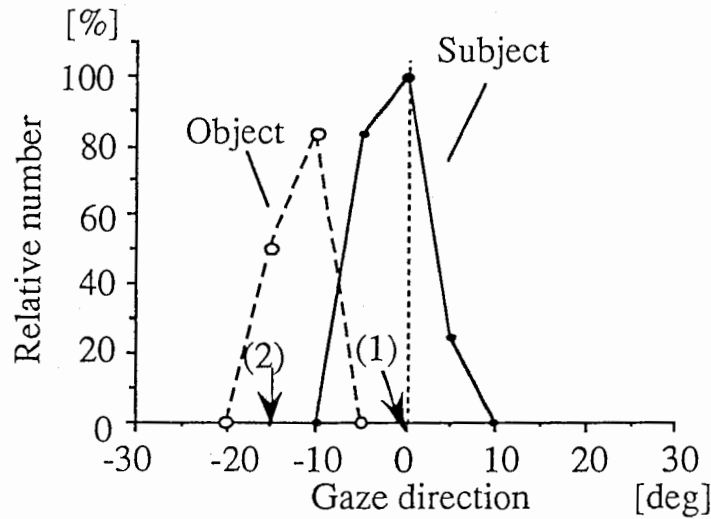


- (1)----- Direction toward the subject
- (2)----- Direction toward the object
- (3)----- Direction toward CG2

図 1 6 複数人参加状況における視線の知覚
(顔の向きを変えた時の評価)



(a) Face direction of CG1 :toward the object



(b) Face direction of CG1: toward the subject

(1)----- Direction toward the subject

(2)----- Direction toward the object

図 1 7 複数人表示状況における視線の知覚
(視線方向を変化させた場合の評価)

6. 視線検出装置と連動したアニメーション表示

臨場感通信会議では、送信側において会議参加者の表情、動き、視線といった特徴情報を検出・伝送し、この特徴情報と、あらかじめデータベースに蓄積されている知識とを用いて仮想空間にCG像を合成表示する。視線については、視線検出装置を用いて検出し、その情報に基づきCG人物像の眼を動かす。視線の検出、CGによる表示は、実際の面談会議と同様な視線一致を実現するための重要な課題の一つである。2. で示した眼のアニメーション表示と視線検出装置を組み合わせ、実際の人物の眼の動きをリアルタイムで検出し、CG像の視線を変化させるシステムを構築し、このシステムに関し伝送遅れについて評価を行った。

6.1 システム概要

図18にシステムの概要を示す。視線検出装置としてはアクティブステレオカメラを用いた非接触視線検出装置^①、およびASL社のヘルメット搭載型視線検出装置(4100H)を使用した。視線検出装置を用いて人物Aの注視点の座標 $V(x, y)$ を検出し、IRISグラフィックワークステーションに検出データを伝送する。CG人物像として、2. で示したCG像を用い、注視点データに応じて眼球を回転させることにより視線の変化をアニメーション表示する。このシステムにより、実際の人物の視線の変化をほぼリアルタイムにアニメーション表示することができる。図19に非接触視線検出装置を用いて実際の人物の視線変化を検出し、CG人物像により表示した例を示す。

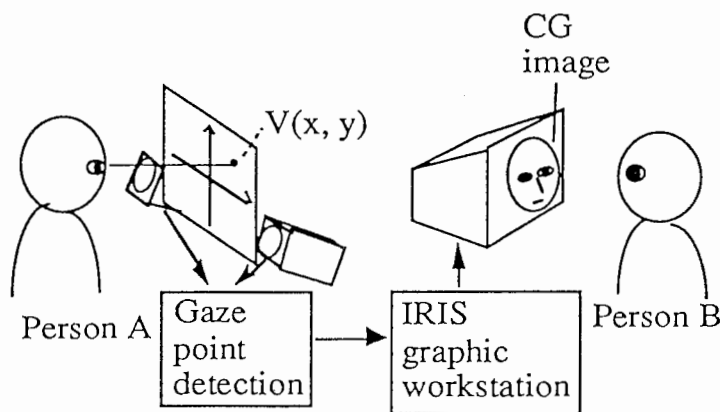


図18 システム構成

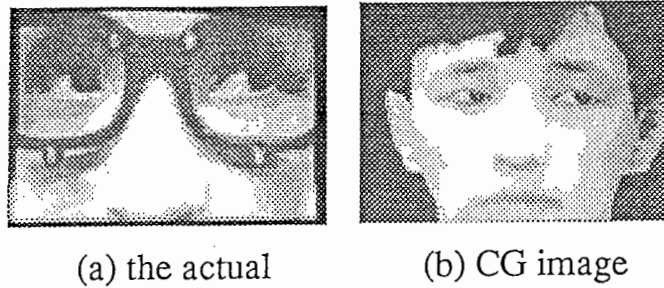


図 1 9 実際の人物と C G 像の視線の変化

6.2 伝送遅れの知覚

6.2.1 実験方法

被験者（図 1 8，人物 B）は視線移動者（図 1 8，人物 A）に対し視線を上下左右に移動するように指示を与える。A が指示に従って視線を変化させると C G 像の視線も A の視線変化に応じて変化する。このときデータ伝送に遅れを与え、C G 像の視線の変化に遅れを生じさせる。遅れ時間を 0 ～ 1 秒まで 0.1 秒間隔で変化させ、被験者は遅れが気になるかどうかを 3 段階（3：遅れが気にならない、2：少し気になる、1：気になる）の評点で主観評価を行なった。C G 像は 19 インチ C R T に実物と同じ大きさで表示され、被験者（7 名）は 70cm 離れた位置で正対し観察した。

6.2.2 実験結果

実験結果を図 2 0 に示。．許容される遅れ時間（評点 2 以上）は約 0.4 秒程度であることが分かる。言い換えれば、実際の指示状況においても 0.4 秒以内に指示に対する反応が無いと不自然さを感じることになる。尚、ここで述べた遅れ時間には、C G の生成に要する時間（約 50 ms）は含まれていないが、50 ms の遅延は評価に影響がないことも分かった。

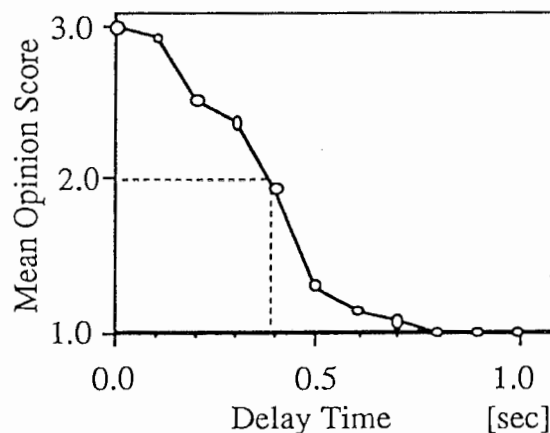


図 2 0 伝送遅れの知覚

6.3 CG像による視線の自然性

眼の微妙な表情をCGにより表現することは困難であると言われており、眼の部分の画像を切り取って、はめ込み合成する手法が提案されている⁽¹⁷⁾。

今回実験に用いたCG像も不自然な部分が残っており、自然な眼の表現のために検討すべき課題は多い。しかし、3. 4. 5. の実験結果より、実際の人物の視線の動きを正確に検出し、3次元CG像を用いてリアルタイムに表示することにより視線一致の感覚、視線方向の知覚等に関し実際の人物と同様な視線の表現が可能であると考えられ、CG像により表示された視線により会議参加者の意図を表わすこともできると思われる。今回用いたCG像では、眼の部分のみをアニメーション表示したが、今後、頭部の動き、口の動き等もアニメーション表示できるCG像を開発し、視線の自然性の評価を行っていく予定である。

7. むすび

視線の変化、瞬きをアニメーション表示できるCG像を開発し、このCG像を用いて視線一致、視線方向の知覚に関して評価を行った。さらに視線検出装置と連動させることにより実際の人物の眼の動きをリアルタイムにアニメーション表示できるシステムを構成した。その結果を以下にまとめる。

- (1) 視線一致を感じる範囲として、実際の人物による評価では、距離に関係なく約8cm程度であった。
- (2) 動的視線の評価より、視線一致を感じるためには、約0.6秒以上視線を留める必要があることが分かった。
- (3) 輻輳の知覚については、注視点が50cm程度以上離れると、観察者が、人物像の輻輳の変化を知覚することはできないことが分かった。
- (4) 視線方向の知覚に関して、実際の人物および3DCG像では、視線方向の過大評価の傾向が見られたが、2DCG像では、過小評価が見られた。
- (5) 複数人表示状況における視線の知覚に関して、自分の方向を見ているかどうかについては、2D、3DCG像とも正確に知覚されるが、横顔では正確な判断は困難であり、3次元表示が重要であることが分かった。
- (6) 視線検出装置を用いて、実際の人物の眼の動きをリアルタイムにアニメーション表示できるシステムを構成し、伝送遅れに関して評価を行った。その結果、許容される遅れ時間は約0.4秒であることが分かった。

頭部や口の動きもアニメーション表示できるCG像を用いて実際の会議状況再現し自然性の評価等を行うことが今後の課題である。

謝辞

日頃ご指導いただくATR通信システム研究所葉原耕平会長、寺島信義社長に感謝いたします。また、ご討論いただいた知能処理研究室の皆様に感謝いたします。

文 献

- (1) 安田浩："テレビ電話は今", スペクトラム, 1, 5, pp.88-102 (1988-05).
- (2) 岸野文郎, 山下紘一："臨場感通信のテレコンフレンスの適用", 信学技報, IE89-35 (1989).
- (3) 伴野明, 岸野文郎, 小林幸夫："瞳孔抽出処理と頭部の動きを許容する視線検出装置", 信学論(D-II), J76-D-II, 3, pp.636-646 (1993 - 03).
- (4) 金子正秀, 小池淳, 羽鳥好律："テキスト情報に対応した口形状変化を有する顔動画像の合成", 信学論(D-II), J75-D-II, 2, pp.203-215 (1992-02) .
- (5) 森島繁生, 岡田信一, 原島博："知的インタフェースのための顔の表情合成法の一検討", 信学論(D-II), J73-D-II, 3, pp.351-359 (1990-03).
- (6) D.Terzopoulos and K.Waters："Analysis and Synthesis of Facial Image Sequences Using Physical and Anatomical Models", IEEE Trans. on Pattern Anal. & Mach. Intell., 15, 6, pp.569-579(Jun.1993).
- (7) 福井康之："まなざしの心理学", 創元社 (1984).
- (8) 多田英興, 山田富美雄, 福田恭介："まばたきの心理学", 北大路書房 (1991).
- (9) K.Morii, T.Satoh, N.Tetsutani and F.Kishino："A Technique of Eye-Animation Generated by CG, and Evaluation of Eye-Contact Using Eye-Animation", SPIE, 1818, pp.1350-1357 (1992).
- (10) Y.Suenaga and Y.Watanabe："A Method for the Synchronized Acquisition of Cylindrical Range and Color Data", IEICE Trans., E74,10, pp.3407-3416 (Oct. 1991).
- (11) 志和新一, 中沢憲二："視線一致型表示装置の表示特性", テレビ学技報, 16, 10, pp37-42 (1992).
- (12) 加藤孝義："空間の認知とイメージ", pp.139-141, 新曜社 (1986).
- (13) 鑑沢勇："ヒューマンファクタ", テレビ誌, 42, 11, pp.1193-1198 (1988-11).
- (14) 佐藤利喜夫, 三浦彰, 永田邦一："映像電話における撮像管の位置に関する検討", 昭和42年電気四学会連合大会, 講演1998 (1967)
- (15) 真覚健, 丸山欣哉, 桐田隆博："他者の視線方向の知覚", 日本心理学会第54回発表論文集, pp.513 (1990)
- (16) 福永厚, 渡辺理, 勝山恒男："テレビ会議コミュニケーションの評価", 第9回ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, pp.29-36 (1993)
- (17) 原島博："顔画像の分析合成符合化方式の動向", テレビ学技報, 12, 9, pp.19-26 (1988)

付録 作成ソフトウェア一覧

本研究に伴い作成したソフトウェアを示す。

showface … 顔画像アニメーション

サイバーウェアにより採取した顔データを用いて眼のアニメーション表示を行う。但し、眼の周囲の領域のみを描き変えているため顔全体を動かしながらのアニメーション表示はできない。

cutvertex … 頂点削除プログラム

サイバーウェアで取り込んだ顔の3次元データを削減するためのプログラム

showface2 … 顔画像アニメーション2

頂点数を削除したデータを用いて、頭部全体のアニメーション表示を可能とした。また、口の部分のアニメーション表示もできる。

atrdemo/EYETRACK/showface … 視線検出装置と連動してリアルタイムに眼のアニメーション表示を行なうためのプログラム

詳細な使用方法等については、それぞれのソフトの使用説明書を参照して頂きたい。