161C55
2016/3/2

人間の身体機能特徴を応用した汎用動物視覚体験システム

芝田 圭佑[1]　濱川 礼[2]

概要：本論文では視力や身体的な特徴を用い、汎用的な動物の視覚を体感できるシステムについて述べる。動物の視覚を再現するシステムについて近年研究されてきた。しかし、動物の視覚を再現するためには動物固有の特徴を理解する必要があり、特定の種の再現が行われてるに過ぎない。動物の共通の特徴をパラメータとして用い、動物に当てはめることで汎用的な動物の視覚を体験できるシステムの構築方法について述べる。

キーワード：仮想現実, 視覚, ヘッドマウントディスプレイ

Animal Visual Change Experience System with the Human Body Function Feature

Keisuke Shibata[1]　Rei Hamakawa[2]

Abstract: This paper describes the system that can experience of the general-purpose animal vision using the parameters of vision and sense of color in virtual space. In late years it has been studied the system which reproduced the animal vision. However, in order to reproduce the animal vision must understand the animal-specific features, the reproduction of the specific kind is carried out. It describes how to build a system that can experience of the general-purpose animal vision by applying to the animal using eyesight and sense of color to measure human physical ability.

Keywords: Virtual reality, Visual sensation, Head-mounted display

1. はじめに

本論文では人間の身体能力を測る視力や身長などの指標を拡張し、動物の身体的特徴に適応することで汎用的な動物の視覚を体験できるシステムについて述べる。

2. 背景

人間と動物は古くから深く関わってきた。人間の技術発展の歴史は様々な形で動物が影響を与えていると言っていい。人間は常に自分にないものをものを求めてきた。その欲求は普段から目にしてきた動物への憧れとなり、様々な形で実現してきた。例えば、飛行の歴史がある。人類は太古から鳥や虫が空を飛ぶ姿を見て、「自由に空を飛んでみたい」と考えていた。1783 年、モンゴルフィエ兄弟による有人熱気球実験にて実際に人類は空を飛ぶことになるのだが、紀元前には既に見受けられる人類の夢を達成するための執念が伺える。

自分とは違う動物の世界を体験してみたいというの人類の夢であった。とりわけ人間は視覚優位の生物であり、動物の見ている世界の体験として様々な研究が進められてきた。近年頻繁に行われているものとして動物視点カメラを用いる方法があげられる。これは動物にカメラを装着し、普段どのような行動をするのか観察するものである。この方法は近年のカメラの小型化により動物に負担の少ない形

[1] 中京大学 情報科学研究科
Chukyo University
[2] 中京大学 工学部
Chukyo University

© 2016 Information Processing Society of Japan

で実装できる形となり大きく普及した。未だ解明されてない謎の多い野生動物の生態の解明やペットとのさらなるコミュニケーション向上を目的とする飼い主による装着などその有用性が伺える。こういった需要増に伴い Sony が犬の目線が撮れるドッグハーネスを発売した [1]。企業側の対応も含め今後益々需要が増えると考えられる。しかしこの方法では、映像データはあくまでカメラから取得してきたものであり、動物固有の眼の機能や体の動きを考慮することはできない。またカメラ操作は動物側に左右されるため、人間が自由に世界を体験することはできない。

動物固有の特徴や体の動きを反映した視点映像を体験できる新たな手法としてバーチャルリアリティが近年注目を集めている。非常に限定的な空間やデバイスを用いなければできなかった体験を比較的安易な方法によって実装することができるようになり、その市場規模は急速に拡大化すると考えられている [2]。既に様々な研究が成されているが、開発は難しい現実がある [3][4]。理由として、視覚のパラメータ化があげられる。視覚は五感の一つであり、絶対的な数値で判断するのものではなく、個々の個体が自然に感じ取ることのできるものである。眼の良さの一般的に扱われる指標として視力があるが、視覚は眼の機能や体の動き、脳による補正など様々なものが影響しあっている。人間においては視力や身長など視覚に影響を与えるものをある一定の基準に基づき数値化したものが存在する。動物についてはコミュニケーション手段を持たないため、ただでさえ難しい視覚の共有をより困難なものとしており、主観的な評価もすることができない。そのため動物の体験実装を行うに当たり、視覚の予測をたてながら行わなければならない。しかし人間は人間の視覚しか知り得ないため、身体的な特徴から動物ごとに個別のパラメータを作り調整していく必要がある。また視覚を含む五感という分野は未だ発展途上で開発コストが大幅にかかってしまう。地球上には約 175 万種の動物が存在するとされているが、現状ポピュラーな種による再現研究が行われているにすぎない。

3. 目的

本研究では容易な手段で様々な動物に対応する人間本位の視覚体験を行うことを目的とする。新たな体験には高いエンターテインメント性が付きものであり、世の画期的な娯楽には必ず人々が感動する新たな体感を取り入れてきた。特に遊園地のようなエンターテインメント性の強いものは、プロジェクションマッピングなど、現在の情報技術の元を作り出すきっかけになった例も存在する。動物の視覚体験は新しい体験によるエンターテイメント性はもちろんのこと、動物の生態理解向上や動物とのコミュニケーション促進など今までは難解なパラメータ設定や動物側に操作を依存した形で低い自由度の中で体験する手段しか持ち得なかった。そこで我々は人間が普段用いている指標を元に、眼の機能や動きの中で重要なものをパラメータとして設定し、汎用的な視覚支援システムを構築した。これにより難解であった各々の動物再現を容易なものとし、従来の少数の動物に特化するのではなく、多数の動物に対応する汎用性を獲得した。

4. 本システムについて

動物は人間を含み共通する特徴を多く含んでいる。その中で特に眼の機能・動きに影響を与えているものを、パラメータ化し、取り入れ汎用化を行う。パラメータは以下の 6 つである。

- 動物身体バンドル
- 視力
- 色覚
- 速度
- 体高
- 体重

動物の身体的な動きによる差異については、同様な特徴を持っている動物を動物身体バンドルとしてまとめる。動物個々で抽出するのが難しい眼の良さや色覚といった情報を人間から抽出し共通のパラメータとし、それを解剖学的に比較・適応することによって再現を行う。これらを組み合わせることで、多数の動物に対応した視覚情報再現システムを構築する。

4.1 パラメータ

入力パラメータの「動物身体バンドル」、「視力」、「色覚」、「速度」、「体高」、「体重」は、「動物身体バンドル」以外人間が決定した尺度であり、これらはいずれも視覚情報に大きく影響を与えるものである。人間と動物間で共通化可能な尺度をパラメータとして設定している。これらの値を解剖学上の人間の情報と動物の情報を照らし合わせ再現を行う。そのため実際の動物の知覚情報から取得したのではなく、あくまで身体構造上からの予想である。設定されているパラメータは人間と動物間で共有可能なものを用いいているため、再現度の高い近似になると考えられる。また動物との大きな差異として目の位置・種類が存在する。これらは視覚情報に多大な影響を与え、動物の種そのものの特徴として現れている。しかし最終的なユーザは人間であり、再現されたものを解釈するのも人間の感性で行われる。人間から大きく乖離した情報は理解できないばかりか、情報不一致による身体的な悪影響、主に酔いといった形で現れる。動物の正確な再現を行う場合これらを考慮しなければならないが、本研究ではあくまで人間本位の視覚情報再現であるため本研究では考慮しない。

4.1.1 動物身体バンドル

生物はそれぞれに一定の特徴を持っており、それらの特徴を分類し、体系的にまとめる学問に分類学が存在する。

© 2016 Information Processing Society of Japan

動物の特徴を共有のバンドルとして作成し、全動物の共通のパラメータを適応することで、対応する動物の数を飛躍的に増やすことが可能となる。本研究では視覚情報に大きく影響を与える動物の動きに着目し、バンドルとして設定している。主に分類学における科に対応しており、例として猫や馬がある。これは科が身体的な構造で分類されていることが多いためである。身体的な構造が近似していれば動物の動きについても同一もしくは類似すると仮定している。

4.1.2 視力

「視力」は人間が眼の良さを示す指標として設定した尺度である。人間における眼の良さとは静止視力、動体視力、深視力など様々な要素に起因するが、主な目の良さの指標としてはランドルト環検査で計られる視力指標が用いられる。これは主に静止視力を計るためのものである。どの範囲まで鮮明にものを見ることができるか最も影響を与えているものが静止視力であり、動体視力や深視力は最終的に知覚するもののもつ機能に依存するため本研究では考慮しない。

4.1.3 色覚

「色覚」は色の差を識別する感覚である。人間の色覚は赤・緑・青の錐体細胞が刺激を受け、その情報を元に知覚している。知覚している色は他の錐体細胞との刺激の比によって決定されている。錐体細胞が機能しなくなれば、その分だけ対応する色が認識できなくなり色覚は変化する。

4.1.4 速度

「速度」は動物の移動速度を表す尺度である。体を現時点からどれだけ素早く移動させることができるかの値であり、体の一部である眼にも、ひいては視覚情報にも多大な影響を与える。

4.1.5 体高

「体高」は体のサイズを表す尺度である。動物が直立している際の地面から頭頂部または体の最高点までの高さのことである。体のサイズを表す指標として体長が存在するが、これは動物によってなにをもって体の長さとするのか異なっているため適さない。そのため一律の指標である体高を用いる。

4.1.6 体重

「体重」は動物の重さを表す尺度である。動物は基本的に自身の体重を支えるだけの筋力を有しているため、動作そのものに与える影響は小さい。しかし地面に与える影響は大きく、材質によって軋みや歪みを発生させうる。歪みや軋みによって体の位置が変化すれば当然視線も変化する。

4.2 利用方法

本システムではユーザが体験したい動物のパラメータを入力する。入力パラメータとして「動物身体バンドル」、「視力」、「色覚」、「速度」、「体高」、「体重」が設定されている。入力されたパラメータに基づいた視覚情報をヘッドマウントディスプレイ上に出力する。パラメータは任意の値を設定することができ、ユーザが体験したいパラメータをもった動物の体験可能である。入力パラメータはリアルタイムで処理されるため、パラメータの変更を行えば即時反映される。またユーザの体からの入力として加速度センサー、ジャイロセンサーを用いる。加速度センサーとジャイロセンサーでユーザの視線を取得し、仮想空間上の視線へとフィードバックする。異なるパラメータであれば当然得られる視覚情報は異なり、例としてマウスは非常に視力が悪く、色覚もほとんどないため、ボヤケた灰色に近い世界を見ていることとなる。

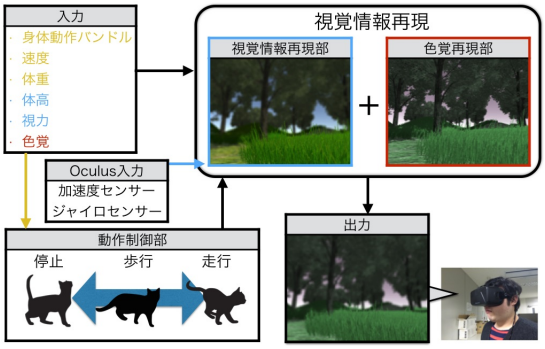

図 1 システム構成
Fig. 1 System Configuration

5. システム概要

本システムは動物の種別に設定されたバンドルに人間から取得した視覚情報・色覚のデータを適応することにより、仮想空間上で動物の視覚情報を再現している。

システムの構成を図 1 に示す。ユーザは定義した 6 つのパラメータを入力する。入力用のユーザーインターフェースを図 1 に示す。コンボボックスとスライダーにより、パラメータを入力する。また予めプリセットが設定されており、プリセットを選択すれば一意に 6 つのパラメータが決定される。入力パラメータは眼に直接影響を与えるパラメータと動作時に影響を与え、間接的に視覚情報に影響を与えているものの二つが存在する。そのため視覚情報に常に影響を及ぼすパラメータと動作時影響を及ぼすパラメータを分けて処理を行う。常に影響を及ぼすパラメータは視力、色覚、体高。動作時影響を及ぼすパラメータは動物動作バンドル、速度、体重である。常に影響を及ぼすパラメータは人間から抽出した結果を元にした視覚情報再現部と色覚再現部に渡す。ユーザの動作命令を受け取り、動作制御部に渡す。動作制御部では動作時に影響を与えるパラメータである動物身体バンドル、速度、体重と現在位置から命令後に視点がどこに移動するか計算する。計算された位置情報を視覚情報再現部と色覚再現部に渡す。視覚情報再現部では我々が前研究で行った視力の再現とオート

© 2016 Information Processing Society of Japan

図 2　入力用ユーザインターフェース
Fig. 2　User Interface for Input

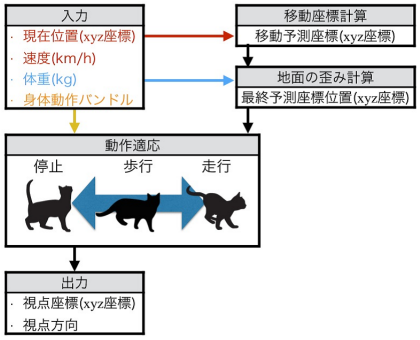

図 3　動作制御部構成
Fig. 3　Operation Control Unit Configuration

フォーカス機能の再現を行っている。図 1 の例では視力補正の適応に伴い輪郭線が曖昧になり、遠くになればなるほどボヤケている。色覚再現部では人間の持っている色覚と比較し、どれだけ変化しているか計算する。図 1 の例では赤がなくなり、青が若干弱くなっているため、全体的に緑がかった色合いとなっている。ユーザの身体からの入力として加速度センサー、ジャイロセンサーを用いる。加速度センサーとジャイロセンサーは HMD に装着されており、人間の頭の動きを取得し視覚情報再現部に渡される。視覚情報再現部と色覚再現部での計算結果を結合し、ヘッドマウントディスプレイから出力することでユーザ入力情報から得られた視覚情報をユーザに提供する。本研究ではシステムを構築するため Unity を用いている [5]。

5.1　常に影響を及ぼすパラメータ

視覚情報は感覚器官である眼からの情報であるため、眼に直接影響を与えるパラメータは常に考慮に入れなければならない。視力、色覚、体高がこのパラメータに当たる。

5.2　動作時影響を及ぼすパラメータ

動物身体バンドル、速度、体重がこのパラメータに当たる。これらは視点に直接的に影響を与えるパラメータではない。しかし視点を司る眼は体の一部であり、動作に伴い移動する。動作に大きな影響を与えるものであれば、間接的に視点に影響を与えるためパラメータとして設定されている。このためこれらのパラメータは常に視覚情報の算出には考慮に入れられず、動作時にのみ適応される。これらのパラメータの中で動物身体バンドルは動物の身体特徴をまとめたパラメータであり、複数の要素で構成されている。ここにおける特徴は動物の体の形と動き・モーションのことである。分類学上で同一科に属する動物の身体構造は非常に近似しているため、一つの動物身体バンドルで複数の動物の動きを表現することができる。内部は動物の形そのものを表すモデル、動物の関節の関係性を保持するボーン、ボーンをどのように動かせばいいか保持するモーションに分かれている。ボーンを設定されたモーションに基づき動かすことで、動物の外面そのものであるモデルがどのように推移するか処理を行う。モーションは停止・歩行・走行状態からなり、動作開始時点からボーンがどこにどのように移動するか時間単位で設定されている。設定されているモーション時間が終了しても動作命令が続いてる場合、繰り返し実行される。それぞれのモーションがユーザの操作を受け取り遷移することで一連の動きとなっている。

5.3　ヘッドマウントディスプレイ

現在ヘッドマウントディスプレイには眼鏡型やディスプレイ型など様々な方式が存在するが、本研究では不透過ヘッドマウントディスプレイに分類される Oculus Rift を用いた [6]。理由として広視野角が挙げられる。人間の視野角はおおよそ 200° である。しかし正しく色が判別可能な範囲はおよそ 135° であり、物体の形まで認識できる範囲はさらに絞られる [7]。従来のヘッドマウントディスプレイの視野角が 25° ～ 45° に対し、Oculus Rift の視野角は 110° である [8]。これは人間の色判別可能範囲とほぼ同じである。また搭載された加速度センサーとジャイロセンサーによりヘッドトラッキングを行うことができ、より高い没入感を得ることが可能である。

5.4　動作制御部

動物の動作に伴う視点の位置の制御を行っている。動作制御部の構成を図 **3** に示す。ユーザ操作より取得された停止・歩行・走行の動作命令を受け取る。現在位置から設定されている速度パラメータで動作を行った場合どの地点まで移動するか演算を行う。次に地面の状態と体重パラメータより現在位置の修正を行う。これは体重による地面の影響を考慮したものである。体重が高ければ高いほど地面への影響は大きくなり、地面の材質と体重の結果により現在位置情報が変化する。最後に時間と現在のモーション照らしあわせ、視点の位置が現在どの地点に、どの方向で存在するのか計算する。計算された座標から得られた視覚情報を視覚情報再現部と色覚再現部とで動作を伴う視覚情報の変化を制御する。

© 2016 Information Processing Society of Japan

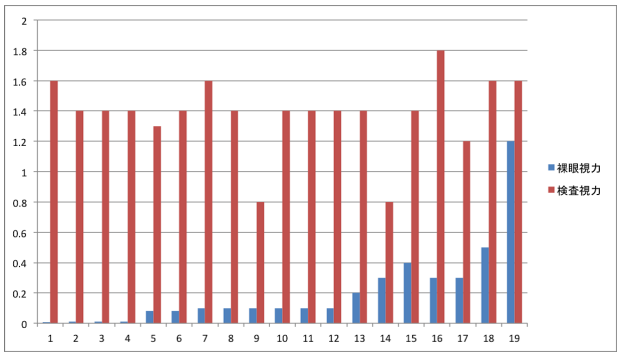

図 4　視力実験結果
Fig. 4　Visual Acuity Test Results

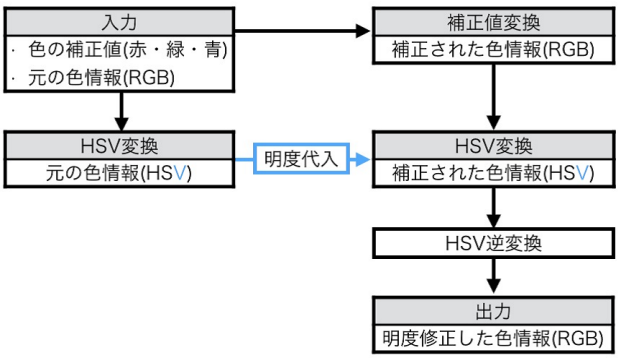

図 5　色覚再現部構成
Fig. 5　Color Vision Reproducing Unit Configuration

5.5　視覚情報再現部

視覚情報に大きく影響を与える目の良さとオートフォーカス機能の再現を行っている。視力とオートフォーカス機能のシステム上の再現方法については我々が行った前論文に記述する [9]。今回ヘッドマウントディスプレイが視力に与える影響を調べるために実験を行った。19 人の被験者にヘッドマウントディスプレイ (Oculus Rift DK2) を装着し、ランドルト環検査の仮想空間を作成し視力がどのように変化するか調べた。結果を図 **4** に示す。19 人全員の被験者が裸眼視力よりも大きく視力を上昇した形となった。これは投射しているディスプレイが非常に近く、視力低下によるボケが及ばないためと考えられる。またランドルト環検査結果がほぼ 1.4 付近に収束していることから個人差は比較的小さいと考えられる。よってたとえユーザの視力に個人差があったとしても 0 から 1.4 の視力については同一な HMD 環境で再現可能である。逆に 1.4 以上の視力を得ることが現状では難しい。前述の HMD よりも解像度の低い Oculus Rift DK1 を用いた際、視力低下が見られたため、ヘッドマウントディスプレイを用いた視力はディスプレイ側の解像度に依存するものと考えられる。より高解像度のディスプレイを用いることができれば現状より高い視力を再現することが可能となる。生物界で目の良い動物の代表格として猛禽類が挙げられるが、その猛禽類に属するトビは視力が 8.0 という結果がある [10]。しかしたとえ高解像度ディスプレイを用いても人間としての眼の機能限界があるため、現状の方法では不可能である。

5.6　色覚再現部

人間の色覚の再現を行っている。色覚再現部の構成を図 **5** に示す。人間の三つの錐体細胞の割合から色覚がどのように変化するか計算する。健常者の錐体細胞を 100%と考え、0%を全ての錐体細胞が機能していない状態とする。0%に近づけば近づくほどその色の影響力は小さくなり、二色以上 0%になった際、色覚を感じることが不可能となりグレースケールが出力される。本研究では色の表現方法は RGB を用いる。人間の錐体細胞と色の表現方法が直接対応しているためである。しかし色の補正をかける際、RGB に直接補正を行うと RGB 値には明度が含まれているため、元の色よりも暗くもしくは明るくなってしまう。実際の眼の場合、全色盲では桿体細胞が機能しているため眼が見えないということにはならない。しかし桿体細胞は暗所で機能するため、明所での光は錐体細胞に頼っている。錐体細胞の減少は輝度の減少に影響を与える可能性はあるが、輝版や瞳孔の影響も大きいため本研究では考慮しない。そのため明度を維持するため、元の色と補正後の色をそれぞれ HSV 色空間に変換する。補正後の色に元の色の明度を代入し RGB に再変換をかけ出力を行う。

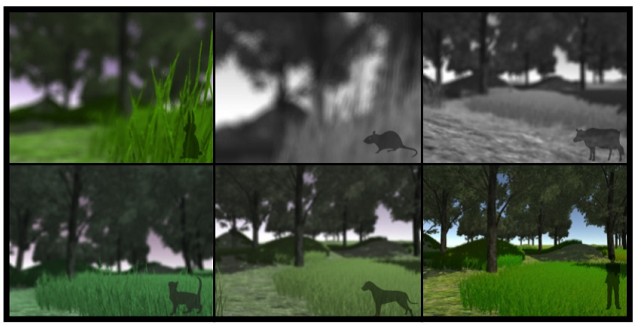

図 6　視覚再現例
Fig. 6　Sight Reproduction Example

6.　成果

本システムで視覚を再現した例を図 **6** で示す。人間では鮮明で鮮やかな視覚が目につくが他の動物は色覚、視力ともに劣るため、鮮やかさに欠け、ボヤケたものとなる。ネズミとウシについてはほとんど色覚がないため、灰色の世界で普段ものを見ていることがわかる。例は 6 種類示したが、現在 6 つの科 (ネコ科、ウシ科等) に対応しており、科の下位階級である属として考えれば 236 属 (ネコ属、ヒョウ属等) に対応可能である。これは動物の種類で考えた場合であり、パラメータの設定数で考えればさらに増加する。動物研究は未だ判明していない点も多いが、解析によりパラメータの数値が設定可能になれば即座に対応することが

© 2016 Information Processing Society of Japan

できる。またこれらのデータを元に被験者 4 名を対象に評価を行った。被験者は既存シミュレーション結果 [4][11] と Oculus 上に再現された視覚情報とを比較し、どれだけ類似しているかについて調査した。結果として全員がある程度の類似度が認められると回答した。絵や異なる仮想空間との比較であったため、受ける印象について多少の誤差があるとの指摘も見受けられた。動物の視覚情報を見たことによる感想として、普段得られない感覚への驚きや新知見など概ね好評価を得られた。発展的な意見としては視覚を制限することによって得られるゲーム性とそれらに付随するキャラクター設定への適応といった新たなゲーム性を獲得する手段としての利用が挙げられた。問題点として被験者 1 名を除く、3 名が使用後に体調不良を訴えた。症状は俗にシミュレータ酔いと呼ばれるものに酷似しており、HMD を利用した仮想現実体験での大きな壁となっている。主な原因としてユーザの状態と視覚情報から得られた感覚による齟齬が挙げられる。これらの緩和のため、ユーザの身体動作をセンサーにより取得し、動物の動作への適応を考えており、今後実験も含めて実装を行う予定である。

7. 関連研究

本システムと同じように仮想空間上で視点を再現することで擬似体験を行う研究として [3] が挙げられる。この研究は猫の視覚情報を再現することによって、猫がどのような世界を見るか理解することでユーザの関心を刺激することを目的として研究されている。人間と猫の視覚情報の違いとして色覚、暗順応、ぼけ、視野の 4 つを挙げている。これらを仮想空間上で各々リアルタイムで演算し、結合することで猫の視覚情報を実現している。また、視覚変化をよりわかりやすく体験する手法としてゲームを提供する。ただ視覚情報を提供するだけではなく、人間と違いによりどんな問題が発生するのか体感的に理解できる場を提供することで目的意識が生まれ、より良い効果をもたらす。

複数の動物の体験を可能にしているシステムとして「ALL EYES on PARIS」がある [4]。このシステムは複数の動物の視点を体験することで動物が持つ制約を理解し、学ぶことを目的としている。動物によって視点の特徴は様々で人間よりも優れる点、劣る点が存在するが、それらを制約として設定する。制約により迫り来る危険は様々である。それらを回避するゲームとして学習することで、学習特有の嫌悪感を払拭することができ、どの世代においても手軽に動物の視点の理解を深めることが可能である。またゲームでハイスコアを目指すことはそのまま制約の理解に繋がるため、遊びでより高みを目指すことがより深く動物の視点の特徴を学ぶことができる。

7.1 本研究との関係

関連研究ではともに仮想空間上で動物の視覚情報を再現し、人間が動物の理解を向上するためのシステムとして作成されている。我々はさらにパラメータを設定し、様々な動物に適応できる汎用性を付加することによって、利用範囲の拡大を目指している。

8. 今後

本研究は生体に焦点を当てた研究であり、本来情報技術分野に属さないものも扱っている。そのため、生体を扱っている分野の専門的な意見は必須であり、今後専門家の意見も踏まえたシステム構成やパラメータの精緻化を考えていく。また視覚情報というのは何も頭の動きだけで決定されるだけではない。本来体全てで行った行動の帰結が視覚情報として現れているに過ぎない。ユーザ自身の動きを動物の体の動きへと適応することで、より一体感のある擬似体験が得られると考えられ、高いエンターテインメント性の獲得を行っていく。

参考文献

[1] Sony AKA-DM1, http://www.sony.jp/actioncam/products/AKA-DM1/feature_1.html#L1_10
[2] TechCrunch モバイルさえ飲み込む VR/AR 市場、2020 年には 1500 億ドルの市場規模に, http://jp.techcrunch.com/2015/04/08/20150406augmented-and-virtual-reality-to-hit-150-billion-by-2020/
[3] Jeremy Long, Anthony Estey 他 : Catalyst: seeing through the eyes of a cat, FDG '10
[4] ALL EYES on PARIS,DASSAULT SYSTEMS'13, http://www.alleyesonparis.com/index_en.html
[5] Unity 公式ホームページ, http://japan.unity3d.com/
[6] Oculus Rift 公式ホームページ, https://www.oculus.com/
[7] 視野と色覚や図形認識に関する実験, 生徒理科研究論文集 16 年度
[8] HMD 製品比較一覧 ミキモト Beans, http://www.mikimoto-japan.com/beans/products/product_hmd.htm
[9] 芝田圭佑, 濱川礼 : ヘッドマウントディスプレイを用いた視覚変化体験システム, インタラクション 2015
[10] 知識の宝庫'!所さんの目がテン!, http://www.ntv.co.jp/megaten/library/date/03/04/0420.html
[11] ギヨーム・デュプラ : 動物の見ている世界, 創元社 ISBN978-4422760612

© 2016 Information Processing Society of Japan