

高速センシングが創り出す 近未来のリアリティ

工学院 情報通信系
渡辺 義浩 研究室

渡辺 義浩 准教授 2002年、東京大学 工学部 計数工学科卒業。2004年、東京大学 大学院情報理工学系研究科 システム情報学専攻 修士課程修了。2018年より東京工業大学 工学院 情報通信系 准教授



昨今ではVR・ARやプロジェクションマッピングといった、仮想空間が現実のように感じられる技術が身近になった。しかし、仮想空間を現実のように感じさせることは容易ではない。以下では、仮想空間と現実のズレをなくすために先生がどのようなアプローチで研究を行なっているのか、またその技術がどのような分野に応用可能なのかについて見ていく。

リアリティとは何か

突然だが、リアリティという言葉について考えてみよう。リアリティとは現実そのものを形容する言葉ではない。とある何か我々に色濃く現実の一要素を感じさせるとき、その現実らしさを指して使う言葉である。つまり、リアリティとはその現実味を表現する装置や機構の技術的進歩に伴い、変化し高度化するものなのである。

我々はインターネットの発達に伴い、遠く離れた人間と容易に話したり、写真や文章を共有したりできるようになった。他にも、訪れたことのない国や地域についての写真や動画を閲覧することで、限定的ではあるが、一瞬でその場に行ったかのような体験をすることもできる。つまり、インターネットの登場により、我々のアクセス可能な現実領域は拡大し、よりその境界線は曖昧なものになったのだ。他にも、今流行りのVR・AR技術

を用いれば、男性がアニメ調の女性に変身できたり、そもそも人間ですらないもの（四足歩行動物やロボットなど）へと変えたりすることができる。テクノロジーの発達が我々のリアリティをアップデートしてくれるのだ。

今回の取材は、そんなスマートフォンやパソコンのようなデバイスを通したのではなく、“今見ているこの世界そのものをテクノロジーによって変えようとする試み”についてである。この試みを現実化する研究をしているのが渡辺先生だ。先生の研究のキーワードになるのが「高速で処理を行なう」ということである。

処理速度が知覚に与える影響についての分かりやすい例の一つに、人間は自分の体に近い（と直感的に感じる）ものであればあるほどズレによる違和感が大きくなるというものがある。

例えば、パソコンのマウスでカーソルを動かすときに生じるラグとタッチパネルでデバイスを操

作したときに生じるラグとでは、後の方が感じやすい。同様に、VRのゲームでは、より体とテクノロジーの距離が近い分、それだけズレを感じやすく、VR酔いを起こしてしまうのである。このように、テクノロジーを現実には馴染ませるためには、限りなくラグを小さくする必要があるのだ。

前置きが長くなってしまったが、さっそく先生の具体的な研究を紹介しよう。

■ マーカーを用いたセンシング

距離や重さなどの物理量を定量的に計測することをセンシングと言い、近年没入型のゲームやロボットの制御など様々な分野で、対象物の動きや形状などを三次元的かつリアルタイムに解析する、リアルタイム三次元センシングと呼ばれる技術のニーズが高まっている。ところが、実際には非剛体の物のセンシング（非剛体三次元トラッキング）は対象物そのものの自由度が高く、処理が複雑になってしまうため非常に難しい。そこで先生は、特別なマーカーを対象物の表面に印字し、検出されたマーカーの動きを追うことによって、物体の変形を高速に捉えることに成功した。このマーカーは“Deformable Dot Cluster Marker”と名付けられており、マーカーの一部分からマーカーのどの部分なのか分かるように最適化されている。

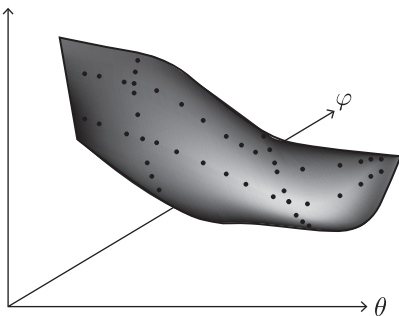


図1 3次元剛体に対するマーキングのイメージ

3次元剛体にマーカーをすることで、各点の動きを認識し、センシングすることが可能となる。

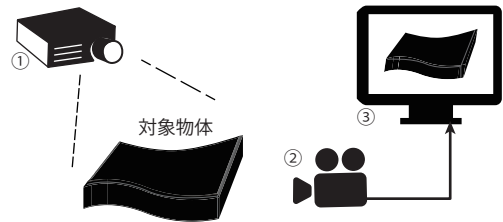
■ プロジェクタを用いたセンシング

前述したマーカーを対象物に印字する方法以外にも、プロジェクタで光を投影することによって三次元センシングを行うこともできる。

人間は、2つの目で物を見て空間を認識している。2つの目それぞれに見えている映像のズレによって近い・遠いを判別しているのだ。これはカメラにおいても同じことで、2つのカメラを用いることで、空間をデジタルに認識することができる。しかし、これはセンシングという観点から見ると不十分だ。なぜならば、真っ白な物体のように角度を変えて見ても違いが分からないものの場合、三次元形状を読み取ることはできないからだ。

ところが、1つのプロジェクタと1つのカメラを用いた場合、プロジェクタで対象物体に光を当て、その光のパターンがどう歪むかを観測することによって、三次元形状を読み取ることができる。

対象物の特徴によって当てる光をプロジェクタでカスタマイズでき、高速化を図ることにつながる。



- ① プロジェクターの光を対象物体に投影。
- ② カメラで撮影。
- ③ パソコンでデータの読み込み。

図2 プロジェクターによるセンシング

■ 質感を読み取る

先生は物の動きや形状を読み取るセンシングだけでなく、質感を読み取ることに关するセンシングも行なっている。

人間がものの質感を視認するとき——例えば、今そこに見えている壁がザラザラしていそうな

か、それともツルツルしていそうなのかを判断するとき—そこには反射特性と呼ばれるものが関わっている。光が物体のある微小な面に入る角度とそこから反射した光を見る角度をそれぞれ固定したとき、その微小面に入った光と出ていく光の比率（反射率）はその微小面の性質によって異なる。つまり、反射率は入った光と出ていく光に依存する関数と考えることができる。この関数のことを反射特性と呼ぶ。

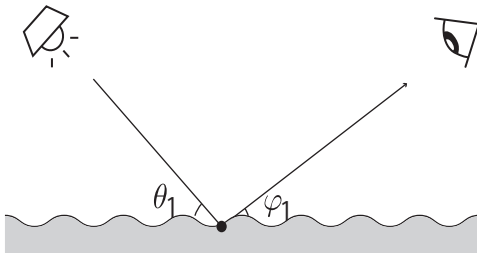


図3 反射特性を表した図

見る角度により、光の比率が異なるので、それを処理することで質感を認識できる。

この反射特性を各面で読み取るためには膨大な処理が必要であり、渡辺先生はその高速化に関する研究をしている。この反射特性に、どこから照明が当たっているか、物体がどんな形状をしているかという条件が加わることで、人間は質感を認識できるのだ。

つまり、あたかも反射率/反射特性が「そうになっている」ように映像をプロジェクタで投影すれば、人間からは実際とはまったく異なる質感のものが本当にそこにあるように見えるのだ。その具体的なメカニズムを説明する。

人がある場所に立っていて物体を見ている状況を考える。このとき、光源、微小面、人の位置を固定することで、微小面に対する光源からの光の入射角および人への反射角が一意に定まる。そこで、その微小面のもともとの反射特性を考慮しながら特定の反射特性を持つように調整した光（この光は、先ほど仮定した照明とは別の実際の光で

ある）を照射すると、あたかもその部分が見せたい質感を持っているように見える。これを各面で行うことで、プラスチックを金属のように見せたり、布に別の素材がくっついているように見せたりすることができるのだ。

デジタルアーカイブ

近年、文化を保存するために美術品や本などを電子化しよう、という動きがある。この考えはデジタルアーカイブ（あるいは、デジタルアーカイブ化）と呼ばれるものだが、ここにおいてはスピードが課題になっている。1つのページを開いて固定し、一枚一枚スキャンしていたのではあまりにも遅すぎる。現実では、大災害が生じて希少な本がなくなってしまう恐れがあり、現時点では、何が将来的に重要なものになるのかも知り得ない。そこで、先生はパラパラと本をめくりながらスキャンを行う Book Flipping Scanning を提案した。これはめくっているページを形ごと読み取り、読み取った三次元形状に合わせて画像を変形することで本をスキャンするというもので、一分間に最大250ページの速度でスキャンすることができる。この Book Flipping Scanning によって、途方もない数の書物のデジタルアーカイブ化がより現実的なものとなった。

また先生は、ただ書かれている内容だけではなく質感や重さなどの本が持っている特性も一つの本というコンテンツであるとして、それらもデジタルアーカイブ化していこうと考えている。それ以外にも生き物、ひいては実世界そのものを、そのままの形でデジタルに落とし込もうと先生は考えている。そして、それを可能にするのが質感をもとりこめる高速なセンシングなのだ。

これまでもセンシングの高速化は人々の行動を変えてきた。例えば、写真を撮ることに時間がかかっていた時代では、今のように食事の写真をパシャパシャ撮る人は少なく、目的があるときにしか使わなかったに違いない。ところが、インスタントカメラ、スマートフォンとどんどん写真を撮ることが高速化したことによって、特に目的はな

くても気軽に写真を撮るようになった。

これに質感が加わるとなると、我々はさらに多くの情報を保存できることになる。

1000fpsの超高速プロジェクター

先生はその他に、1000fps（1秒間に1000回）のスピードで投影を行う超高速プロジェクター、DynaFlashを開発している。「Youtubeの60fpsでも十分に動画として見るができるのに、1000fpsも必要なのか？」と疑問に思う方もいるだろう。確かに、従来のプロジェクターのようにただ映すだけならば、そこまで高速である必要はないかもしれない。しかし、プロジェクターを用いて前述したようなセンシングを応用していく上では、人間の目にこだわる必要はなく、逆により高速にしていくニーズがあるのだ。

読者のなかでは、プロジェクターとは単純に映像を投影するというイメージを持っている人も多いと思う。しかしながら先生は、プロジェクターを高速かつ空間的に制御できるライトとして考える。つまり、ここではプロジェクターが映しているのは映像ではなく、制御された光である。

人間は物を見るとき、物体が反射する光を網膜で検知することで、物を見たと感じ取る。光という情報を、網膜に存在する視細胞が反応して神経細胞へと伝達しているのであり、例えば点滅する光を見てチカチカという明暗の違い（フリッカーという）を理解できるのも視細胞のおかげである。しかし、視細胞が感知できる点滅の速度にも限界がある。この、人間が点滅していると認識できなくなる限界の光の周波数を臨界融合周波数という。

ゆっくりとした速度で光を照射しても、チカチカとフリッカーを感じてしまうが、臨界融合周波数を超える速さで照射することにより、ずっと光を当てているように知覚されるのだ。連続して光を当てているように知覚させることにより、様々なことが可能になる。その一つにDynamic Stop Motionという質感を持ったアニメーションを作り出すものがある。

まず、様々な色や材質を用いた円盤を用意し、

その円盤を高速に回転させる。当然、真っ暗な部屋の中では円盤は見えないが、ここで円盤の一部がある領域を通過する瞬間にスリット状の光を当てると、その領域にチカチカと円盤のその部分が残っているように見える。例えば、円盤の青色の部分が青色に見せたい部分を通過する瞬間に光を当てれば、そこにはチカチカと青色の物質が見える。この円盤とプロジェクターの速度をどんどん上げていくことで、いずれ臨界融合周波数を超え、まったく点滅せずに見える。これをそれぞれの場所で行うと、一枚の絵を表現することが可能となる。さらに照射する円盤が金属であれば金属の、木であれば木の質感を持った絵を得ることができる。

これを適切に制御された光で繰り返し行うことにより質感を持ったアニメーションを作ることができるのだ。

ダイナミックプロジェクションマッピング

DynaFlashをプロジェクターとして用いた場合の実用例として、ダイナミックプロジェクションマッピングが挙げられる。プロジェクションマッピングという単語については、見聞きした人は多いだろう。プロジェクションマッピングとはCGなどで作成した映像を対象に投影する技術のことだ。テーマパークでのイルミネーションにもよく使われているが、それをダイナミック、つまり動的に行うとはどういうことだろうか。例えば、対象物が動く場合を想定する。

通常、プロジェクションマッピングでは対象物を読み込んでそれをもとに映像を作成する。つまり、対象物が動くならばその動きに合わせてあらかじめ映像を作る必要がある。例として観覧車にプロジェクションマッピングを行う場合が挙げられる。

ところが、観覧車などの動きの予測ができるものや決まった動きをするものではなく、飛び跳ねるボールや任意に動く人にプロジェクションマッピングを行いたい場合はどうだろうか。このように、動きに合わせて映像を作ることができないと

きには、高速に対象物の動き・形状の変化を読み込み (=センシング)、それに合わせて高速に映像を処理し、投影する制御が必要となる。この技術がダイナミックプロジェクションマッピングだ。

ここで、先ほどの質感を出力する話を思い出してほしい。先ほどは動かない物体に対して質感を出力していたが、動的センシングと高速なプロジェクタを用いれば、動く物体に対しても質感をもった映像を照射することができるのだ。これは剛体のみならず、非剛体であっても可能である。

人間が動く物質を見るとき、ある特定の微小面の角度や場所は時間ごとに変化する。その角度・場所をセンシングによって読み取り、その部分がある反射特性を持っているならばこう見えるであろう、という映像を逐次投影することで、圧倒的なリアリティを実現することができるのだ。

この技術を先生は、質的知覚が難しい方々のために活用できるのではないかと考えている。例えば、高齢者のような色の識別を難しく感じる人のために、個々から見える光を制御することができるかもしれない。具体的には、青色が見えにくい方に対して、より青色に見えやすいように光を調節することができるのである。これは色に限らず、質感や形でも同じことが言える。現実を読み込むことが、その現実をより強調することに繋がるのだ。

もちろん、この技術をアートに転用することもできる。実際に先生は、アーティストの浅井宣通さん、ダンスユニットのAyaBambiさん、他のアーティストの方々と協力し、アート作品《INORI》を作成した。これは、AyaBambiさんの顔にマーカーを付けてもらい、そこにダイナミックプロジェクションマッピングを行ったもので、AyaBambiさんのパフォーマンスに合わせて様々なイメージ、例えば被写体の顔が変形・変質するような表現をプロジェクションしている。先ほど説明した1000fpsプロジェクタDynaFlashと、超高速センシング技術が、このパフォーマンスを可能にしているのである。

プロジェクタという存在の未来

これからの時代、プロジェクタという存在の扱いを変えていきたいと先生は言う。従来のプロジェクタとは、ただ映像を映し出すだけのものがあった。しかし、プロジェクタは光を投射する、いわばライトとしての機能も持っている。

プロジェクタのライトと情報提示機能という二つの側面を使うことで、何もなかったところにディスプレイとしての役割を与えるといった夢のような将来を作ることができるかもしれない。そのためには、超高速プロジェクションや高速センシングの技術をさらに進化させていく必要があるだろう。

渡辺先生は、センシング技術によって実世界を測定し、対象の情報を取り込む技術をさらに発展させることで、ゆくゆくは物体の形状や反射特性などの情報を瞬時に、かつ、正確にコピーすることを目指しているようだ。その技術が完成すれば、例えば、現時点では本などの無生物が対象であるデジタルアーカイブを生物にも適用可能になり、絶滅の危機に瀕している貴重な動植物を保存できるのである。

渡辺先生の研究する技術の極限は、センシングによって対象とする物体の形状は勿論、反射特性などの質感を含めたその物体らしさ全てを取り込んで加工でき、かつ、臨界融合周波数を超えたレベルで動静に関わらず、像を投影可能だということである。この研究のさらなる発展を期待したい。

(執筆)