

Eyeke: 光景を音景として聞くインタラクティブシステム

奥中 健史[†] 外村 佳伸[†]

本報告では、映像の特徴レベルの情報をを用いて音に変換するインタラクティブシステム **Eyeke** (**Eye Mike**)を提案する。Eyeke は、メディアの特徴レベルの情報を効果的に生かしたインタラクションを実現する研究の一環として、映像と音に焦点を当てたものである。システムは、色相を用いた色処理による限定色選択とキャリブレーションにより、インタラクティブな環境でも安定して動作する。手持ち web カメラを指揮棒のように操作して音楽の演奏が出来るインタラクティブな楽器や、景色を音で聞くシーン・ソナーとしての Eyeke の展開についても紹介する。

Eyeke: Interactive Visual-to-Auditory Scene Sensing

TAKESHI OKUNAKA[†] YOSHINOBU TONOMURA[†]

This paper proposes an interactive visual-to-auditory scene sensing system called **Eyeke** (**Eye Mike**), which processes feature level information included in a scene. Limiting colors representing things in a scene and effective calibration methods make the system robust and easy to use. Eyeke as a music instrument using a web camera and a scene sonar which tells us about the scene of your interest are also introduced.

1. はじめに

近年、ディスプレイ/マウス/キーボードだけでなく、我々の身の周りの環境を視野に入れたインタラクションシステムの研究が盛んに行われている。

人間は周りの環境から視聴覚や他の感覚器を介して情報を得ているが、意味につながる高次の認識として意識に上る情報のみならず、特徴レベルの情報も無意識下の処理に大きな影響を与えている。そこで我々は、ユーザの身の回りの環境から入力される情報の持つ特徴レベルの情報を抽出し、その特徴ごとに様々な処理を施し、新たな表現としてユーザに提示するインタラクションシステムの研究を進めている。

本論文では、その一環として、視覚情報としての映像入力に対し、その特徴情報を用いて聴覚情報としての音に変換するシステム Eyeke を提案し、実現したプロトタイプについて報告する。

2. 視覚情報と音情報の相互作用

現実世界に存在するモノは様々な情報を発しており、人間はそれらを五感を主とする感覚器で捉えることができる。ここでは、特に人間が着目する範囲に存在する様々なモノとその構成に関する状態を「状景」と呼び、さらに人間が視覚的にとらえた状景を「光景」、聴覚的にとらえた状景を「音景」と呼ぶこととする。

人間における複数の感覚情報の相互作用による状景把握として、特に視覚情報と聴覚情報の協調的・補完的關係については、古くから議論されている¹⁾。状景をとらえる際、視覚情報のみの光景によって伝わる情報がかかなり支配的だが、それらは音景としてどこまで表現することが可能だろうか。

視覚情報を用いた音表現に関しては、視覚に障害がある人に音を用いて景色を伝えるシステムや、アートとして視覚情報を音に変換するシステムなど、古くから様々な目的や観点で研究が行われている。Cronly-Dillon らは、画像からエッジなどの特徴を抽出し、対応する音をあらかじめ用意しておいて鳴らすことにより、視覚に障害がある人に形状を認識させる手法を提案した^{2), 3)}。また、小林らは、音を用いて状景の理解を行うため、頭部に固定したカメラ画像からランドマークの位置を検出し、3次元音響装置を用いて、その位置から聞こえてくるような音を鳴らすことにより、視覚に障害のある人に歩行の誘導を行うものを提案した⁴⁾。これらは、視覚的にしか得られない状景中の情報を音に変換することにより情報の補完を行っている。

一方、アートとして視覚情報から音表現を行っている研究の例として、Fels らのインタラクティブダンス楽器 Iamascope がある⁵⁾。このシステムは、ユーザの単純な動きを検出・画像処理し、画像を分割した領域毎に音を出すかを判断することによりメロディー生成を行う。また、福本らは絵画から特徴的なパレットカラーを取り出し、Zipf の法則を一つの手法として用い

[†] 龍谷大学理工学研究科情報メディア学専攻
Graduate School of Science and Technology, Ryukoku University

て絵画・文章・音楽などの複数メディアを相互に掛け合わせた新しい作品の表現/鑑賞手法「Ziplayer」を提案した⁶⁾。アートとしてメディア変換を行うこうした研究については、複数メディアの同調を図り、互いの印象を強め、相乗的な効果を得ることをねらっている。

このように、視覚情報と聴覚情報の関連性に着目した研究が数多く行われている。しかし、上記の関連研究では、目的に応じて狙った状況に対し、パターン識別により事前に用意してある対応音を鳴らすため、状況中に存在する狙い以外の対象に対しては適用が難しい。これに対し、本研究では、状況に含まれる特定の状況をねらうのではなく、人が着目する視野における光景一般に対し、その主要な特徴情報がどの程度音景に変換可能かを検討するとともに、その知見を利用したインタラクティブなリアルタイム変換システムの実現をねらうものである。

本論文では、人間が関心を持つ状況や対象物を目で捉えるという行為に着目し、手持ち web カメラを用いて着目した状況を光景として捉え、そこに存在しているモノを、色情報を中心とした処理と変換により音を発すること、すなわち、光景を音景に変換するインタラクティブシステムを提案する。また、応用として、インタラクティブな独特の楽器や状況分析システムとしての展開についても触れる。

3. Eyeke

3.1 状況情報

目に見えない温度を色に変換し、人に直感的に見せることが効果的なように、我々は様々な特徴レベルの情報を処理・変換し人の感覚特性が生かされることがインタラクションシステムにおいて重要と考えている。

図1は、人間が感覚器を通じて感覚・知覚からさらに高次の認識をする中で、着目した状況の特徴情報に処理(例えば強調、他メディアへの変換、現象の検出など)を加え、人にとって感覚・知覚レベルで効果的な表現に変換する処理の位置づけを示したものである。

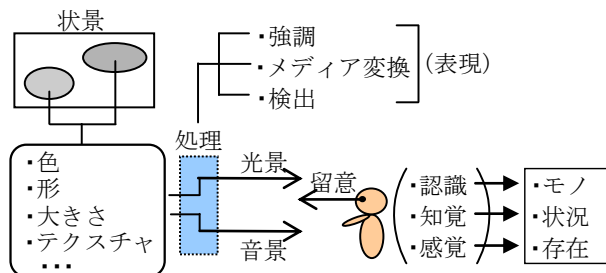


図1 状況情報の処理・変換モデル

状況にはモノが存在している。状況を構成する情報には、各モノの色／形／大きさ／テクスチャなど様々

な固有の属性特徴情報や状況中の配置に関する情報がある。更にそれらが時間とともに変化するものもあれば、定常的なものもある。特に色についてはモノの存在を感じる上で大きな役割を持っていると考えられる。背景との色の違い、あるいは他のモノとの色の違いによりモノの存在が知覚されてはじめて、モノが有する形や大きさなどの特徴情報が意識される。そこで本研究では、モノの存在を連続検出される色でまず代表することにし、その位置と大きさ(面積)を付随する基本的な一次特徴として用いることとした。形やテクスチャは可能な範囲で扱うこととした。配置に関しては、モノの位置情報の他、複数のモノに関する分布状況を表す情報等が含まれる。本研究の基本的な関心は、これらによる状況が視覚的な光景として観察された際に、特徴情報が音としてどのように変換可能か、さらに音景としてどのように構成可能かを知ることにある。

3.2 Eyeke コンセプト

本論文において提案するシステムは、関心のある対象にマイクでインタビューする様にカメラをかざし、分析した結果を音で出す基本コンセプトから、**Eyeke (Eye Mike)**と名付けた。具体的には、入力される映像中のモノに関し、色情報を中心に処理し、音情報に変換することにより、利用者にモノの存在に対応する特徴情報を音で感じる体験を生もうとするものである。

Eyeke を実現する上での本質的な課題は、視覚的には容易に把握できるモノの属性を、音のどのような特徴にマッピングすることが有効かを見極め、その方法を実現することである。また、処理上の基本的な課題は、ユーザが関心のある対象に自由にカメラを向けるというインタラクティブ性を実現するため、環境の変化に左右されないロバストな特徴情報(特に色)の抽出を実現することである。これに対し本研究では、後述する限定色の選択とキャリブレーションによる安定した色情報の抽出方法を検討した。

3.3 モノ属性から音表現へのマッピング

Eyeke では、入力された web カメラ映像から抽出される色情報を基本に音表現にマッピングを行う。

前述のように、モノの存在の把握は色の違いを知覚することから始まるとして、色の違いを音の違いとしてある程度明確に感じとれることが必要である。そこで、音の違いは音楽上の離散的な限定音(音階)にマッピングするのが人にとってわかりやすいと考え、基本的に一次元情報である音階への変換を前提に、色を同様に一次元情報として扱える色相値により扱うこととした。さらに元の色を限定色にしたインデックス色(例えば0から15)として音階に対応させることとした。

具体的な色と音階のマッピングについては後述する。

モノは光景中の色の塊として捉え、それぞれ大きさや位置などの特徴情報が抽出できる。色の塊については、面積が大きい程その光景から感じるその色の印象が強くなる。例えば、森を捉えたときは緑が、海であれば青の印象を強く感じる。また、音表現においては音量が大きい方が強い印象を受ける。そこで、映像中の各色相値の量(面積)を同じ 1 次元情報で表される音量に対応付けることにより、色の存在感の程度を音表現からも判断できるようにした。また、各色が存在している位置を音表現からも感じ取れるよう、音の左右バランスに対応付けた。映像と音がともに時間軸をもったメディアであるため、各色の面積の増減や画面内の動きなど、リアルタイムに変化を表現できる。

形については、形一般の音への変換は困難な課題と考えているが、特徴的な形であれば実現できるのではないかと考え、後述の実験では典型的な形と音の関係を、光景のスキャンと言う方法により、時間的な音変化によって聞きわかることを試みている。人が自ら web カメラを動かしてスキャンしながら、丸い、角ばっている、細い、太いなど、聞く音からある程度形をイメージできるのではないかと期待したものである。

テクスチャについては、まだ今後の検討課題であるが、音に多様なノイズを付加することを検討している。

4. プロトタイプシステム

以上の方針に基づき、Eyeke のプロトタイプシステムを設計・実装した。

4.1 システム基本環境

Windows 7 を搭載した PC を使用し、映像の撮影は web カメラ (有効画素数：最大 200 万画素，320×240pixel，最大 30 フレーム毎秒)を用いて行った。

Java 上でマルチメディアを扱うために、Java Media Framework 基本プラットフォームを用いた。音表現制御には音階表現が容易な MIDI を用いた。本システムは手持ち web カメラにより入力された映像を PC で処理・変換し音として出力する。

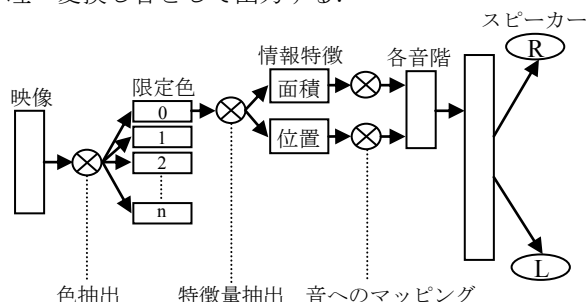


図 2 Eyeke の情報処理フロー

Eyeke の情報処理フローを図 2 に示す。まず、web カメラから入力された映像を分析し、後述する方法により限定色として色抽出を行う。そして、その限定色を色ごとに分析し、面積・位置の特徴量の抽出を行い、それらの特徴量を音の特徴量(音量・左右のスピーカーの出力割合)へと変換することで、音表現を行う。

4.2 映像情報処理

手持ち web カメラにより、利用者が身の回りの環境を映像で捉え、リアルタイムに音表現する Eyeke の実現には、リアルタイム処理と操作上で生じる状況変化にロバストな色情報の抽出が必須となる。

4.2.1 限定色の決定手法

今回の提案手法における、色相値と音階のマッピングに当たっては、処理上の何らかの基準が必要である。そこで、まず反射光ベースの色の基準として、色出力を計算によりコントロールできるカラープリントした紙のテストチャートを作成し、本システムにより色相値の抽出を行った。その結果、カメラ/プリンター/紙質/外光/カメラと対象の位置関係などの外的要因により検出される色に変動があることが確認された。そこで、基準を作る上ではカメラ、プリンター、紙などについては、同じものを使用することで環境の安定を図った上で特性を調べ、外光など外的な動的変動要因については各色相値の変動幅を考えた上で、本システムで正確に判断できる色数に限定し、処理の安定化を図ることとした。

検出色相値の変動の原因には、カメラ特性のホワイトバランス/絞りの具合による色相値自身のシフトと、外光/カメラと対象の位置関係による検出色相の分散がある。そこで、後述するシフトを補正するキャリブレーションを行い基準特性に近づけた上で、分散の幅を考慮して限定色の分離可能幅を決定することとした。

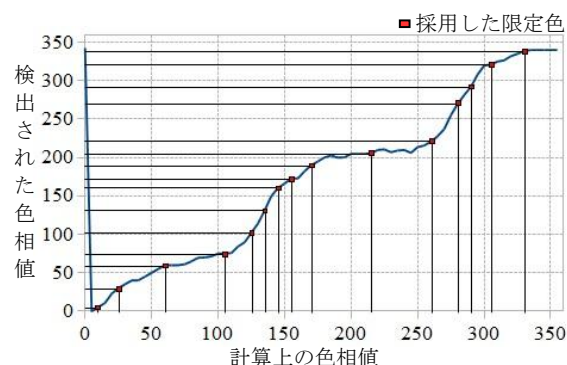


図 3 検出された色相値データ

実際に検出される色相値の基準特性を調べるために、色相値を 5° 刻みで変化させた計算機出力による紙のテストチャートを用いて特性を調べた。図 3 が計算色

相値と検出色相値の関係の特性である。このグラフにより検出された色相値と計算上の色相値の関係を知らることができる。関係が非線形であることから、限定色への分割には計算色相値上の等間隔ではなく、図3の特性から検出色相値上で区間を決定する必要がある。

次に色相値の分散を考慮するため、ねらった検出色相値からどの程度値が分散するかを検討した。検出可能な限定色の数は後述するように、分散 α は最大で $\pm 12^\circ$ (24° 幅)であることから、可能限定色数は

$$\text{可能限定色数} = 360^\circ / 2 \alpha = 15 \text{ 色} \quad (1)$$

となる(式(1))。そこで、検出色相値軸上でほぼ 24° 刻みで区間をとり、その中心値を限定色の各色とすることとし、実際には図3の特性に合わせて実験的に調整し、図3の横線で示す15の色相値を決定した。

4.2.2 カメラキャリブレーション

前述した、カメラ特性のホワイトバランスを中心とする色相シフトの問題に対し、まず、計算機出力色相値全体を写し、webカメラの絞りを調節することで、色相ヒストグラムが全体に均一(彩度のダイナミックレンジを広くとれるところ)になるようにする。次にホワイトバランスを調節し、前述のテストチャートを用いて図3中の何点かで出力色相が合うようにする。これにより図3の特性グラフに極めて近い条件となる。

4.2.3 限定色キャリブレーション

これまでの処理により、かなり安定した色相値検出を可能にした。しかし、図3と表1から分かるように、各限定色によって外的環境による変動の影響を受けやすい色とそうでない色があり、各限定色によっても分散が異なる。そのため、より安定して全ての限定色の検出色相を基準特性と合わせるために、限定色値キャリブレーションとして、まず限定色の検出色相値の中心値を分散幅の中心として決定し、その中心値間の中点により限定色の検出色相値区間を決定した。

表1 限定色を撮影した際に検出された色相値の分散と中心値との誤差

限定色	10°	25°	60°	105°	125°	135°	145°
推定分散	6°~19°	31°~39°	51°~59°	61°~74°	76°~89°	86°~104°	116°~134°
中心値との誤差	(-6°, +7°)	(-4°, +4°)	(-4°, +4°)	(-4°, +9°)	(-8°, +5°)	(-10°, +8°)	(-9°, +9°)

155°	170°	215°	260°	280°	290°	305°	325°
141°~154°	171°~189°	196°~209°	206°~229°	281°~294°	306°~319°	331°~344°	341°~354°
(-5°, +9°)	(-9°, +9°)	(-4°, +9°)	(12°, +11°)	(-6°, +7°)	(-4°, +9°)	(-4°, +9°)	(-5°, +8°)

以上述べてきた限定色の決定、カメラキャリブレーション、限定色値キャリブレーションという3つの手法を用いることにより、外的環境により左右されにくい安定した動作が可能となった。また、限定色値キャリブレーションのための操作は所用時間が1分程であり、利用者の大きな負担にはならない。

4.2.4 色相から音階へのマッピング

Eyekeでは、前述の15個の限定色を音階にマッピングすることにより音表現を行うが、その方法について考えていく。

色と音の対応関係については、過去にも様々な観点から議論されている。ニュートンはスペクトルの観察を通して、スペクトルカラーの7色(赤、橙、黄、緑、青、藍、紫)を弦楽器の弦の感覚として捉え、音階と色彩を独自に対応付けた¹⁾。また、共感覚の一つである色聴に着目して色と音のマッピングを行う試みもある^{7), 8)}。色聴とは、「音を聴いて色を感じる」現象であり、楽器の音色と色⁹⁾、音の高さと色の明度¹⁰⁾、あるいは母音と色が関係している¹¹⁾など多くの報告がある。しかし、色聴による色と音の対応には個人差があり、普遍的なものではない。色から音へのマッピングに関して確立された考え方はまだないようである。

そこで本研究では、利用時に色の違いを音表現からも感じとりやすいように、12平均律の音階を用いることとし、それにマッピングを行うこととした。とり得る限定色は15色であるが、ドからド(1オクターブ+1音)に対応させる13色を今回用いた。音階は、ある音を起点として周波数の高さの順に配列した階段の事であり、オクターブごとに回帰する。また、色についても同様に赤から波長が短くなる(周波数が高くなる)につれて色が移り変わっていき、一周で回帰するように色相環はできている。そこで、本研究では色と音階との連続する変化と回帰するという点を共通点として捉え、表2のようにマッピングを行った。

表2 各色相値と各音階の対応表

音階	ド	ド#	レ	レ#	ミ	ファ	ファ#	ソ	ソ#	ラ	ラ#	シ	ド
音名	C4	C#4	D4	D#4	E4	F4	F#4	G4	G#4	A4	A#4	B4	C5
周波数(平均律)	261.6	277.2	293.7	311.1	329.6	349.2	370	392	415.3	440	466.2	493.9	523.3
色相値	10	25	60	105	125	135	145	155	170	215	260	280	290

なお、色相上では直接黒と白については扱わないが、白は何らかの照明下では、カメラで撮影した場合、てかり部(彩度・輝度大)となって検出され、動作上の外乱となることが多い。そこで、このような部分は色検出を行わずカットすることとした。また、黒については、彩度・輝度ともにほぼ0に近い値のため、存在のないものとして扱うこととし音階へのマッピングは行わず、無音とすることとした。このことにより、後述する本システムのインタラクティブな楽器への利用の場合では、音と音の切れ目を表現でき、結果的に背景として白と黒を積極的に用いることが可能となった。

4.3 形、配置の音表現

状景中に存在するモノの形は、単純な要素から複雑な要素まで様々に組み合わせられて構成されている。また、モノは常に決まった姿勢ではなく、状況により様々な姿勢で存在している。このようなモノの形を構成する基本的な要素として、角の形／大きさ／全長／幅などが挙げられる。そして、それらの要素の違いにより人が受ける印象も変わると考えられる。例えば、角が尖ったモノに比べ、流線型の方が柔らかいイメージを受け、小さいモノより大きいモノの方が受ける印象も強い。モノの形から受けるこうした印象を音表現からも感じ取れるようにすることで、状景中のモノの状況をさらに詳しく感じ取れるようにしていきたい。

しかし2次元表現の形を1次元表現の時間変化メディアの音で表わすには工夫が要る。具体的には、入力された映像を横方向に分割し、それを一列ごとにスキャンしながら順次音表現を行うという手法を用いることとした。この時、処理速度を保ったまま、出来るだけ精確に形を音表現できるよう、1フレーム(320×240pixel)を横方向に80分割し、一列あたりの音出力時間は30ミリ秒とした(2.4s/frameのスキャン)。

4.3.1 音からイメージする形の検証

今回、形の基本的な要素として太いか細いか、大きいか小さいか、角張っているか丸いか、どの程度傾いているかという、基本的な対照的要素を持つ5つのペアのテスト図形(図4)を用いて、音表現からも形のイメージが出来るかを実験的に検証した。

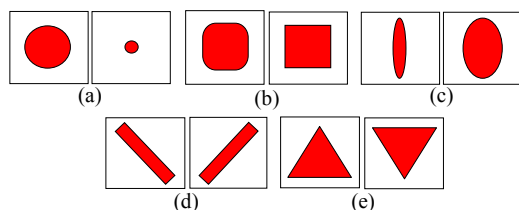


図4 実験に用いたテスト図形 (a)大⇄小 (b)丸⇄角 (c)細⇄太 (d)傾きA (e)傾きB

20代前半の男性8名、女性2名の被験者を対象に実験を行った。実験では、テスト図形(図4)を本システムで撮影、出力した音からモノの形がイメージ出来るか検証した。具体的には、被験者に音を3回提示した後、2種類の対照的なテスト図形を提示し、音表現のイメージに近い方のテスト図形を選択してもらう。

4.3.2 実験結果と考察

表3に、各要素の正答率を示す。図4(a),(c),(d),(e)のテスト図形に対しては高い正答率が得られた。しかし、図4(b)のテスト図形は間違えた被験者が多く、実験後のインタビューの際に、図形のイメージが沸きにくかったなどの意見が寄せられた。今回の手法では、図形

の角が丸いか角張っているかの音表現による違いは、音の立ち上がりとしち下がりが緩やかか急かの違いのみである。そのため、一方の図形による音表現を聴いただけでは、どちらの図形であるかの判断が困難となったのではないかと考えられる。しかし、実験終了後に被験者に両方の図4(b)の両方のテスト図形の音表現を聴いてもらい、図形の選択を行ってもらったところ、すべての被験者において正しい回答が得られた。このことから、提案手法を用いた場合、音表現の違いは感じとりやすいが、ある一つの音からモノの形をイメージする事が困難である場合もあり、直感的なイメージが浮かぶような手法について検討していく必要がある。

表3 各テスト図形における、全被験者数に対する正答者数 (a)大⇄小 (b)丸⇄角 (c)細⇄太 (d)傾きA (e)傾きB

テスト図形	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
正答者/全被験者	10/10	6/10	9/10	10/10	10/10

5. Eyeke の展開

Eyeke は映像を音に変換する基本環境だが、楽器、景色分析など様々な応用展開が考えられる。

5.1 インタラクティブ楽器

より限定したインタラクションシステムとしてのEyekeの応用に楽器が考えられる。例えば、音楽の音譜のように、色による音譜いわば「色譜」を用いて、音楽の演奏が可能になる。図5は、ピアノのキーボードの様に音譜対応の色を並べたものである。Eyekeは、映像中のモノの存在を音に変えるという基本コンセプトから、映像中に複数のモノの存在を検出した場合、同時に複数の音を奏でることも出来る。そこでカメラ画角内に複数色が入るようにすれば和音の演奏も可能である。また、曲の繰り返し部分などは、同じ部分を繰り返し映すことで簡単に演奏が可能である。また、Eyekeは色の面積と音量を対応付けしており、対象となるモノとカメラとの距離により音量を調節することが可能である。そのため、実際に演奏した場合、まるで指揮棒のような操作で距離による音量の強弱を付けることもできる(図6)。色譜を円盤状にし、回転させることによるオルゴールも作れる(図7)。一方、紙媒体を映すのではなくコンピュータスクリーンにプログラムした色を映すことで、スクリーンにカメラをかざせば、音楽が聞こえるシステムにもなる(図8)。

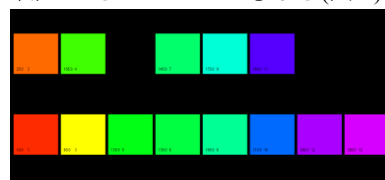


図5 色譜の例(キーボード型)

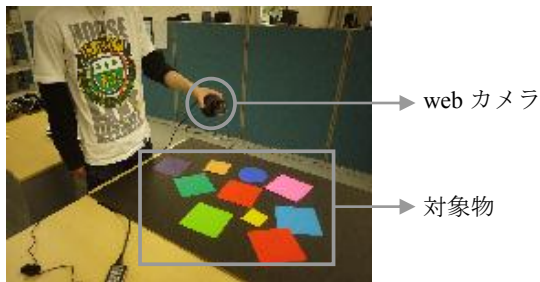


図 6 Eyeke の利用風景



図 7 色譜の例(円盤状のオルゴール型)



図 8 色のスクリーン表示による音楽演奏風景

5.2 シーン・ソナー

Eyeke の展開としてインタラクティブな景色分析への利用も考えられる。Eyeke では状景中に存在するモノの存在の有無，大きさ，左右の位置をそれぞれ音階，音量，スピーカーの左右バランスから，モノの特徴を音表現から感じ取る事が可能となった。さらに短い時間幅でスキャンすることで形などの特徴もまだ限定的ではあるがイメージできるようになった。

そこで，Eyeke らしく，web カメラを着目対象に向け，インタラクティブに音を聞きながらスキャンすると，どこに向けたかという事と聞こえる音のフィードバックから存在するモノのイメージが明確ではないものの，つかむことができる。図 9 は果物をスキャンして音景をつかもうとしているところである。



図 9 Eyeke を用いた果物のスキャン

6. おわりに

本報告では，特徴レベルの情報をインタラクティブシステムに生かす研究の一端として，映像の情報特徴を用いて聴覚情報としての音に変換するインタフェース Eyeke を提案し，プロトタイプシステム実装した結果について述べた。

本システムは手持ち web カメラを用いることにより，利用者が自ら捉えたいものに対して，映像の情報特徴を音で表現することを可能にした。また，各種キャリブレーションにより，外的環境に左右されにくい安定した動作が可能となった。今後は，テクスチャを含め，もう一步モノに迫る音景表現を実現するとともに，光景と音景両方を合わせた協調的な状景表現も検討していきたい。

参 考 文 献

- 1) Gage. J : “Colour and Culture”, University of California Press, (1999)
- 2) J. Cronly-Dillon, K. Persaud, and R. P. F. Gregory : “The Perception of visual images encoded in musical form: a study in cross-modality information transfer”, *Proceedings. Biological science / the Royal Society*, pp. 2427–2433, (2000)
- 3) J. Cronly-Dillon, K. C. Persaud, and R. Blore : “Blind subjects construct conscious mental images of visual scenes encoded in musical form”, *Proceedings. Biological science / the Royal Society*, pp. 2231–2238, (2000)
- 4) 小林真，太田道男：“全方位センサと 3 次元音響を利用した視覚障害者用歩行誘導システム”，バイオメカニズム学会誌，Vol.24, No.2, pp.123–125, (2000)
- 5) 間瀬健二，シドニー・フェルス，ダーク・ライナー：“Iamascope(インタラクティブ万華鏡): グラフィックな楽器の提案”，*Visual Computing グラフィックスと CAD 合同状景シンポジウム*, pp.91–96, (1998)
- 6) 福本麻子，塚田浩二，蔡東生，安村通晃：“Ziplayer：絵画，文章，音楽を組み合わせたメディアプレイヤーの提案”，*情報処理学会状景ボジウム論文集*, pp.79–80, (2006)
- 7) 井口征史他：“感性情報処理”，*信学会ヒューマンコミュニケーション工学シリーズ/電子情報通信学会編*，オーム社，(1994)
- 8) 長田典子，岩井大輔，津田学，和氣早苗，井口征史：“音と色のノンバーバルマッピング—色調保持者のマッピングルール抽出とその応用”，*電子情報通信学会論文誌*，Vol.J86-A, No.11, pp. 1219–1230, (2003)
- 9) 三雲真理子，小谷里美：“管楽器の音色の色彩的イメージ”，ナカニシヤ出版，pp. 182–222, (1996)
- 10) ルードルフ E. ラシドー，J. デーヴィット ボイル：“共感覚”，pp. 296–299, (1985)
- 11) T. J. Palmeri, R. Blake, R. Marois, M. A. Flanery, W. Whetsell, Jr. : “The perceptual reality of synesthetic colors”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol.99, No.6, pp.4127–4131, (2002)