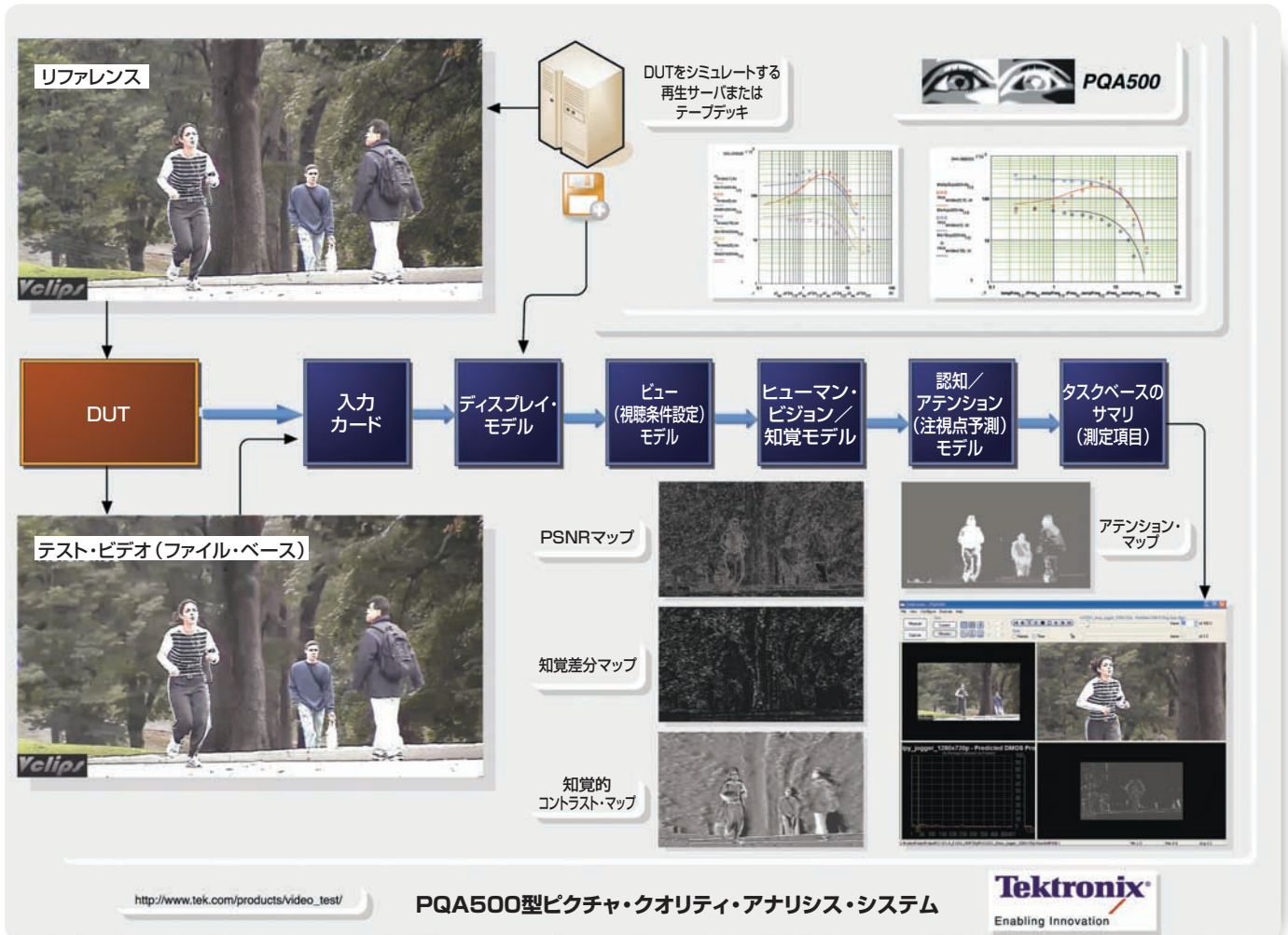


CIF、SD、HDおよびE - シネマ映像の主観的なビデオ画質評価予測を可能にする適応型視覚モデル

執筆：ケビン・ファーガソン



概要

(従来の) 主観的な映像品質を(客観)評価することに関して、改善された予測視覚モデルの新技术が開発されました。(新たな) 適応可能な能力としては、異なるイメージ・サイズ、視聴環境、フレーム・レート、映像品質レベル(例えばHD対SD対CIF)などのビデオ間の(画質)比較を可能にします。(新開発の)モデルを使用したテスト結果は目視による主観評価結果と比較されます。

その反応特性はJND (Just Noticeable Difference、丁度可感差異)とSupra-Threshold (対極に相当する過渡的な応答特性)の両方をカバーする刺激(応答特性)に依存しています。比較されたSupra-Threshold (過渡的な閾値を有する)応答機能は、重要な知覚感度の変化、マスキング、そしてビジュアル錯覚

などに関連する非直線応答特性によって実証された適用範囲を含みます。知覚可能な劣化予測を行うため、ITU-R BT.500 (主観評価方法)のトレーニング部分で起こるコンテキスト適応のシミュレーションは、推定DMOS (Differential Mean Opinion Score)を求めるために使用されます。



▶ 図1：主観的ビデオ画質ランク予測のためのシミュレーション・システム図

はじめに

主観的なビデオ品質を予測するために従来（の手法）から発展させたモデルは、以下の1つあるいは両方の特徴を持っています：
 a) フレーム毎か、または／あるいは [1] [2] のシーケンスごとに1つ処理結果を算出して、主観的な（知覚される）劣化推定に基づいてウェイトリング（重み付け処理）した後で、それらを合計して客観的な（画質）劣化測定値を得る方法。b) 部分的に ([3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] の) HVSレスポンス（応答）を近似することで測定値を得る方法。しかし、ビジョン科学文献からの膨大な刺激-レスポンス（応答）データは、大部分が利用されないままの状態です。通常の場合、ビジョン科学共同体の中で開発されたモデルでは、独立したHVSの振舞いを取り上げるだけで、[10] [11] [12] [13] [14] [15] [16] [17] [18] [19] [20] [21] [22] で実証されても、容易にはビデオ品質のアプリケーションに適応できないパラメータになっているのが実情です。

結局、現在までの標準化された各種評価方法と主観的なビデオ品質測定のための各種手法は、人間のビジョン感受性の本質的な応答特性を無視しています。例えば、VQM [1] のITU-T J.144に記載された各種評価モデルは、評価条件の相違、フレーム・レート、解像度あるいはノーマルなコンテンツ素材（前後関係）などの条件を考慮に入れていません。そしてJ.144は、SD（標準解像度方式）用に発展させた方式なので、それをCIFあるいはHDのような他のフォーマットの主観的なビデオ品質評価を予測するために使うことは問題です（[23]を参照）。映像コンテンツの内容あるいはその劣化損傷が、J.144のアルゴリズムの開発と検証のために使われたものと大きく異なる場合は、J.144方法の使用がたとえSDビデオでも問題があり得るという報告があります。

人間の知覚レスポンス（応答）問題に加えて、ディスプレイ装置の相違とそれぞれの（映像）フォーマットのノーマル品質も、同じく重要な役割 [23] を果たします。

所定の映像フォーマット、ディスプレイ、評価条件が固定されていても、（例えば、ビット・レートあるいはプログラム内容の複雑さによって）アプリケーションに依存して画像品質レンジが際立って変化することがあります。このような場合は、a) ITU-R BT.500 [24] でビデオの品質の範囲に主観評価パラメータをノーマライズ（正規化）して、そしてb) [25] のタイプとVQEGカテゴリの（画質）劣化にそれぞれ並べて、ビット・レートとフレーム・レートのマトリックスを作成する必要があります。そのようなものとして、ノーマルなコンテンツ映像（の性質あるいは特質）範囲は、（視覚特性の）敏感さとMOSとDMOSのような品質評価スケールに影響を与えます。

図1のシステム・ダイアグラムで示されたシミュレーション・アプローチのように、ビデオ品質の評価予測には、評価者は主観的な品質評価のトレーニングで条件付けをして、視覚（感度）スケールに相関する手法を実現するとともに、異なったディスプレイ、評価条件、ビデオ映像の性質や各種フォーマットに対応することができる人間の視覚ビジョンモデル（HVS）を必要とします。

当社はこのような人間のビジョン・モデルを開発し、[26] [27] [28] [29] の特許を取得しました。その仕様の概要、各種コンポーネント、キャリブレーション方法と妥当性の検証については、本書の後半のセクションでご紹介します。

1. ヒューマン・ビジョン・モデルの応答仕様

このモデルの（基本）仕様は、ビジョン・サイエンス分野で行われ、発表された何千という実験結果から入手可能なデータに基づいて策定されたものです。それらの刺激-レスポンス（応答）特定が、人間のビジョン・モデル（HVM）の入力-出力の応答特性における振舞いの基本になっています。実験および関連づけられた刺激-レスポンス（応答）特性の敏感さ分析については、適当な説明が参考資料 [30] で得られます。

簡潔にするために、議論の範囲は無色の光（ルミナンス：輝度）のみに限定します。カラー（クロミナンス）光の分析は、ルミナンスの後に続きます。

1.2. 重要なヒューマン・ビジョンの刺激-応答データ・セット

応答特性は次の4つのクラスに分けられます：劣化がない状態（透明な状態：Transparent）、線形歪み（Linear）、固定の非線形歪み（Fixed non-linear）、そして適応型歪み（Adaptive）。主観的なビデオ品質評価を予測する場合、既存のアルゴリズムでも類似の機能を持っています。

例えば、画素単位の差分データを示すPSNR測定は、劣化がない状態（透明な状態：Transparent）クラス（の応答特性）に相当するので、テストでは基準画像との画素単位の差分を算出して、フィルタリングのような処理は一切施されません。仮説的ですが、この初期クラスの応答特性が適応するビデオ刺激に関しては、PSNR値で示される画素単位の差分データは、その相対的なレスポンス（応答）特性と関連するとみなせます。しかし、実際は他のクラスの応答特性を無視しても、PSNRはビデオ品質の正確な予測指数にはなりません。例えば、PSNRが与えられた刺激に対して人間の視覚レスポンス（応答）と（相関すると）解釈された場合は、あたかも人間の視覚が直ちに反応するかのような資料（関連資料としては、例えば、[30] [12] [31] [32] [33]）や完ぺきな応答特性を有するとした資料（関連資料として、[11] [13] [14] [17] [18] [30] [31] [34] [35] [36] [37] [38] [39] [40] [41]）などがあります。

固定の（動かない）線形フィルタが刺激に適用されたようなケースに対応できる線形レスポンス（応答）特性が実現できれば、ある程度まで人間のビジョン・レスポンス（応答）に似せることができます。仮説的ですが、線形歪み（のクラス）が存在する映像コンテンツを含むビデオ刺激に関しては、対応する各種空間・時間適応フィルタによって、差異を知覚する敏感さを決定することができます。しかし、線形歪みのレスポンス（応答特性）に関しては、HVSは明るい時や暗い中では、取り巻いている周囲の明るさに合わせて補正し、細部を識別する能力が変化しますが、このような特性は含んでいないし、ウェーバの法則にも対応しません。このことは、まるでHVSが平均輝度（関連資料；[13] [18] [30] [34] [35] [37] [38] [40]）、マスキング処理（相対する資料；[11] [13] [14] [17] [18] [30] [31] [34] [35] [36] [37] [38] [39] [40] [41]）や原画とテスト画像の間の類似イメージの感度（関連資料；[10] [34] [30]）などに対する適応性の重要な兆候がないかのようです。

固定歪み（あるいは、動かない歪み）を含む非線形のレスポンス（応答）特性は、（例えば、2つの光源が加算されたような）2つのイメージを重ねたケースなどにも対応しますが、画像イメージのそれぞれのポイント（あるいはピクセル）に関しては、そのレスポンス（応答）特性はそれぞれのイメージの応答特性の合計とは等しくありません。

測定の見地から見れば、通常ソーベル・フィルタ [1；図 B.10] [2] のような固定の非直線プロセスをすることで上手に近似できる「刺激対レスポンス（応答）特性」は、このクラスに該当します。線形のフィルタリングと組合せられるとき、このクラスは商業的に利用可能なビデオ品質評価予測方法の、一層先進的な測定アルゴリズムの大部分を含みます。空間・時間レスポンス（応答）特性を説明するために各種フィルタと組合せる必要がありますが、頻繁に点滅する（[42]）ことで明るくなるような環境下での「フリッカ対明るさ」の現象を説明できません。そして、知覚される輝度対ルミナンス適応特定 [43] の影響や、2つの刺激 [44] パルスが与えられた時に見られる幻覚的な3番目のパルスのような視覚の錯覚の一時的な応答特性なども同様に説明できません。

しかし、一般的なケースでは、ビデオ映像に対する人間の視覚レスポンス（応答）特性は、順応性（適応性）があります（ダイナミックで非線型です）。（HVSの各種）レスポンス（応答）感受性は、空間・時間的なダイナミックな範囲を越えて1桁以上大規模に変化することがあります。例として、空間・時間的なコントラストの感受特性対ルミナンス（輝度）の関係は、資料 [45]（図6、7と8参照）で示されているように、0.28nits対91nitsにもなります。

これらのHVSの刺激－レスポンス（応答）特性が適用する範囲は、HVSを構成する種々の解剖学的構造に基づいて、生理学の適応性に関係します。これらの適用範囲は、瞳孔のサイズ（資料 [46] 参照）、光感受器官（photoreceptor）のレスポンス（応答特性）（資料 [47] 参照）とニューロン・レスポンス（応答特性）（資料 [47、p22] [70] [48] 参照）などの各種変化を含みます。

明るさや暗さへの適合性のような、平均輝度に関する感受性（敏感さ）の変化は、多くの視覚の認識現象と矛盾しない非線形性（の応答特性）を含んでいます。フリッカ（資料 [42] 参照）によって強弱が変化するような現象、ステップ（段階的に）増加（資料 [43、図10] 参照）するようなダイナミックな応答特性の各種変化、イメージを表示した後の特性（資料 [49] 参照）、視覚の錯覚（資料 [44] [50] [51] [52] 参照）と極端な敏感さ（例えば、感光性のてんかん）（資料 [54] 参照）などは、既述した適用性（あるいは順応性）（資料 [27、方程式3] 参照）の大部分を説明する非線形性（歪み）のタイプと一致しています。

現在のビデオ品質（推測主観評価）測定法の各種スタンダードは、一般的に適応性（順応性）を説明していません。結果として、標準化を目指すビデオ品質測定方法の提案者たちは、異なったモデル（あるいは同じモデルでも異なったキャリブレーション（校正）方法）を提出し、そしてSD（資料 [1]）、HD（資料 [55]）あるいはCIF（資料 [56]）をカバーするために、解像度やフレーム・レートの異なる組合せを有効にしようと努めています。同様に、これらの標準（測定方法、あるいは映像フォーマット）の間の比較は実際的でないと考えられてきました。これらのモデルの特別なバージョンでさえ、適応性（順応性）を説明しないで、（比較的）低い輝度のもと（映画館）で視聴するデジタル・シネマのような環境、明るい輝度レベルの屋外で使用するモバイル機器や典型的なホームでの視聴状態などのさまざまな状況下でも良い結果を得るためには、まだ（多くの）問題があります。

最近、ビデオ画質評価のためには適応性（順応性）が重要であるという認識が高まっています。例えば、ジョンソン氏（資料 [57] 参照）は、カラーの単純な同一のパッチにおける相違を予測することに関して、キーとなる行動（プロセス）としてアダプテーション（適応性／順応性）を包含したカラー出演（演出）モデル（color appearance models）が、空間・時間（適合）フィルタを加えることによって、どのように画質を測るために拡張されることができたかについて言及しています。しかし、この例では、各種フィルタがフレーム・レートや信号コンテンツに基づいて選択されなくてはなりません。ところが一方では、キャリブレーション（校正）方法、検証（方法）やモデルとなるコンポーネントの詳細などが含まれていませんでした。それでも、それは光の出演（資料 [58] 参照）を含む色の出演モデル、あるいは両方（資料 [57] 参照）で例証されているアダプテーション（適応性／順応性）の重要性に気付くのに有効です。

1.3. 基本的となるHVSモデルの刺激－応答特性データ

HVSモデルのコントラスト識別レスポンス（応答）特性（コントラストの知覚感度）が、以下の機能として検証されています；空間周波数と平均ルミナンス（輝度）（資料 [31] [34] [35] [40] [42] [59] [60] 参照）、空間時間－周波数と平均ルミナンス（輝度）（資料 [31] [42] [59] [61] [62] 参照）、空間周波数とエリア（資料 [31] [35] [59] 参照）、周辺環境（サラウンド）（資料 [63] [32] 参照）、持続時間（資料 [12] [63] 参照）、オリエンテーション（資料 [34] [10] 参照）、空間的なペDESTAL（基礎）（masker；マスカ）のコントラストと周波数特性（資料 [34] 参照）と時間的なペDESTAL（基礎）のコントラストと周波数特性（資料 [61] 参照）。

HVSモデルのコントラストに相対する過渡的なしきい値（supra-threshold）レスポンス（応答）特性が、以下のような機能として検証されています；ルミナンス（輝度）（資料 [64] 参照）、空間の周波数とルミナンス（輝度）（資料 [40] 参照）、エリアとコントラスト（資料 [14] 参照）、エリア、コントラストと空間の周波数（資料 [21] 参照）、ルミナンス（輝度）、エリア、そして時間的なコントラストと時間的な周波数特性（資料 [53] 参照）。平均ルミナンス（輝度）の知覚能力が、以下の機能として検証されています；時間的な周波数特性（資料 [42] 参照）、時間的な周波数特性対ルミナンス・アダプテーション（資料 [43] 参照）。

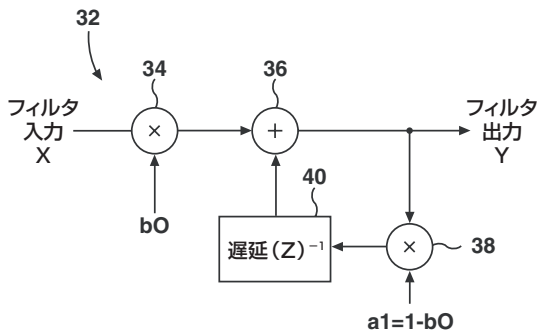
空間周波数の知覚能力が、空間的、そして時間的な周波数（資料 [39] [65] [66] [50] [51] [67] 参照）の機能として検証されました。

時間間隔ごとのパルスに対する知覚能力が、3フラッシュの錯覚（資料 [44] [52] [68] [69] 参照）に関して必要とされる条件のファンクション（機能）として検証されました。

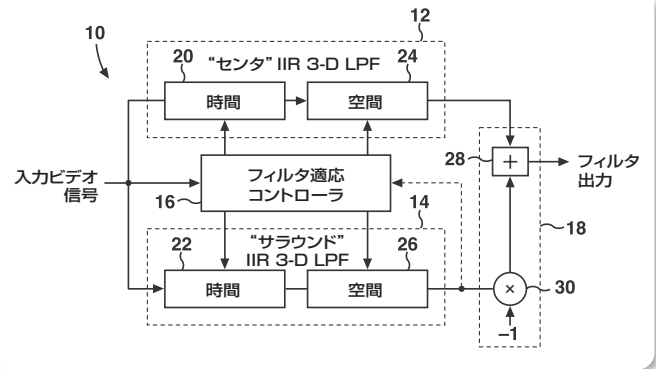
これらの刺激－レスポンス（応答）特性のペアセットは、集合的に一般的なビデオ品質のためのHVSモデルのレスポンス（応答）特性を規定するために使用されています。それらは、デジタル映画の（比較的）暗い輝度レベル（前の列から後方の列まで）から、屋外でのモバイル・ディスプレイのような明るい条件下や典型的な家での視聴条件など、可能な限りのビデオ刺激と環境条件の全範囲に応用可能なサンプリングを表します。

CIF、SD、HDおよびE-シネマ映像の主観的なビデオ画質評価予測を可能にする適応型視覚モデル

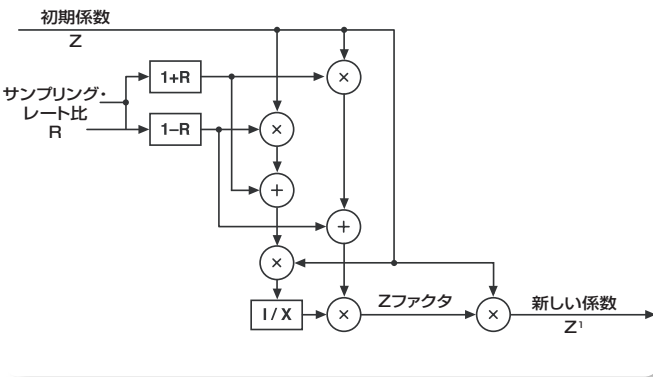
▶ アプリケーション・ノート



▶ 図2：適応型インテグレータ



▶ 図3：適応的時空間フィルタ



▶ 図4：フレーム・レート、解像度および視聴距離の適応メカニズム

2. モデル・コンポーネント

2.1. ビデオ画質ランク予測のシステム・コンポーネント

ディスプレイ、環境、HVSモデルのシミュレーションとITU-R BT.500に示されたコンテクスチャル・トレーニングが、図1に示されたそれぞれの処理ノードによって連続して実行されます。ディスプレイ・モデルは、デジタル・ビデオ信号を輝度に変換してシミュレートします。環境（モデル）は、視聴距離、周囲の明るさなどを表して、ディスプレイとHVSモデルの間のビュー・モデルによってシミュレートされます。このHVSモデルは、セクション2で紹介したような明るさ（輝度）に対する応答特性を有しています。客観的な処置ノードは、相対的な（知覚される）劣化（あるいは相対的な好み）を併合して、それぞれを合計する能力によって、客観的に目に見える損傷を分類して、そして測定します。サマリ・ノードは、フレームそして／あるいはビデオ・シーケンス毎に一つのサマリ測定（結果）を抽出します。

同様に、資料 [29] にしたがって、レスポンス（応答特性）サマリ測定（結果）をDMOSにマップするITU-R BT.500のトレーニングに相当する処理がサマリ・ノードに含まれます。

2.2. ヒューマン・ビジョン・モデル

本HVSモデルは、セクション2.2の刺激-レスポンス（応答）特性のデータ・セットによって記述されたように、その動作はアダプテーション（適用性/順応性）を含めて説明されています。その詳細については、資料 [27] に記述されていますが、図2に示す“適応型インテグレータ”は、図3に示す空間的・時間的（spatiotemporal）適応フィルタを構成するために使われますが、図4（資料 [28] 参照）に示すように、分解能、視聴距離とフレーム・レートの適用性と組合せて使用されます。フル・リファレンス方式の画質測定では、図5の知覚の相違の予測システムが使われて、資料 [26] に示すアダプティブ空間・時間フィルタと順応してウェイトング（重み付け処理）をかけられる異なるメカニズムを統合しています。

2.2.1 適応型インテグレータ

資料 [27] に示すように、空間的・時間的（spatiotemporal）適応フィルタ中に含まれる主要な機能ブロックは、適応型積分器（アダプティブ・インテグレータ）で、これは図2に示すように帰帰型（無限のインパルス・レスポンス（応答特性）を有する、IIR）ローパス・フィルタとして知られています。その積分（インテグレーション）時間（あるいはエリア）と対応するカットオフ周波数は制御可能ですが、一方出力（アウトプット）側の平均値は、入力（インプット）側の平均値に追従します（DC利得の一致）。

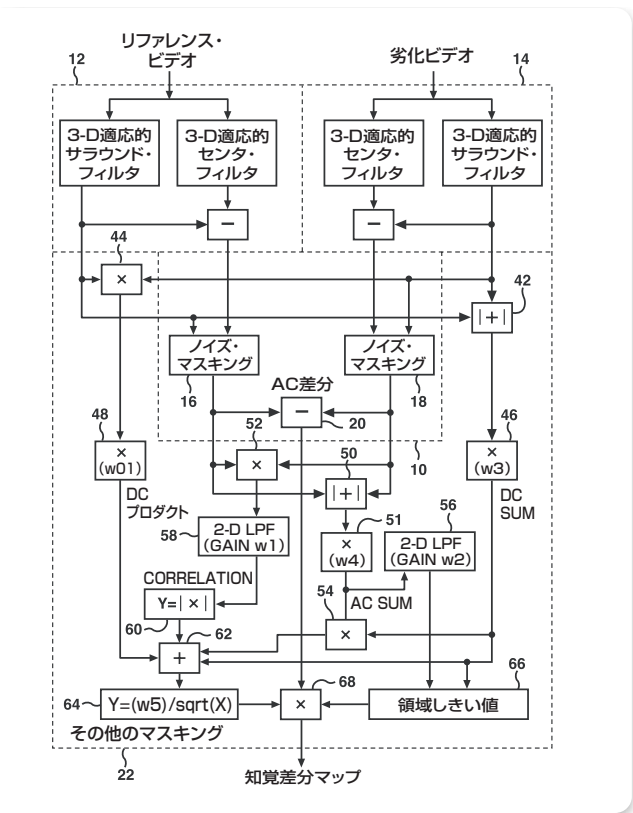
2.2.2 空間的・時間的適応型フィルタ

この適応型インテグレータ（積分装置）は、4つの空間（右側、左側、上側、下側）の各方向と時間変化に対応して、統合したり（そしてフィルタ修理）するために使用されます。その結果は、それぞれの次いで同調された（チューンされた）空間・時間（spatiotemporal）フィルタ（処理後に）出力されます。中心部（センタ）と周辺部（サラウンド）との相互作用を考慮に入れている前のモデルと矛盾しないために、（例として、資料 [47] [90] [26] 参照）2種類の空間・時間的（spatiotemporal）フィルタが使用されています。1種類はセンタ用で、もう一つがサラウンド用です。サラウンド部の空間・時間レスポンス（応答）特性は、センタ部分から引算されて、そのセンタ部の空間時間（spatiotemporal）応答特性を同調させます。さらに、このサラウンド空間時間レスポンス（応答特性）も、その周波数制御にフィードバックすることにより、自分自身のレスポンス（応答）特性を変化させます。しかし、それはセンタ部よりも大変ゆっくりしており、長時間におよぶ明るさや暗さに対するアダプテーション（適応性/順応性）（資料 [43]）、アフタ・イメージ（資料 [42]）、あるいはその他の長時間効果（あるいは影響）に一致しています。

通常、この2つの3次元ローパス・フィルタ応答特性の相違は、バンドパス・レスポンス（応答特性）の違いとなって現れます。キャリブレーション（処理）のために、10のコントロール（プロセス）があります。そのうちの8つが直接（的に）しきい値に関する空間・時間的（spatiotemporal）レスポンス（応答特性）を制御するために使われます。水平（的な次元）な、そして垂直（方向）の次元に対して同様のコントロール（あるいはプロセス）が使用されます。センタ部分と周辺部分にそれぞれ空間的・時間的（次元）の2種類のフィルタ制御が施されます。その1つのコントロール（フィルタ制御）は、両方のベースラインで（積分時間あるいはエリアに相当する）周波数カットオフを施します。もう1つのコントロール（フィルタ制御）は周波数レスポンス（応答）へのアダプテーション（適用性/順応性）感度の制御用です。（つまり、平均周辺輝度（明るさ）のようなアダプテーション（適用性）インプットに対応するために、必要な積分時間あるいはエリアがどの程度かをコントロールします。）これらの2つのコントロール（フィルタ制御）は、しきい値と過渡的しきい値（supra-threshold）の応答特性のトランジションをコントロールするために使用されます（空間的な1つのフィルタと1つの時間的なフィルタ）。

2.2.3 異なるフレーム・レート、解像度および視聴距離に適応

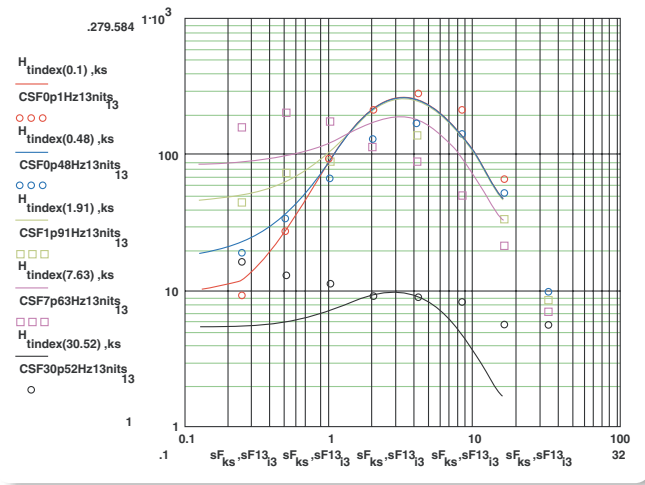
キャリブレーション（プロセス）後に、これらの適応性がある空間・時間（spatiotemporal）フィルタは、異なった視聴距離や異なるフレーム・レートに対応するために自動的に再構成されます。このメカニズムは、（資料 [28] で記述されるように）対応するサンプル・レート比率に関して、フィルタ係数の再計算（処理）が施されています。



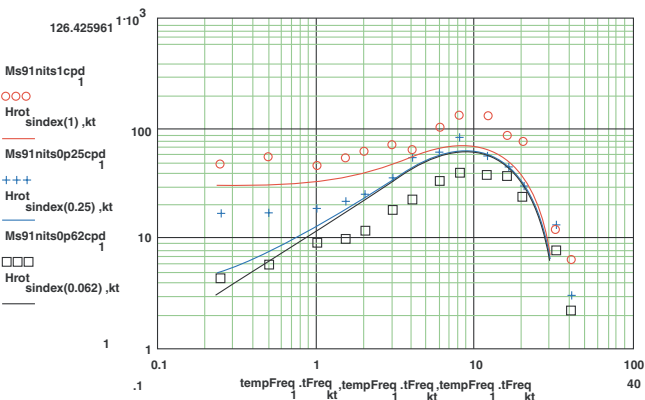
▶ 図5：知覚的差異予測システム

2.2.4 残りのHVSモデル構造

既述した適応型の空間・時間（spatiotemporal）フィルタに加えて、他のモデル・コンポーネントが、ウェーバの法則、（主観評価と）関連づけられたイメージと関連付けられない（uncorrelated）イメージの間での知覚の相違と各種マスキング・タイプを含めた（HVSモデルの）動作（あるいは反応特性や振る舞い）などを考慮に入れるために使用されます。細部は、資料 [26] で紹介されています。9つの関連づけられたキャリブレーション・パラメータがあります。（この文献で紹介する）HVS（人間のビジョン認識）モデルに関しては、19のキャリブレーション・パラメータがあります。



▶ 図6：本モデル (Solid ; 実線) 対人間のビジョン・レスポンス (応答特性) (ポイント) (資料 [31]) の例：基本の光 (輝度) 強度は13nitsです。水平軸は空間・周波数、縦軸は、コントラストの感受能力、カーブは時間的な周波数 (応答特性) を示す。



▶ 図7：図6と同じものですが、それぞれのカーブが異なる空間周波数をあらかず間の、91nits (資料 [45]) とその水平軸に沿った時間的な周波数特性を削除しています。

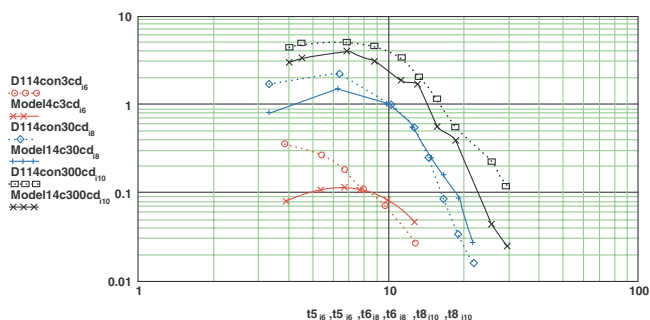
3. モデルのキャリブレーションおよび検証

3.1. ヒューマン・ビジョン・モデルのキャリブレーションおよび検証

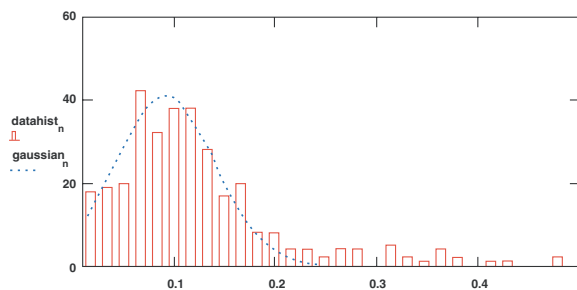
19のパラメータのモデルとなるキャリブレーション (プロセス) のために、光 (輝度) に対する刺激 (反応特性) がシミュレートされて、モデルとなるレスポンス (応答特性) が、ビジョン科学文献から想定される応答 (特性) と比較されています。このキャリブレーション (プロセス) には、(テスト画像とリファレンス画像用で対になった) およそ1400の光 (輝度) に対する刺激反応特性を使用しています。その中のしきい値コントラストの感受性をカバーする968のペアの刺激として、資料 [34] から176、資料 [35] から132、資料 [10] から33、資料 [12] から176、資料 [31] から56、資料 [59] から80、資料 [61] から78、資料 [62] から40、資料 [45] から162と資料 [40] から35 (合わせて968のデータ) が採用されています。過渡的-しきい値レスポンス (Supra threshold応答) 特性としては、資料 [14] から39、資料 [44] から1、資料 [53] から328と資料 [40] からの35から成る合計413シーケンスのペアに対応して調査 (チェック) されました。ユニットを保証するために払われた注意は、本来の (安定しない要素や、両眼用の) ビジョン (モデル) と矛盾しないnits (cd/m²) 単位にノーマライズ (正規化) することでした。

人間のビジョン・レスポンス (応答) 特性に対応する当モデルのレスポンス (応答) 特性の比較は、(例えば、"threshold" あるいは "supra-しきい値" のような) 特定のカテゴリでも、(すべてのカテゴリを含む) 総合的 (な系) においても、エラー・ヒストグラムとフィッティング処理したGaussianカーブとオリジナルのデータでプロットされたカーブで示された視覚評価特性との間で、エラーの標準偏差の計算を含んでいます (図6~8を参照)。

ここのデータは異なった人々から収集されて、そして (それぞれが) 固有の相違性を持っていますから、1つのモデルが同時にすべての人々に合うと思われません。代わりに、キャリブレーション (処理) により標準偏差エラーがほとんど最小になり、そのエラー分布はおよそGaussian特性を示すことが分かります (図9を参照)。



▶ 図8：異なる平均輝度レベルにおける時間的周波数に対する、一定の過渡的-しきい値 (supra-threshold) (14%) のコントラストに関する相対的な知覚される時間的なコントラスト特性。破線がHVSデータ (資料 [53] 参照) を示し、実線が本HVSモデルです。



▶ 図9：しきい値データに関して測定したレスポンス (応答) 特性の本モデルのGaussian分布対HVSの例 (Cannon氏の資料 [14] にしたがうと、リファレンスに対して0.1に相当します)。

例えば、空間周波数レスポンス (応答) 特性に対する光 (輝度) 強度のような各種応答特性の誤差に基づいて、対応するキャリブレーション・パラメータはエラーを減らすように変更されます。その変更されたそれぞれのパラメータに関しては、その結果としてもたらされる対応する応答特性が繰り返し測定され、エラーを減少するためにさらなるパラメータの変化を指揮するように解析されます。

このようなキャリブレーション (プロセス) が、参考文献から採用されたデータセットから期待される基準の標準偏差内になった時点で、その妥当性の検証が達成されたこととなります。異なるデータ・セットでは異なる標準偏差になったり、多くのデータは、標準偏差を計算することが可能となる十分なサンプルを持っていません。しかし、低い (光に対する) 感受性反応が一般により高い標準偏差を持っています。そのため、たとえ対応する標準偏差が知られないとしても、(たいていの) エラー標準偏差は各種レスポンス (応答) 感受性に基づいて大雑把に分類されます。

3.2. サマリ・ノードのキャリブレーションと検証

DMOSを予測する本モデルのキャリブレーション (プロセス) に対抗するITU-R BT.500のトレーニングに関しては、そのトレーニング・シーケンスのペア (テスト画像とリファレンス画像) を使用して、そして最も悪い事例と最も良い事例を測るために使われています。これらは、[29] で記述された方法を使ってDMOSに投影するために使われます。

DMOS予測が、予想されるDMOS標準偏差の内であれば、検証が達成されます。予想されるDMOS標準偏差が主題の数の平方根で割った意見スコアの相違の標準偏差であると計算されます。

まとめ

ディスプレイ形式や映像イメージの大きさ、視聴環境の違い、フレーム・レートの相違があっても、各種ビデオ品質クラス (HD、SDなど) の比較ができる主観的なビデオ品質 (測定結果) を推定するためには、(さまざまな条件に適応可能な) 卓越した適応可能なモデル (HVM) が必要になります。本モデル (HVM) のテスト結果は、人間の視力と比較して (今まで) 知覚のレスポンス (応答)、重要な感度の変化に関しても適応できる非線形レスポンス (応答) やマスキング処理や視覚の錯覚などの検証された各種適応行動を含んでいることが分かっています。この資料では、ITU-R BT.500のトレーニングにおける適用性のシミュレーションについても説明しました。

参考文献

- (1) ITU-T J.144 (& ITU-R BT.1683), "Recommendation J.144 (Rev.1) - Objective perceptual video quality measurement techniques for digital cable television in the presence of a full reference," 2004.
- (2) T1A1.3 Working Group, "Digital Transport of One-Way Video Signals - Parameters for Objective Performance Assessment," ANSI, T1.801.03-2003.
- (3) S. Daly, "The visible differences predictor: an algorithm for the assessment of image fidelity," in *Digital Images and Human Vision*, ed. Andrew B. Watson (MIT Press, Cambridge, MA 1993), pp. 162-206.
- (4) J. Lubin, "A Visual Discrimination Model for Imaging System Design and Evaluation," in *Vision Models for Target Detection and Recognition*, ed. Eli Peli (World Scientific Publishing, River Edge, NJ, 1995), pp. 245-283.
- (5) R. Eriksson, B. Andren, K. Brunnstrom, "Modelling the perception of digital images: A performance study," SPIE Conference on Human Vision and Electronic Imaging, Vol. 3299, Jan. 1998, pp. 88-97.
- (6) S.J.P. Westen, R.L. Lagendijk, J. Biemond, "Perceptual Image Quality Based on a Multiple Channel HVS Model," IEEE ICASSP-95 pp. 2351-2354.
- (7) C.J. van den Branden Lambrecht, "A Working Spatio-Temporal Model of the Human Visual System for Image Restoration and Quality Assessment Applications," IEEE ICASSP-96, May 7-10, Atlanta, GA; pp. 2291-2294.
- (8) K. Egiazarian, J. Astola, N. Ponomarenko, V. Lukin, F. Battisti, M. Carli, "Two New Full-Reference Quality Metrics Based on HVS," <http://enpub.eas.asu.edu/resp/vpqm2007>, VPQM-06, pp.1-4, 2006.
- (9) R. Ferzli, L. J. Karam, "A Human Visual System-Based Model For Blur/Sharpness Perception," <http://enpub.eas.asu.edu/resp/vpqm2007>, VPQM, pp. 1-4, 2006.
- (10) J. Foley, "Human luminance pattern-vision mechanisms: masking experiments require a new model," *Journal of The Optical Society of America*, Vol. 11, No. 6, pp. 1710-1719, June, 1994.
- (11) J. Rovamo, O. Luntinen, R. Nasanen, "Modelling the Dependence of Contrast Sensitivity on Grating Area and Spatial Frequency," *Vision Research*, Vol. 33, No. 18, pp. 2773-2788, 1993.
- (12) O. Luntinen, J. Rovamo, R. Nasanen, "Modelling the Increase of Contrast Sensitivity with Grating Area and Exposure Time," *Vision Research*, Vol. 35, No. 16, pp. 2339-2346, 1995.
- (13) P. Barten, "Physical Model For The Contrast Sensitivity of the Human Eye," Barten Consultancy, 5511 KC Kneegsel, The Netherlands.
- (14) M. Cannon, "A Multiple Spatial Filter Model for Supra-threshold Contrast Perception," in *Vision Models for Target Detection and Recognition*, ed. Eli Peli (World Scientific Publishing, River Edge, NJ, 1995), pp. 88-117.
- (15) T. Frese, C. A. Bouman, J. P. Allebach, "A Methodology for Designing Image Similarity Metrics Based on Human Visual System Models," SPIE Conference on Human Vision and Electronic Imaging, Vol. 3016, Feb. 10-13, 1997, pp. 472-483.
- (16) A. Ahumada, Jr., B. Beard, "Image discrimination models predict detection in fixed but not random noise," *Journal of the Optical Society of America*, Vol. 14, No. 9, pp. 2471-2476, Sep. 1997.
- (17) A. B. Watson, J. A. Solomon, "Model of visual contrast gain control and pattern masking," *Journal of the Optical Society of America*, Vol. 14, No. 9, pp. 2379-2391, Sep. 1997.
- (18) A. M. Rohaly, G. Buchsbaum, "Global spatiochromatic mechanism accounting for luminance variations in contrast sensitivity functions," *Journal of the Optical Society of America*, Vol. 6, pp. 312-317, Feb. 1989.
- (19) B. Levitan and G. Buchsbaum, "Signal sampling and propagation through multiple cell layers in the retina: modeling and analysis with multirate filtering," *J. Opt. Soc. Am.*, July 1993, Vol. 10, No. 7, pp. 1463-1480.
- (20) J. M. Foley and G. M. Boynton, "A New Model of Human Luminance Pattern Vision Mechanisms: Analysis of the Effects of Pattern Orientation, Spatial Phase and Temporal Frequency," SPIE 1994, Vol. 2054, pp. 32-42.
- (21) M. W. Cannon, "A Transducer Model for Contrast Perception," *Vision Research*, 1991, Vol. 31, No. 6, pp. 983-998.
- (22) J. M. Foley, C. Chen, "Pattern detection in the presence of maskers that differ in spatial phase and temporal offset: threshold measurements and a model," *Vision Res.* 39, 1999, pp. 3855-3872.
- (23) S. Pechard, S. Tourancheau, P. Le Callet, M. Carnez, D. Barba, "Towards Video Quality Metrics For HDTV," <http://enpub.eas.asu.edu/resp/vpqm2007>, VPQM-06, pp. 1-6, 2006.
- (24) RECOMMENDATION ITU-R BT.500-11, "Methodology for the subjective assessment of the quality of television picture", ITU-R, 2002.
- (25) VQEG, "Final Report From The Video Quality Experts Group on The Validation Of Objective Models of Video Quality Assessment, Phase II," Tables 2-6, Aug. 25, 2003, pp. 11-14.
- (26) Ferguson, Kevin, "Predicting Human Vision Perception and Perceptual Difference," US Patent No. 6975776, Issued Dec. 13, 2005.
- (27) Ferguson, Kevin, "Adaptive Spatio-Temporal Filter for Human Vision System Models," US Patent No. 6907143, Issued June 14, 2005.
- (28) Ferguson, Kevin, "Variable Sample Rate Recursive Digital Filter," US Patent No. 6976045, Issued Dec. 13, 2005.
- (29) Ferguson, Kevin, "Predicting Subjective Quality Ratings of Video," US Patent No. 6829005, Issued Dec. 7, 2004.
- (30) Graham, N., *Visual Pattern Analyzers*, Oxford U. Press, 1989.
- (31) J. J. Koenderink, A. J. van Doorn, "Spatiotemporal contrast detection threshold surface is bimodal," *Optics Letters* (Opt. Soc. Am.), Jan. 1979, Vol. 4, No. 1, pp. 32-34.
- (32) B. Spehar, Q. Zaidi, "Surround effects on the shape of the temporal contrast-sensitivity function," *Journal of the Optical Society of America*, Vol. 14, No. 9, pp. 2517-2525, Sep. 1997.
- (33) C. A. Burbek, D. H. Kelly, "Spatiotemporal Characteristics of Visual Mechanisms: Excitatory-Inhibitory Model," *Journal of the Optical Society of America*, Vol. 70, No. 9, pp. 1121-1126.
- (34) C. Taylor, Z. Pizlo, J. P. Allebach, "Contrast Detection and Discrimination Thresholds for Visual Models," unpublished ms submitted to *Spatial Vision*, circa 1998.

- (35) J. Rovamo, J. Mustonen, R. Nasanen, "Modelling Contrast Sensitivity as a Function of Retinal Illuminance and Grating Area," *Vision Research*, Vol. 34, No. 10, pp. 1301-1314, 1994.
- (36) G. Legge, J. Foley, "Contrast masking in human vision," *Journal of Optical Society of America*, Vol. 70, No. 12, pp. 1458-1471, Dec.1980.
- (37) T. Cornsweet, J. Yellott, "Intensity-dependent spatial summation," *Journal of the Optical Society of America*, Vol. 2, No. 10, pp. 1769-1786, 1985.
- (38) J. Mustonen, J. Rovamo, R. Nasanen, "The Effects of Grating Area and Spatial Frequency on Contrast Sensitivity as a Function of Light Level," *Vision Research*, Vol. 33, No. 15, pp. 2065-2072, 1993.
- (39) N. J. Coletta, D. R. Williams and C. L. M. Tiana, "Consequences of Spatial Sampling for Human Motion Perception," *Vision Res.*, 1990, Vol. 30, No. 11, pp. 1631-1648.
- (40) E. Peli, L. Arend, A. T. Labianca, "Contrast perception across changes in luminance and spatial frequency," *J. Opt. Soc. Am.*, October, 1996, Vol. 13, No. 10, pp. 1953-1959.
- (41) Wandell, B. A., *Foundations of Vision*, Sinauer Associates, 1995.
- (42) G. S. Wasserman, "Brightness Enhancement in Intermittent Light: Variation of Luminance and Light-Dark Ratio," *J. Opt. Soc. Am.*, February 1966, Vol. 56, pp. 242-250.
- (43) J. C. Stevens and S. S. Stevens, "Brightness Function: Effects of Adaptation," *J. Opt. Soc. Am.*, March, 1963, Vol. 53, No. 3, pp 375-385.
- (44) R. W. Bowen, "Two Pulses Seen As Three Flashes: A Superposition Analysis," *Vision Research*, 1989, Vol. 29, No. 4, pp. 409-417.
- (45) W. H. Swanson, T. Ueno, V. C. Smith, J. Pokorny, "Temporal modulation sensitivity and pulse-detection thresholds for chromatic and luminance perturbations," *J. Opt. Soc. Am.*, Oct. 1987, Vol. 4, No. 10, pp. 1992-2005.
- (46) A. Rose, *Vision: Human and Electronic*, David Sarnoff Research Center, RCA, Plenum Press, NY/London, 1973, pp. 30.
- (47) D. Hubel, *Eye, Brain, and Vision*, Scientific American Library, NY, NY, 1995, pp. 33-136.
- (48) Enroth-Cugell, "The World of Retinal Ganglion Cells," from Shapley, R., Man-Kit Lam, D., ed., *Contrast Sensitivity*, MIT Press, 1993, pp. 155,159.
- (49) J.J. Koenderink, "Contrast Enhancement and the Negative Afterimage," *J. Opt. Soc. Am.*, May 1972, Vol. 62, No. 5, pp. 685-689.
- (50) D.H. Kelly, "Nonlinear visual responses to flickering sinusoidal gratings," *J. Opt. Soc. Am.*, Sep. 1981, Vol. 71, No. 9, pp. 1051-1055.
- (51) D.H. Kelly, "Frequency Doubling in Visual Responses," *J. Opt. Soc. Am.*, 1966, Vol. 56, No. 11, pp. 1628-1633.
- (52) R. W. Bowen, J. V. Mallow, P. J. Harder, "Some properties of the double-flash illusion," *J. Opt. Soc. Am.*, Apr. 1987, Vol. 4, No. 4, pp. 746-755.
- (53) L. E. Marks, "Apparent Depth of Modulation as a Function of Frequency and Amplitude of Temporal Modulations of Luminance," *J. Opt. Soc. Am.*, July 1970, Vol. 60, No. 7, pp. 970-977.
- (54) Wilkins, A., *Visual Stress*, Oxford Science Publications, 1995, pp. 7-23.
- (55) VQEG, "HDTV Group TEST PLAN," <http://www.its.bldrdoc.gov/vqeg/projects/hdtv/index.php>, Draft Version 1.3, September 29, 2006.
- (56) VQEG, "Multimedia Group TEST PLAN," <http://www.its.bldrdoc.gov/vqeg/projects/multimedia/index.php>, Draft Version 1.15, September 28, 2006.
- (57) G. M. Johnson, "Using Color Appearance in Image Quality Metrics," <http://enpub.eas.asu.edu/resp/vpqm2007>, VPQM-06, pp. 1-4, 2006.
- (58) Fairchild, M. D., *Color Appearance Models*, Addison-Wesley, Reading MA, 1998, pp. 80-81, 217-393.
- (59) J. G. Robson, "Spatial and Temporal Contrast-Sensitivity Functions of the Visual System," *J. Opt. Soc. Am.* (Letters to the editor), August 1966, pp. 1141-1142.
- (60) F.L. Van Nes, J.J. Koenderink, H. Nas and M.A. Bouman, "Spatiotemporal Modulation Transfer in the Human Eye," *J. Opt. Soc. Am.*, Sep. 1967, Vol. 57, No. 9, pp. 1082-1088.
- (61) D.H. Kelly, "Visual Responses to Time-Dependent Stimuli. I. Amplitude Sensitivity Measurements," *J. Opt. Soc. Am.*, April 1961, Vol. 51, No. 4, pp. 422-429.
- (62) F.L. Van Nes, J.J. Koenderink, H. Nas and M.A. Bouman, "Spatiotemporal Modulation Transfer in the Human Eye," *J. Opt. Soc. Am.*, Sep. 1967, Vol. 57, No. 9., pp. 1082-1088.
- (63) A. Vassilev, "Contrast Sensitivity Near Borders: Significance of Test Stimulus Form, Size and Duration," *Vision Research*, Vol. 13, pp. 719-730, 1993.
- (64) E. Peli, J. Yang, R. Goldstein, Reeves, "Effect of luminance on suprathreshold contrast perception," *J. Opt. Soc. Am.*, August 1991, Vol. 8, No. 8, pp. 1352-1359.
- (65) C. W. Tyler, "Observations on spatial-frequency doubling," *Perception*, 1974, Vol. 3, pages 81-86.
- (66) T. Maddess, J.M. Hemmi, A.C. James, "Evidence for spatial aliasing effects in the Y-like cells of the magnocellular visual pathway," *Vision Research*, 1998, Vol. 38, pp. 1843-1859.
- (67) S. Bedford, T. Maddess, K. A. Rose, AC James, "Correlations between observability of the spatial frequency doubled illusion and a multi-region pattern electroretinogram," *Australian and New Zealand Journal of Ophthalmology* 1997; 25 Sup. 1, pp. S91-S93.
- (68) M. Ikeda, "Temporal Summation of Positive and Negative Flashes in the Visual System," *J. Opt. Soc. Am.*, Nov. 1965, Vol. 55, No. 11, pp. 1527-1534.
- (69) Barten, P., *Contrast Sensitivity of the Human Eye*, SPIE Press 1999.
- (70) B. Levitan and G. Buchsbaum, "Signal sampling and propagation through multiple cell layers in the retina: modeling and analysis with multirate filtering," *J. Opt. Soc. Am.*, July 1993, Vol. 10, No. 7, pp. 1463-1480.

Tektronix お問い合わせ先：

日本

本社 03-6714-3111
SA営業統括部 03-6714-3004
ビデオ計測営業部 03-6714-3005

大宮営業所 048-646-0711
仙台オフィス 022-792-2011
神奈川営業所 045-473-9871
東京営業所 042-573-2111
名古屋営業所 052-581-3547
大阪営業所 06-6397-6531
京都オフィス 075-323-9048
福岡営業所 092-472-2626

湘南カスタマ・サービス・センタ 0120-7-41046

地域拠点

米国 1-800-426-2200
中南米 52-55-542-4700
東南アジア諸国/豪州 65-6356-3900
中華人民共和国 86-10-6235-1230
インド 91-80-2227-5577
欧州 44-0-1344-392-400
中近東/北アフリカ 41-52-675-3777
他30カ国

Updated 01 June 2007

詳細について

当社は、最先端テクノロジーに携わるエンジニアのために、資料を用意しています。当社ホームページ(www.tektronix.co.jp)またはwww.tektronix.comをご参照ください。



TEKTRONIXおよびTEKは、Tektronix, Inc.の登録商標です。Microsoft、Windowsは、米国Microsoft Corporationの登録商標です。記載された商品名はすべて各社の商標あるいは登録商標です。

11/07 EA/WOW

25Z-21014-0

Tektronix

Enabling Innovation

日本テクトロニクス株式会社

東京都港区港南2-15-2 品川インターシティB棟6階 〒108-6106
製品についてのご質問・ご相談は、お客様コールセンターまでお問い合わせください。

TEL 03-6714-3010 E-mail ccc.jp@tektronix.com

電話受付時間/9:00~12:00・13:00~18:00 月曜~金曜(休祝日は除く)

当社ホームページをご覧ください。 www.tektronix.co.jp
製品のFAQもご覧ください。 www.tektronix.co.jp/faq/

●記載内容は予告なく変更することがありますので、あらかじめご了承ください。

2007年11月発行 © Tektronix