

要 旨

輝度インパルス応答変化による 視覚空間周波数チャンネルの分離

平山 正治

情報技術の発達によって機械の性能限界による制限は解決しているにも関わらず、マシンと人間とのインタフェース部分の改良は十分とは言えない。マシン性能が格段に向上した現在では、人に優しいマン・マシンインタフェースの開発が望まれている。そのようなインタフェースを開発するに当たり、人の情報処理機構を理解することが重要であり、人の特性に合わせたインタフェースの開発が必要である。

本研究では、人の情報処理機構の中でも視覚情報処理に着目した。視覚情報処理の備える特性の 1 つとして、時空間特性がある。この空間周波数特性は、視覚系に複数存在するとされる空間周波数チャンネルによって決定されるが、これまでの研究ではチャンネル数の特定には至っていない。

そこで本研究では、異なる空間周波数を持つ輝度グレーティングを使用して、インパルス応答関数 (IRFs) を測定することによって空間周波数チャンネルの分離を試みる。刺激の空間周波数により、検出に関わる空間周波数チャンネルが切り替わるため、IRFs に変化があらわれると考えたからである。

IRFs を求める方法としては、2 刺激光法を採用し、コントラスト閾値を測定する。2 刺激の刺激呈示間隔と、コントラスト閾値の変化から、IRFs を計算することが可能である。

IRFs は視覚系の時間特性を直接的に示す関数である。よって、IRFs の変化によって閾値検出に関わる空間周波数チャンネルを分離することが可能であると考えた。

刺激には空間的正弦波グレーティングにガウス関数の包絡線をかけたものを採用し、各

ISI (Inter Stimulus Interval) でのコントラスト検出閾値を求め、最小位相の仮定を必要としない Burr and Morrone のモデル式を用いて輝度インパルス応答を導出した。刺激の空間周波数は、0.43cpd (Gauss 関数自身の空間周波数) から 4.90 cpd までの範囲で 11 ヶ所を採用し、実験を行なった。得られた輝度インパルス応答関数は視覚系の時間特性を直接的に反映するため、本研究では輝度 IRFs の強度が 0 となる時間 (0 交差時間) を比較した。

4 人の被験者の実験から、輝度 IRFs の 0 交差時間は 2.23cpd 周辺でもっとも早くなる結果 (平均 26ms) を得た。加えて、低空間周波数領域では遅く (48ms)、高空間周波数領域ではやや早い (38ms) という結果を得た。

輝度 IRFs の 0 交差時間の変化を説明するために、本研究では Power Ratio Change Model (PRC モデル) と Receptive Field Model (受容野モデル) を検討した。

PRC モデルは、輝度 IRFs を構成する興奮信号と抑制信号との位相差がその空間的受容野構造からあらかじめ決定しているという仮定の下に、興奮相と抑制相の強度比率を比較したものである。位相差が一定であるので、時間遅れを伴う抑制相の強度が大きくなれば見かけ上、0 交差時間は早くなることが説明できる。一方、受容野モデルでは、閾値検出にかかわる空間周波数チャンネルが複数存在し、その中で、もっとも感度の高いものによって刺激の検出がなされると考える。この空間周波数チャンネルは、異なる受容野サイズを持っているため、刺激の空間周波数に応じて閾値を決定するチャンネルが切り替わる。そして、それぞれの空間周波数チャンネルがインパルス応答関数の時間特性を決定すると考える。

実験から求められた輝度 IRFs を解析した結果、2.23cpd 周辺では、輝度 IRF の抑制相の強度が高い値を示していた。興奮相の強度も同様に、2.23cpd 周辺で増加傾向を示した。さらに、微弱ではあるものの、4cpd 周辺でも同様の傾向がみられた。

輝度 IRF の時間特性を PRC モデルと受容野モデルに基づいて解析した結果、2cpd 周辺で受容野特性の切り替わりが存在していることが示された。これは、空間周波数チャンネルの切り替わり点が存在することを示しており、輝度 IRFs の変化から空間周波数チャンネルを分離することができたことになる。

キーワード 輝度インパルス応答関数, 空間周波数チャンネル

Abstract

Visual Spatial-Frequency-Tuned Channels Separated by a Shape of Luminous Impulse Response Functions

Masaharu Hirayama

It is important to investigate the mechanisms of human visual information processing, especially for development of better human-machine interface, because the recent development of technologies enable to spend much more resources for the interface itself. For that purpose, I studied the spatial property of human vision.

I tried to separate spatial channels in human vision by measuring luminous impulse response functions (IRFs) with gratings in different spatial frequencies. Because the IRFs directly indicate temporal property of visual system, I assumed that the shape of IRFs would be influenced by the spatial frequency of gratings. It is expected that human visual system has some spatial channels. Thus, IRFs are not necessarily the same in different spatial channels. These spatial channels determine the spatial property of human vision but the number of these channels are still under discussion.

To obtain the luminous IRFs in various spatial frequencies, I used the double-pulse method with sinusoidal gratings in a certain spatial frequency (I used 11 different frequencies in a range from 0.43 to 4.90cpd). The gratings were displayed successively in a certain inter stimulus interval (ISI) (a range from 6.7 to 180ms). Thresholds for detection were measured in different ISIs.

The stimuli were radial sinusoidal gratings with a certain spatial frequency (a range

from 0.43 to 4.90cpd). The stimulus was displayed successively at variable inter stimulus interval (a range from 6.7 to 180ms). I used Burr and Morrone's model equation without the assumption of minimum phase to predict the IRFs.

As the temporal property of the IRFs, I mainly compared the data in terms of 0 crossing time.

As the result from four observers, the zero crossing time of luminous IRFs tend to be fastest at around 2 cycle per degree (cpd) (the average in all observers was 28msec). In lower spatial frequencies, it became slower (the average was 48msec). In higher spatial frequencies, it also became slower but faster than the one in lowest frequencies (the average was 38ms). The ratio of the inhibitory phase amplitude to the excitatory phase amplitude and the amplitude of the excitatory phase were also higher at around 2cpd. In addition, although it was feeble, the same tendency was obtained around 4cpd.

In order to explain the change of the temporal property of the IRFs, we made two models. One was the power ratio change model, the other was the receptive-field model. In the power ratio change model (PRC model), it is assumed that the phase shift between positive phase and negative phase in the IRFs is constant because the horizontal distance in positive and negative area in a receptive field has been determined. In this model, the power ratio, which was defined as the ration of the inhibitory phase amplitude to the excitatory phase amplitude would influence to the temporal property of the IRFs. In the receptive-field model, there will be two or more spatial frequency channels which determine the detection thresholds. The thresholds at a certain spatial frequency will be determined by the amount of the output from one channel, which is the most sensitive at that frequency.

As the results of these analyses to the IRFs based on the PRC and RF models, we found that the turning point of the spatial-frequency-tuned channels is at around 2.23cpd. This suggests that spatial frequency channels can be separated by the difference

of luminous IRFs and the turning point of spatial frequency channels can exist on around 2cpd in human visual system.

key words Impulse response function, Spatial-frequency-tuned channel