

読書時の視点移動のナビゲーションシステム

守田 了 石原 由紀夫

山口大学工学部

宇部市常盤台 2557

morita@kde.yamaguchi-u.ac.jp

速読を訓練するには停留回数および停留時間を減らし、行間運動をスムーズにし、逆行運動を減らすようにすることが必要である。本稿では、速読を訓練できるように視点を誘導するシステムを提案し、そのシステムにおこる視点移動をひき起こす視点移動情報処理モデルを提案する。スクロール時のように速く読むことのできない状況でも、速読を訓練する効果があらわれる。この読書時の視点誘導システムをスクロールしない画面とスクロール画面に用い、その効果を述べる。特に、特徴マッチングによる記憶の統合と記憶画像の解像度に基づく逆行を導入することにより、誘導時ヒトの視点移動におきる効果と同じ効果が、提案する視点移動情報処理モデルを用いた視点移動に現われることを明らかにする。

キーワード 中心窩視覚システム, 短期記憶, 速読, ナビゲーション

Navigation System of Eye Movement on Reading.

Satoru MORITA and Yukio ISHIHARA

Faculty of Engineering, Yamaguchi University

2557 Tokiwadai, Ube, 755, Japan

To read fast, it is important to decrease the number and time of all eye movement and eye movement moving to the inverse direction for the reading direction. In this paper, we propose the navigating system to read fast and the eye movement information management model causing the eye movement on navigating. Even if it is the situation not reading fast the sentence such as the scrolling its, the effect of the eye movement is appeared. In especially, we show that the eye movement navigated on reading is realized by introducing the integration of the short-term memory using feature matching and the eye moving to inverse direction for the reading direction.

keyword: Foveated Vision, Short-term Memory, Reading Fast, Navigation

1 はじめに

キーボードやマウスの代わりとして視線を入力とするインタフェースの研究が盛んに行われている [1]. また視線を入力としてテキストのスクロールを制御する方式が提案されている [2][3]. キーボードやマウス入力を用いずに視線を用いて、画面に表示されているスクロールバーやアイコンをクリックもしくはドラッグすることができる.

スクロール表示された文章の読みに関する心理学的測定に基づく研究が行われている [4]. 印刷物で提示された時の平均読み速度は 278 語/分であり、スクロール表示された時の平均読み速度は 96 語/分である. 理解度テストでは差がなかった. このことから印刷された文章と同程度の理解度でスクロール表示を読む場合は印刷物の読みの約 3 倍の時間がかかることを意味している.

中心窩視覚では画素密度分布が中心窩に相当する近傍で高く、周辺に行くに従って、低くなっている. このような視覚を実現するさまざまな CCD 素子を用いた視覚システムが提案されている [5][6][7]. 中心窩視覚は視野が狭いため、中心窩画像に基づく視点の移動では広範囲の視点の移動を行うサッカードは困難である. 広範囲にわたる注視点の移動を可能にするために、短期記憶 [8] に基づく中心窩視覚システムが提案されている [9][10]. また英文の読書時の視点移動が提案されている [11]. 本研究では日本語の読書時の視点移動における短期記憶に基づく情報処理モデルを提案する.

速読を訓練するには停留回数および停留時間を減らし、行間運動をスムーズにし、逆行運動を減らすようにすることが必要である [12]. 表 1 に示すように、学年があがるにつれて、停留数、逆行数、不適応凝視数が少なくなり、停留時間が短くなることにより、読書速度があがっていることが示されている. 停留回数を減らすために印刷物における文書の停留して欲しい文章の位置にマークをする方法が述べられている. 少しずつこの範囲を広げていくことにより停留回数を減らす訓練ができることが述べられている. 本稿では、速読を訓練できるように視点を誘導するシステムを提案し、そのシステムにおける視点移動をひき起こす視点移動情報処理モデルを提案する. スクロール時のように速く読むことのできない状況でも速読を訓練する効果があらわれる. この読書時の視点誘導システムをスクロールしない画面とスクロール画面に用いその効果を述べる. 特に特徴マッチングによる記憶の統合と記憶画像の解像度に基づく逆行を導入することにより提案する視点移動情報処理モデルを用いた視点移動に、誘導時にヒトの視点移動におきる効果と同

	停留数 /100 字	逆行数 /200 字	停留 時間	読字 数/字
1 年	136.2	21.9	330	2.14
2 年	97.6	15.2	291	3.45
3 年	64.6	8.4	267	5.78
4 年	51.7	5.4	203	8.92
5 年	44.4	4.1	228	9.41
6 年	45.7	2.7	198	9.30

表 1: 眼球運動の発達 (国立国語研究所による)

じ効果が現われることを明らかにする.

2 誘導灯による視点移動ナビゲーションとスクロール

近年旅客案内や映画の終りに流れるクレジットなどにスクロール表示が使用されるようになっていく. スクロール表示は少ない画面を用いて大きな文字で多くの情報を流すことができるため、広く使用されている. 我々は以下の 4 つの機能に基づくナビゲーションシステムを構築する.

- a1 単語を視点位置から一定速度で進行方向と逆方向にスクロールする
- a2 単語を視点位置から一定速度で進行方向と垂直方向にスクロールする

これらの機能を実現するためには、視点がどの位置にあるかを知る必要がある. Nac の EMR-8 を用いて視点の位置を計測する. [a1][a2] では文字をスクロールする. スクロールした文字を読む場合その読み速度は低減することが知られている. 読みをスムーズに行うためには以下の 4 つの点が重要になる. 文書のスクロールは各凝視毎に、左へ 20 ピクセル行になっている. 文書のスクロールは各凝視毎に、下へ 10 ピクセル行になっている.

- a 改行をスムーズにする
- b 停留数を少なくする
- c 停留時間を短くする
- d 逆行の数を減らす

この点を考慮して緑色の誘導灯を利用して以下の視点移動のナビゲーションを行う.

- b1 緑色の誘導灯を視点から一定の位置におき視点移動をガイドする

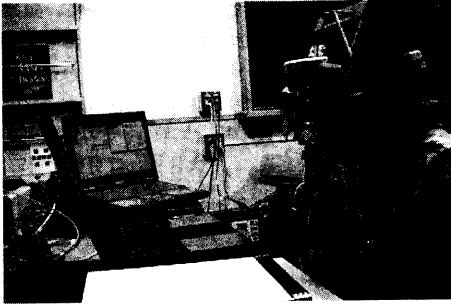


図 1: 視点移動ナビゲーションシステム

また [b1] のようにマークを視点から一定間隔の位置におく場合、ある一定よりも間隔が遠いと逆行する必要がおこり時間がかかる。しかし通常の平均の視点より少し離れた所にマークをおくと通常より少し速く読むことができる。スクロールする場合に誘導灯を用いると誘導灯を用いない場合に比べてその効果はより多く現われる。

実際にアイマークカメラ Nac の EMR-8 とパソコンを用いてスクロールとナビゲーション機能を持つ読書時の視点移動ナビゲーションシステムを作成した。図 1 は視点移動ナビゲーションシステムである。実際にヒトの視点移動を計測しスクロールとナビゲーションによる視点移動を計測し視覚情報処理モデルを検討する。

3 日本語の文章の読書時の視点移動情報処理モデル

読書時の視点移動には停留、運動、逆行、行間運動の 4 つの機能がある。一行の停留数、停留時間、逆行運動の数、行間運動の円滑さが読む速さを決めていると考えられている。本研究ではスクロール時の視点移動と誘導灯を用いて視点を誘導する時に現われるヒトの視点移動を実現する。

3.1 中心窩視覚

中心窩視覚では画素密度分布が中心窩に相当する近傍で高く、周辺に行くに従って低くなっている。Wilson は空間不変な受容野配列を提案している [13]。回転やスケールに不変であるので log-polar マッピングモデルはマシンビジョンの画像サンプリングモデルとして広く使われている [14]。周辺に行くほど大きくなるように円の半径を変えることが必要になる。正規分布を使用した解

data	scrol	matching	guide	region	%
data1	×	—	use	50 - 100	80
data2	×	—	use	50 - 100	60
data3	×	—	use	100 - 150	80
data4	×	—	use	100 - 150	60
data5	×	—	×	—	80
data6	×	—	×	—	60
data7	←20	use	use	100-150	60
data8	←20	—	use	100-150	60
data9	↓10	use	use	100-150	60
data10	↓10	—	use	100-150	60

表 2: 視点移動情報処理モデルによる視点移動実験

像度の計算を以下に示す。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \frac{-(x - average)^2}{2\sigma^2} \quad (1)$$

$rf(x)$ は解像度を表す関数である。解像度は%で表され、これはサンプル点がおかれる確率を表している。

$$rf(x) = \sqrt{2\pi}\sigma \cdot f(x) \quad (2)$$

$$(0 < rf(x) \leq 1)$$

但し実験では $\sigma = 61, average = 0$ である。視野の半径 $Length$ は 250 ピクセルである。注目領域は $150 * 20$ ピクセルの長方形であり、現在の視点から進行方向のエッジ密度の高い方向へ傾けてセットしている。エッジの抽出は、縦横にそれぞれ隣合う 2 つの色の RGB の距離を計算し、180 以上であれば、エッジとする。

3.2 短期記憶

短期記憶は文字通り、およそ 20 秒くらいまでの短期間、情報を保存しておくところである。主に二つの役割がある。一つは、感覚情報貯蔵庫から送られてくる入力情報や短期記憶での処理結果を長期記憶に転送する役割である。もう一つの役割は、課題の要請に合わせて、入力情報を加工処理することである。感覚情報貯蔵庫にとどめられた情報の中から、課題の目的に必要な特徴が抽出され、それに対してのみ符号が割り付けられる。本論文では特に短期記憶と視覚の関係に着目する。

視野の狭い眼球を高速に動かしながら広範囲の空間を把握しているが、実際には高速に眼を移動している感覚はない。そこで短期記憶に基づき高速に視野の狭い眼球を移動しながら、実際に見ていると感じている広範囲の二次元のイメージを生成する。このイメージを本稿では短期記憶イメージとよぶ。

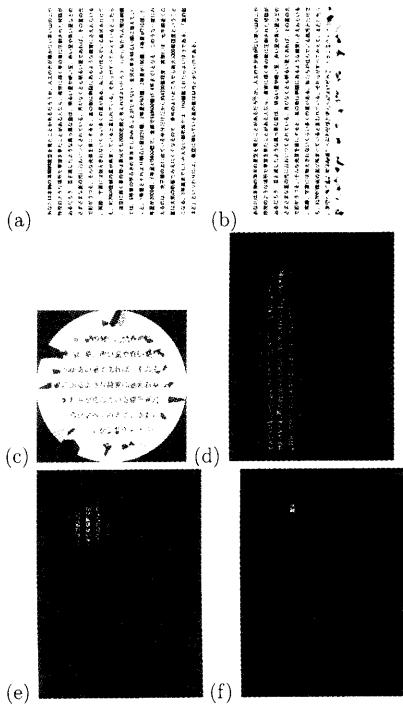


図 2: data1 における 100 視点目における (a) 視点移動ナビゲーションシステムの画像 (b) 短期記憶画像 (c) 中心かエッジ画像 (d) 行かえのための短期記憶エッジ画像 (e) 短期記憶エッジ画像 (f) 短期記憶明度画像 (緑)

まず短期記憶イメージの生成について述べる。短期記憶イメージは、一般に見ていると感じている画像である。各画素の色には最も近いサンプリング点における色を設定する。これにより中心か画像が再構成される。但し、前の時刻の画素中の R の値を比較し、その値が小さければ、画素値を更新する。もし大きければ更新しない。短期記憶には容量の制約があることが述べられている。この容量の制約を実現するために各画素に時刻値を設定する。この時刻値を設定することによって、古い時刻値の画像を記憶イメージから消すことができる。

3.3 イベント検出と並列タスクモデル

一般に一つの作業はさらに細かく分割された数個のタスクから成り立っている。本稿では、1つの作業を、複数のタスクに分割し、並列にタスク実行のトリガとなるイベントを検出することによって作業を実現するモデルを提案する。また一般にタスクごとに記憶しておかなければならない範囲が異なる。各タスクごとに短期記憶を用意することによって、タスクに応じた注視の範囲を制御する。各タスク実行のトリガとなるイベントがおきると、各タスクにおける短期記憶イメージを参照しながらタスクを実行し、タスクを終了するとそのタスクにおける短期記憶イメージを消去し、次のタスクを実行する。色つきの誘導灯によるナビゲーションを行っている。誘導灯の大きさは y 方向には -10 から 10 まで、 x 方向には $50 - 100$ か $100 - 150$ の二つの範囲で行っている。色 (緑) の抽出は、 $RGB(0, 255, 0)$ とサンプリング点の色の幾何学的距離を計算し、30 未満であれば特徴とする。色検出による視点移動は読書時の視点移動に並行して行われる。特徴に移動する確率は、

$$w(x) = (1 - rf(x)) * fe(x) * 127 \quad (3)$$

$fe(x)$ は x における特徴数であり、緑またはエッジが抽出された時は 1、緑かつエッジが抽出された時は 2、どちらも抽出されなかった時は 0 になる。そのため i に視点移動する確率 $p(x_i)$ は

$$p(x_i) = \frac{w(x_i)}{\sum_i w(x_i)} \quad (4)$$

となる。このようにモデル化することにより、特徴の多い解像度が低い位置に視点は移動しやすくなる。

3.4 特徴マッチングによる記憶の統合

スクロールにより画像が移動する場合は、移動を考慮せずに統合すると統合された記憶画像から文章は再構成

されない。ヒトはスクロールする文章を読む場合にも文章のイメージを持っている。スクロールに応じてずれを補正することにより、スクロール時であってもスクロールしない場合と同様の短期記憶イメージを生成することができる。スクロールに応じてずれを補正する時には、特徴の対応づけが必要である。2つの画像の各画素におけるエッジ密度を比較して全画素にわたって対応づけを計算し、最も対応する位置を原画像と対応する位置であると判断する。スクロール時はスクロールしない場合に比べて読書時に約3倍の時間がかかることが述べられている。これは、スクロール時にはスクロールしない時に必要でない短期記憶イメージの補正に要する時間が必要なためと考える。

3.5 記憶画像の解像度に基づく逆行

視点から 150×20 ピクセルの長方形に含まれるエッジ数を計算する。エッジ抽出は、縦横にそれぞれ隣り合う2つの色のRGBの距離を計算し、180以上であればエッジとする。長方形の領域のエッジ密度を計算し、エッジ密度が高い方向から次の視点を決定する。現在の視点から左右へ 150×20 の長方形内の平均解像度の閾値を越えると、注目領域は右のみの長方形になり、そうでなければ左右の長方形になる。これにより視点の逆行が実現される。実験では平均解像度のしきい値は60%と80%を用いている。しきい値が低い場合はすばやく認識でき、しきい値が高い場合はよく見ないと容易に認識できないことを意味する。提案する情報処理モデルでは、訓練によりこのしきい値を変えることにより、速く読むことができると考える。

4 読書時の視点移動ナビゲーションシステムの情報処理モデルによる視点移動の評価

各凝視毎に20ピクセル左にスクロールするか、10ピクセル下にスクロールするか、特徴マッチングによる記憶の統合を行うか、誘導を用いるか、誘導灯を50-100もしくは100-150ピクセルの位置に高さ20ピクセルで配置するか、平均解像度のしきい値を80%にするか60%にするかで全部で10種類の実験を行った。それぞれの実験を表2に表す。図2はdata1における100視点目における(a)視点移動ナビゲーションシステムの画像(b)短期記憶画像(c)中心かエッジ画像(d)行かえのための短期記憶エッジ画像(e)短期記憶エッジ画像

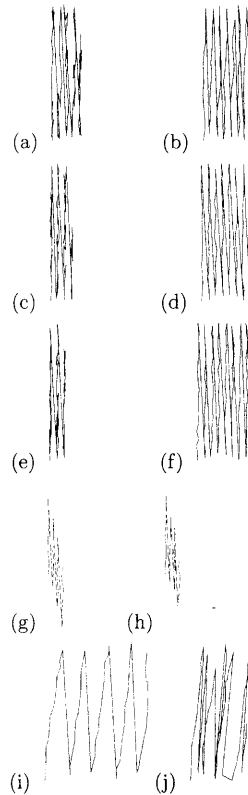


図 3: (a)data1(b)data2(c)data3(d)data4(e)data5(f)data6 (g)data7(h)data9(i)data10(j)data11 における視点移動情報処理モデルによる視点の軌跡

data	1	2	3	4	5	6
読文字数	192	319	142	348	112	330
逆行数	19	0	25	0	31	0

表 3: 100 視点移動における読み文字数と逆行数

(f) 短期記憶明度画像 (緑) を示している。提案する視点移動情報処理モデルを用いて data1 から data6 のスクロールを伴わない場合の 100 回の視点移動により、読むことのできる文章の量を比較したところ、100 視点移動における視点移動は図 3 に示す通りになり、100 視点移動における読み文字数は表 3 に示す通りになり、上位から順に data4, data6, data2, data1, data3, data5 となった。data3 および data4 のように誘導灯の位置が視点から 100 - 150 にある場合は、視点が誘導に従い大きく飛ぶものの、逆行する回数が増えている。特に 80% に達しないと逆行するモデルでは、逆行する回数が増えている。速読を訓練する場合には、訓練によりこの解像度のしきい値による値が小さくなるため、視点を大きく移動しているにもかかわらず、逆行せずに読むことができるようになったものと考えられる。data3 が data5 より逆行数が多いのは、解像度のしきい値に達しない場合には誘導灯を用いた方が逆行する回数が減る。そのため、誘導灯をつけずに読む場合がもっとも逆行数が増えている。また図 4 は (a) data7 (b) data8 (c) data9 (d) data10 における短期記憶イメージを表している。data8 では右スクロールするので短期記憶エッジイメージを読むことができない。data10 では下にスクロールのため次の行に行かえができて、何度も同じ行を読んでしまう。data8, data10 では短期記憶イメージも歪み文字を確認することができないので、期待する理解度は得られない。特徴マッチングによる記憶の統合を用いることにより、data7, data9 ではスクロールしない場合の短期記憶イメージと同じで内容を読むことができる。data7 および data9 では特徴マッチングによる記憶の統合に時間を要するため、視点移動の回数は大きく変わらないにもかかわらず、スクロールしない場合の 3 倍の時間を要すると考える。しかし、記憶している短期記憶イメージは変わらないため、理解度に変化は表われない。

このように実験から提案する視点移動情報処理モデルは、報告されているヒトの視点移動の効果が現われていることがわかる。

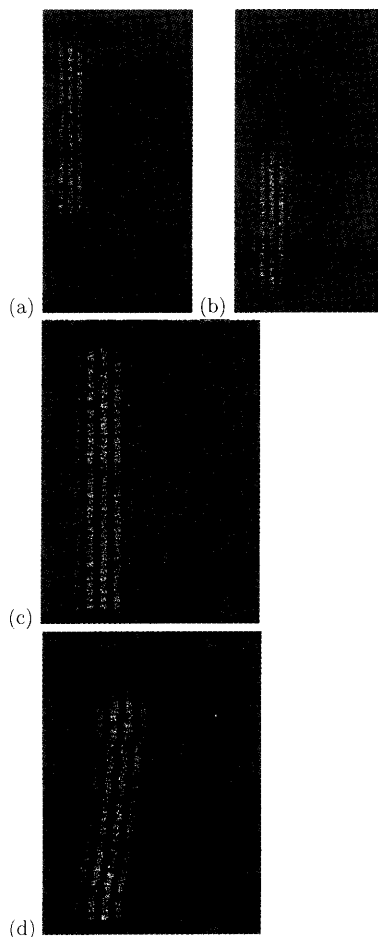


図 4: (a) data7 (b) data8 (c) data9 (d) data10 における短期記憶イメージ

5 おわりに

短期記憶と並列タスクによる視覚情報処理モデルに基づく特徴の対応づけによる記憶の統合と短期記憶画像の解像度による逆行を用いることにより、報告されているヒトの視点移動の効果が現われるため、本視点移動情報処理モデルは有効である。

謝辞

ヒトの視点移動は公立ほこだて未来大学川嶋 稔夫教授のもと測らせて頂き、また熱心に議論頂き感謝します。

参考文献

- [1] 大野 建彦, 視線を用いた高速なメニュー選択作業, 情報処理学会論文誌, vol. 40, no. 2, pp. 603-612, 1999
- [2] R. Jacob, "What you look at is what you get: Eye movement-based interaction techniques," proc. of ACM CHI90 Human Factors in Computing System Conference, pp. 11-18, 1990
- [3] 大和 正武, 門田 暁人, 高田義彦, 松本 健一, 鳥居 宏次, 視線によるテキストウィンドウの自動スクロール, 情報処理学会論文誌, vol. 40, no. 2, pp. 613-622, 1999
- [4] A. Sekey, J. Tietz, "Text display by Saccadic Scrolling,"¹ Visible Language, 16(1), pp. 62-77, 1982
- [5] T. Baron, M. D. Levine and Y. Yeshurun, "Exploring with a Foveated Robot Eye System," 12th International Conference on Pattern Recognition, pp. 377-380, 1994.
- [6] 末松 良一, 山田 宏尚, "中心窩を有する新しい視覚センサの開発," 計測自動制御学会, vol. 31, No. 10, pp.1556-1563, 1995.
- [7] Y. Kuniyoshi, N. Kita, S. Rougeaux and T. Suehiro, "A Foveated Wide Angle Lens for Active Vision," Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 2982-2988, 1995.
- [8] R. C. Atkinson and R. M. Shiffrin, "Human memory: A proposed system and its control process., The Psychology of Learning and Motivation, Vol. 2, Academic Press, 1968.
- [9] 守田 了, 石原 由紀夫, 短期記憶とタスクモデルに基づく視点移動の実現, MIRU2000, vol. I, pp. 209-214, 2000
- [10] S. Morita and Y. Ishihara, "Control of Foveated Vision based on Short-term Memory," Proc. of IEEE MFI99, pp. 13-18, 1999.
- [11] 石原 由紀夫, 守田 了, 読書時における視点移動の実現, 電子情報通信学会論文誌, vol. J84-D-II, no.1 pp. 111-119, 2001
- [12] 佐藤 泰正, "速読の科学", 講談社, 1985
- [13] S. W. Wilson: "On the retina-cortical mapping," Int. J. Man-Machine Stud. 18, pp. 361-389, 1983.

- [14] H. Yamamoto, Y. Yeshurun and M. D. Levine, "An Active Foveated Vision System: Attentional Mechanisms and Scan Path Coverage Measures," Computer Vision and Image Understanding, Vol. 63, No. 1, pp. 50-65, 1996.