

人のサッカード眼球運動システムモデリング

著者	関川 浩, 鈴木 義秀, 奥山 文雄, 八名 和夫
出版者	法政大学計算センター
雑誌名	法政大学計算センター研究報告
巻	8
ページ	81-87
発行年	1995-03-31
URL	http://doi.org/10.15002/00024701

人のサッカード眼球運動システムモデリング

関川 浩¹⁾、鈴木 義秀²⁾、奥山 文雄³⁾、八名 和夫⁴⁾

^{1),2),4)} 法政大学工学部 †, ³⁾ 東京医科歯科大学医学部 ‡

人の水平サッカード眼球運動をシミュレートするシステムを MATLAB を用いて構築した。本論文では、現在広く認められている Robinson のサッカード眼球運動モデルを精密化したモデルを提案するとともに、観測データに基づくモデルパラメータの推定を行なった。その結果、モデルパラメータの最適化によりヒトにおけるサッカード眼球運動を正確に再現できることを確かめた。またサッカード遅れ時間(潜時)の分布をグラムシャリエ展開により近似し、一般に知られている非対称な分布を得た。

1. はじめに

視覚は人間が外界から最も多くの情報を受容する重要な感覚である。その視野は左右90度以上にも及ぶが、空間分解能、すなわち視力が優れている中心視は直径約10度の範囲でしかない。そのため文字情報や画像のような詳細な情報を獲得するには、視線を注視する対象へ移動させなければならない。この視線の移動は、頭部運動や身体運動を伴いながら、高速のサッカード眼球運動で行われる。

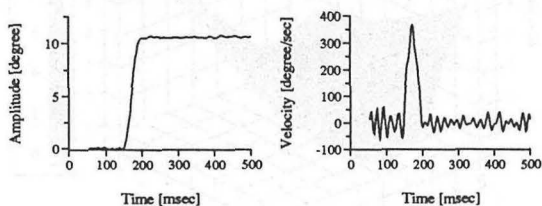


Fig. 1 サッカード眼球運動の波形

本研究では、解剖学や生理学的知見に基づき、かつ実験で得られたサッカード眼球運動データに一致するモデルの構築を試みた。

2. シミュレーションモデル

Robinson は水平サッカード発現に関し、現在広く受け入れられている概念的なモデルを提案した¹⁾。しかし、そのモデル中 Pulse Generator(PG)と呼ばれる要素については詳細に述べられていない。Gisbergen はその PG について構成的なモデルを提案し、猿の生理学的データによりモデルパラメータを決定している²⁾。そこで本論文では、この2つのモデルを組み合わせ (Fig.2)、水平サッカード眼球運動をシミュレートする総合的なシステムを MATLAB を用いて構築した。

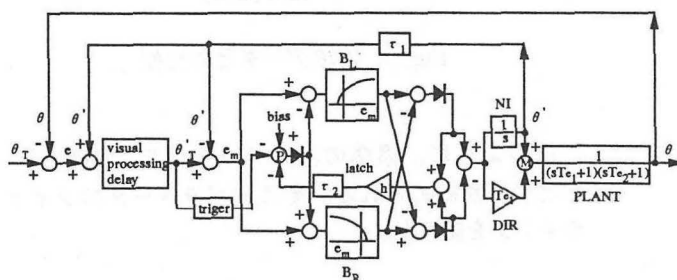


Fig. 2 シミュレーションモデル

- θ : 網膜基準座標における眼球位置
- θ' : 頭部基準座標における眼球位置
- θ_T : 網膜基準座標における視標位置
- θ'_T : 頭部基準座標における視標位置, $e + \theta'$
- e : 網膜誤差, $\theta_T - \theta$
- e_m : サッカードすべき量 (運動誤差), $\theta'_T - \theta'$

左右のバースト・ニューロン (B_L, B_R) はそれぞれ次式で近似される。

$$B_L(e_m) = \begin{cases} b_m(1 - e^{-(e_m+e_o)/b_k}), & e_m \geq -e_o \\ 0, & e_m < -e_o \end{cases} \quad (1)$$

$$B_R(e_m) = \begin{cases} b_m(1 - e^{(e_m-e_o)/b_k}), & e_m \leq e_o \\ 0, & e_m > e_o \end{cases} \quad (2)$$

Table 1 各パラメータの標準値

b_m [deg/s]	b_k [deg]	e_o [deg]	bias
1100	10	2	60
τ_1 [ms]	τ_2 [ms]	T_{e_1} [ms]	T_{e_2} [ms]
5	0	150	4

† 〒184 東京都小金井市梶野町 3-7-2

‡ 〒113 東京都文京区湯島 1-5-45

3. シミュレーション結果

3.1. 実験データとの比較

Table 1のパラメータ値でシミュレーションをしたものと実験データの比較を Fig.3に示す。

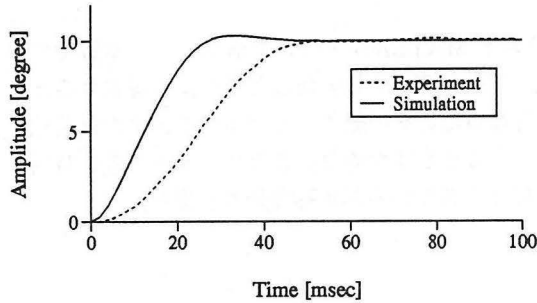


Fig. 3 実験データとの比較

このように、標準のパラメータ値では実験データとの差が認められる。そこでパラメータのフィッティングを試みた。

3.2. 各パラメータの特性

Fig.2において、積分器(NI)とゲイン(T_{e1})の並列経路から眼筋部(PLANT)までの伝達関数は、

$$\begin{aligned} \frac{\theta(s)}{R(s)} &= \frac{\frac{1}{s} + T_{e1}}{(sT_{e1} + 1)(sT_{e2} + 1)} \\ &= \frac{1}{s} - \frac{1}{s + \frac{1}{T_{e2}}} \end{aligned} \quad (3)$$

となるので、 T_{e2} が一次遅れ要素として眼球位置波形に大きく影響を与える。

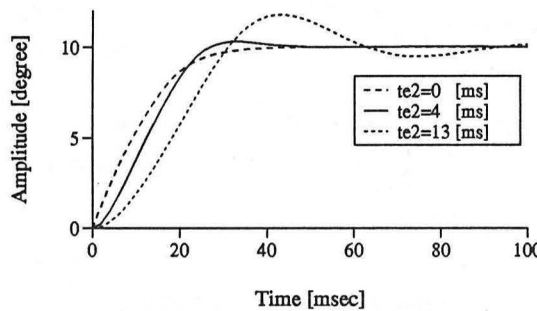


Fig. 4 T_{e2} による変化

また、左右のバースト・ニューロン(B_L, B_R)における b_m (式(1),(2)参照)による影響を Fig.5に示す。

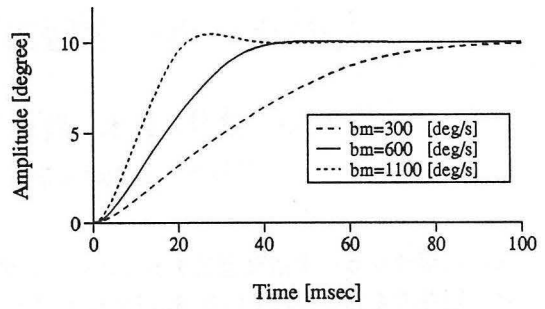


Fig. 5 b_m による変化

3.3. パラメータのフィッティング

眼球位置波形について、前項で考察した T_{e2} および b_m を変数として、実験データとのサッカード中における平均2乗誤差を求めた。

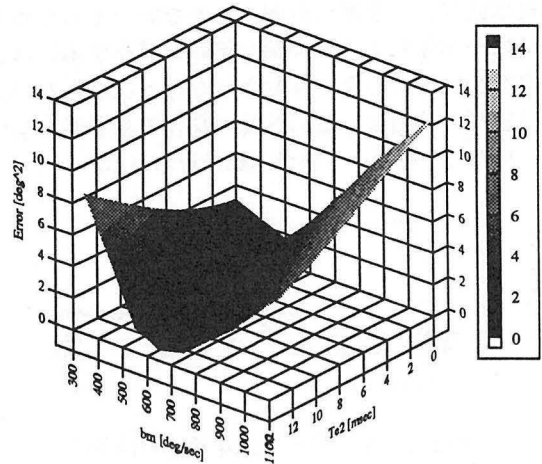


Fig. 6 T_{e2}, b_m による誤差の変化

3.4. 結果

前項の考察により、 $T_{e2}=12, b_m=600$ とした時のシミュレーション結果を実験データと重ねて示す。

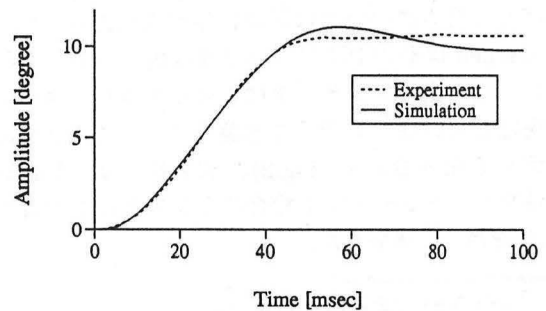


Fig. 7 $T_{e2}=12, b_m=600$ とした結果

4. サッカー遅れ時間の統計的解析

Fig.2のモデルにおける遅延要素に確率的性質を持たせる為に、グラムシャリエ展開法により、実験データの遅れ時間を解析する。

4.1. グラムシャリエ展開

正規化されたデータ

$$z(i) \triangleq \frac{x(i) - \mu_x}{\sigma_x} \quad (4)$$

- データ : $x(i)$
- 平均値 : $\mu_x = \frac{1}{N} \sum x(i)$ (N : データ数)
- 標準偏差 : $\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum x(i)^2 - \mu^2}$

のグラムシャリエ展開 $P(z(i))$ は、

$$P(z(i)) = \sum_{\nu=0}^{\infty} C_{\nu} \psi^{(\nu)}(z(i)) \quad (5)$$

と表される。ここで、 C_{ν} はグラムシャリエ展開係数であり、

$$C_{\nu} = \frac{1}{\nu!} \int_{-\infty}^{\infty} P(z(i)) H_{\nu}(z(i)) dz \quad (6)$$

また、 $\psi^{(\nu)}(z(i))$ は $N(0, 1)$ の確率密度関数 $\psi(z(i))$ の ν 回微分を表し、一般に、

$$\psi^{(\nu)}(z(i)) = (-1)^{\nu} H_{\nu}(z(i)) \psi(z(i)) \quad (7)$$

となる。式(6)、(7)において、 $H_{\nu}(z(i))$ は ν 次のエルミート多項式である。

4次まで ($0 \leq \nu \leq 4$) のグラムシャリエ展開により、

$$\nu = 0$$

$$H_0(z(i)) = 1$$

$$C_0 = \int_{-\infty}^{\infty} P(z(i)) dz = 1$$

$$\nu = 1$$

$$H_1(z(i)) = z(i)$$

$$C_1 = \int_{-\infty}^{\infty} P(z(i)) z(i) dz = 0$$

$$\nu = 2$$

$$H_2(z(i)) = z(i)^2 - 1$$

$$C_2 = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} P(z(i)) (z(i)^2 - 1) dz = 0$$

$$\nu = 3$$

$$H_3(z(i)) = z(i)^3 - 3z(i)$$

$$C_3 = \frac{1}{3!} \int_{-\infty}^{\infty} P(z(i)) (z(i)^3 - 3z(i)) dz$$

$$= \frac{1}{3!} \int_{-\infty}^{\infty} P(z(i)) z(i)^3 dz$$

$$\nu = 4$$

$$H_4(z(i)) = z(i)^4 - 6z(i)^2 + 3$$

$$C_4 = \frac{1}{4!} \int_{-\infty}^{\infty} P(z(i)) (z(i)^4 - 6z(i)^2 + 3) dz$$

$$= \frac{1}{4!} \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} P(z(i)) z(i)^4 dz - 3 \right\}$$

となり、式(5)は以下のようになる。

$$P(z(i)) = \psi(z(i)) \left\{ 1 + \frac{1}{3!} m_3 H_3 + \frac{1}{4!} (m_4 - 3) H_4 \right\} \quad (8)$$

$$\psi(z(i)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z(i)^2}{2}} : \text{標準正規確率密度関数}$$

$$m_3 = \frac{1}{N} \sum z(i)^3 : \text{3次モーメント}$$

$$m_4 = \frac{1}{N} \sum z(i)^4 : \text{4次モーメント}$$

4.2. 結果

正規化した遅れ時間を横軸とし、相対度数と4次までのグラムシャリエ展開をしたものを重ねて示す。

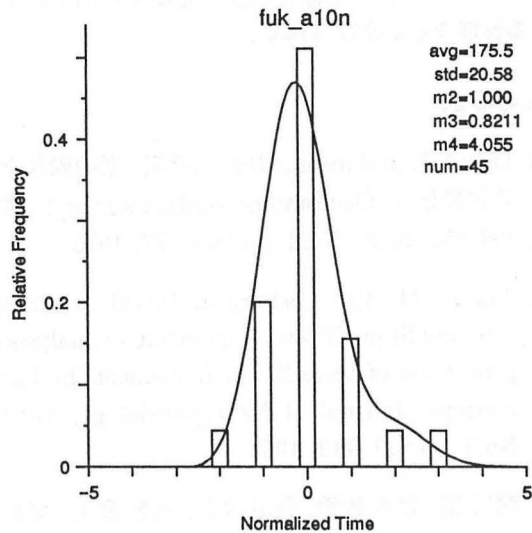


Fig. 8 サッカー遅れ時間の相対度数分布

5. 考察

眼球運動の波形特性には個人差があるので、各個人ごとにフィッティングを試みると共に、一個人におけるパラメータのばらつきも調べる必要がある。

またサッカード遅れ時間を検討する際に、実験データからは視標および背景輝度との関係が示唆されている。このことを考慮すると、図2のモデルでは入力として視標の位置だけであるが、輝度情報の入力も必要と思われ、網膜モデルの導入も検討しなければならない。

6. おわりに

MATLABによるサッカード眼球運動のシミュレーションシステムについて述べた。

本研究の応用例としては、精神分裂病患者やアルツハイマー病患者に特有の眼球運動を検出する事による診断などが挙げられる。

参考文献

- 1) David A. Robinson, 山本 三幸訳: 眼の動きを操る神経信号 (Oculomotor control signals), 生体の科学, vol.26, No.2, pp.165-177, 1975
- 2) Jan A. M. Van Gisbergen, David A. Robinson, and Stan Gielen: A quantitative analysis of generation of saccadic eye movements by burst neurons, Journal of Neurophysiology, Vol.45, No.3, pp.417-442, 1981
- 3) 関川 浩, 鈴木 義秀, 奥山 文雄, 八名 和夫: MATLABによるサッカード眼球運動のシミュレーション, 第15回計算電気・電子工学シンポジウム, 印刷中

付録

本研究で用いたシステムのMATLABプログラミングリストを以下に示す。

```
function [ret,x0,s1r]=model(t,x,u,flag);
%MODEL is the M-file description of the SIMULINK system named MODEL.
% The block-diagram can be displayed by typing: MODEL.
%
% SYS=MODEL(T,X,U,FLAG) returns depending on FLAG certain
% system values given time point, T, current state vector, X,
% and input vector, U.
% FLAG is used to indicate the type of output to be returned in SYS.
%
% Setting FLAG=1 causes MODEL to return state derivatives, FLAG=2
% discrete states, FLAG=3 system outputs and FLAG=4 next sample
% time. For more information and other options see SFUNC.
%
% Calling MODEL with a FLAG of zero:
% [SIZES]=MODEL([],[],[],0), returns a vector, SIZES, which
% contains the sizes of the state vector and other parameters.
% SIZES(1) number of states
% SIZES(2) number of discrete states
% SIZES(3) number of outputs
% SIZES(4) number of inputs
% For the definition of other parameters in SIZES, see SFUNC.
% See also, TRIM, LINMOD, LINSIM, EULER, RK23, RK45, ADAMS, GEAR.

% Note: This M-file is only used for saving graphical information;
% after the model is loaded into memory an internal model
% representation is used.

% the system will take on the name of this mfile:
sys = mfilename;
new_system(sys)
simver(1,2)
if(0 == (nargin + nargout))
    set_param(sys,'Location',[5,143,639,381])
    open_system(sys)
end;
set_param(sys,'algorithm','RK-23')
set_param(sys,'Start time','0')
set_param(sys,'Stop time','0.5')
set_param(sys,'Min step size','0.002')
set_param(sys,'Max step size','0.002')
set_param(sys,'Relative error','1e-3')
set_param(sys,'Return vars','')

add_block('built-in/To Workspace',[sys, '/', 'To Workspace1'])
set_param([sys, '/', 'To Workspace1'],...
'orientation',3,...
'mat-name','target',...
'buffer','1000',...
'position',[25,20,75,40])

add_block('built-in/To Workspace',[sys, '/', 'To Workspace4'])
set_param([sys, '/', 'To Workspace4'],...
'orientation',2,...
'mat-name','trigger',...
'buffer','1000',...
'position',[180,181,230,199])

add_block('built-in/To Workspace',[sys, '/', 'To Workspace3'])
set_param([sys, '/', 'To Workspace3'],...
'mat-name','vel',...
'buffer','1000',...
'position',[610,92,660,108])

add_block('built-in/To Workspace',[sys, '/', 'To Workspace2'])
set_param([sys, '/', 'To Workspace2'],...
'mat-name','amp',...
'buffer','1000',...
'position',[610,92,660,68])

add_block('built-in/Sum',[sys, '/', 'Sum3'])
set_param([sys, '/', 'Sum3'],...
'inputs','+',...
'position',[110,95,130,115])

add_block('built-in/Sum',[sys, '/', 'Sum2'])
set_param([sys, '/', 'Sum2'],...
'inputs','+',...
'position',[65,100,85,120])

% Subsystem 'Trig'.
new_system([sys, '/', 'Trig'])
set_param([sys, '/', 'Trig'],'Location',[8,225,355,383])

add_block('built-in/Mux',[sys, '/', 'Trig/Mux'])
set_param([sys, '/', 'Trig/Mux'],...
'inputs','2',...
'position',[95,30,125,65])

add_block('built-in/Fcn',[sys, '/', 'Trig/Fcn'])
set_param([sys, '/', 'Trig/Fcn'],...
'Expr','((abs(u[1])-eo)>0)*(u[2]>20)*u[2]',...
'position',[170,40,210,60])

add_block('built-in/Signal Generator',[sys, '/', 'Trig/Signal Gen.'])
set_param([sys, '/', 'Trig/Signal Gen.'],...
'Peak','70.000000',...
'Peak Range','70.000000',...
'Freq','4.000000',...
'Freq Range','30.000000',...
'Wave','Saw',...
'Units','Hz',...
'Mask Display','',...
'position',[35,78,80,112])
```

```

add_block('built-in/Outport',[sys,/,',Trig/out'1])
set_param([sys,/,',Trig/out'1],...
'Port','1',...
'position',[260,40,280,60])

add_block('built-in/Inport',[sys,/,',Trig/in'1])
set_param([sys,/,',Trig/in'1],...
'Port','1',...
'position',[40,30,60,50])
add_line([sys,/,',Trig'],[85,95;90,55])
add_line([sys,/,',Trig'],[130,50;165,50])
add_line([sys,/,',Trig'],[215,50;255,50])
add_line([sys,/,',Trig'],[65,40;90,40])

% Finished composite block 'Trig'.
set_param([sys,/,',Trig'],...
'orientation',1,...
'position',[250,160,270,185])

add_block('built-in/Transport Delay',[sys,/,',5ms Delay'])
set_param([sys,/,',5ms Delay'],...
'orientation',2,...
'Delay Time','0.005',...
'Initial Input','0',...
'position',[305,30,355,60])

add_block('built-in/Step Fcn',[sys,/,',Single Step',13,'Target'])
set_param([sys,/,',Single Step',13,'Target'],...
'Time','0',...
'Before','0',...
'After','10',...
'position',[15,95,35,115])

add_block('built-in/Integrator',[sys,/,',Integrator'])
set_param([sys,/,',Integrator'],...
'Initial','0',...
'position',[395,54,415,76])

add_block('built-in/Gain',[sys,/,',Gain'])
set_param([sys,/,',Gain'],...
'Gain','0.15',...
'position',[390,118,425,152])

add_block('built-in/Sum',[sys,/,',Sum'])
set_param([sys,/,',Sum'],...
'inputs','+',...
'position',[445,90,465,110])

add_block('built-in/Sum',[sys,/,',Sum1'])
set_param([sys,/,',Sum1'],...
'inputs','+',...
'position',[275,90,295,110])

% Subsystem 'Plant'.
new_system([sys,/,',Plant'])
set_param([sys,/,',Plant'],'Location',[275,42,569,194])

add_block('built-in/Transfer Fcn',[sys,/,',Plant/Transfer Fcn'])
set_param([sys,/,',Plant/Transfer Fcn'],...
'Numerator','1',...
'Denominator','[0.15 1]',...
'position',[60,53,110,87])

add_block('built-in/Transfer Fcn',[sys,/,',Plant/Transfer Fcn1'])
set_param([sys,/,',Plant/Transfer Fcn1'],...
'Numerator','1',...
'Denominator','[0.012 1]',...
'position',[145,53,200,87])

add_block('built-in/Outport',[sys,/,',Plant/out'1])
set_param([sys,/,',Plant/out'1],...
'Port','1',...
'position',[240,60,260,80])

add_block('built-in/Inport',[sys,/,',Plant/in'1])
set_param([sys,/,',Plant/in'1],...
'Port','1',...
'position',[10,60,30,80])
add_line([sys,/,',Plant'],[115,70;140,70])
add_line([sys,/,',Plant'],[205,70;235,70])
add_line([sys,/,',Plant'],[35,70;55,70])

% Finished composite block 'Plant'.
set_param([sys,/,',Plant'],...
'position',[495,80,525,120])

add_block('built-in/Derivative',[sys,/,',Derivative'])
set_param([sys,/,',Derivative'],...
'position',[555,90,585,110])

add_block('built-in/To Workspace',[sys,/,',To Workspace'])
set_param([sys,/,',To Workspace'],...
'mat-name','time',...
'buffer','1000',...
'position',[610,12,660,28])

add_block('built-in/Clock',[sys,/,',Clock'])
set_param([sys,/,',Clock'],...
'position',[550,10,570,30])

% Subsystem 'OPN'.
new_system([sys,/,',OPN'])
set_param([sys,/,',OPN'],'Location',[67,61,326,265])

add_block('built-in/Inport',[sys,/,',OPN/in'2'])
set_param([sys,/,',OPN/in'2'],...
'orientation',3,...
'Port','2',...
'position',[45,140,65,160])

add_block('built-in/Inport',[sys,/,',OPN/in'1'])
set_param([sys,/,',OPN/in'1'],...
'Port','1',...
'position',[20,95,40,115])

add_block('built-in/Outport',[sys,/,',OPN/out'1'])
set_param([sys,/,',OPN/out'1'],...
'Port','1',...
'position',[205,95,225,115])

add_block('built-in/Sum',[sys,/,',OPN/Sum6'])
set_param([sys,/,',OPN/Sum6'],...
'inputs','+',...
'position',[90,87,110,123])

add_block('built-in/Constant',[sys,/,',OPN/bias'])
set_param([sys,/,',OPN/bias'],...
'orientation',1,...
'Value','60',...
'position',[45,50,65,70])

add_block('built-in/Saturation',[sys,/,',OPN/Saturation2'])
set_param([sys,/,',OPN/Saturation2'],...
'Upper Limit','9999',...
'Lower Limit','0',...
'position',[150,95,175,115])
add_line([sys,/,',OPN'],[55,135;55,115;85,115])
add_line([sys,/,',OPN'],[45,105;85,105])
add_line([sys,/,',OPN'],[180,105;200,105])
add_line([sys,/,',OPN'],[115,105;145,105])
add_line([sys,/,',OPN'],[55,75;55,95;85,95])

% Finished composite block 'OPN'.
set_param([sys,/,',OPN'],...
'orientation',3,...
'position',[295,160,315,185])

% Subsystem ['Pulse',13,'Generator'].
new_system([sys,/,',Pulse',13,'Generator'])
set_param([sys,/,',Pulse',13,'Generator'],'Location',[139,185,615,438])

add_block('built-in/Fcn',[sys,/,',Pulse',13,'Generator/B'1'])
set_param([sys,/,',Pulse',13,'Generator/B'1'],...
'Expr','bm*(1-exp(-(u+co)/bk))*(u>(-1*co))',...
'position',[150,50,190,70])

add_block('built-in/Fcn',[sys,/,',Pulse',13,'Generator/B'r'])
set_param([sys,/,',Pulse',13,'Generator/B'r'],...
'Expr','bm*(1-exp((u-co)/bk))*(u<co)',...
'position',[150,180,190,200])

add_block('built-in/Saturation',[sys,/,',Pulse',13,'Generator/Saturation1'])
set_param([sys,/,',Pulse',13,'Generator/Saturation1'],...
'Upper Limit','9999',...
'Lower Limit','0',...
'position',[295,175,320,195])

add_block('built-in/Saturation',[sys,/,',Pulse',13,'Generator/Saturation'])
set_param([sys,/,',Pulse',13,'Generator/Saturation'],...
'Upper Limit','9999',...
'Lower Limit','0',...
'position',[295,55,320,75])

add_block('built-in/Sum',[sys,/,',Pulse',13,'Generator/Sum4'])
set_param([sys,/,',Pulse',13,'Generator/Sum4'],...
'inputs','+',...
'position',[360,110,380,130])

add_block('built-in/Sum',[sys,/,',Pulse',13,'Generator/Sum3'])
set_param([sys,/,',Pulse',13,'Generator/Sum3'],...
'inputs','+',...
'position',[235,175,255,195])

add_block('built-in/Sum',[sys,/,',Pulse',13,'Generator/Sum2'])
set_param([sys,/,',Pulse',13,'Generator/Sum2'],...
'inputs','+',...
'position',[235,55,255,75])

add_block('built-in/Sum',[sys,/,',Pulse',13,'Generator/Sum5'])
set_param([sys,/,',Pulse',13,'Generator/Sum5'],...
'orientation',2,...
'inputs','+',...
'position',[285,130,305,150])

add_block('built-in/Gain',[sys,/,',Pulse',13,'Generator/Gain1'])
set_param([sys,/,',Pulse',13,'Generator/Gain1'],...
'orientation',2,...
'Gain','0.15',...
'position',[215,123,255,157])

add_block('built-in/Sum',[sys,/,',Pulse',13,'Generator/Sum7'])
set_param([sys,/,',Pulse',13,'Generator/Sum7'],...
'inputs','+',...
'position',[75,50,95,70])

add_block('built-in/Sum',[sys,/,',Pulse',13,'Generator/Sum8'])
set_param([sys,/,',Pulse',13,'Generator/Sum8'],...
'inputs','+',...
'position',[75,180,95,200])

add_block('built-in/Transport Delay',[sys,/,',Pulse',13,'Generator/Transport Delay1'])
set_param([sys,/,',Pulse',13,'Generator/Transport Delay1'],...
'orientation',2,...
'Delay Time','0',...

```

```

'Initial Input','0',...
'position',[120,125,170,155])

add_block('built-in/Inport',[sys,'/','Pulse',13,'Generator/in'1'])
set_param([sys,'/','Pulse',13,'Generator/in'1'],...
'Port','1',...
'position',[5,115,25,135])

add_block('built-in/Inport',[sys,'/','Pulse',13,'Generator/in'2'])
set_param([sys,'/','Pulse',13,'Generator/in'2'],...
'Port','2',...
'position',[40,115,60,135])

add_block('built-in/Outport',[sys,'/','Pulse',13,'Generator/out'1'])
set_param([sys,'/','Pulse',13,'Generator/out'1'],...
'Port','1',...
'position',[410,110,430,130])

add_block('built-in/Outport',[sys,'/','Pulse',13,'Generator/out'2A'])
set_param([sys,'/','Pulse',13,'Generator/out'2A'],...
'orientation',2,...
'Port','2',...
'position',[75,130,95,150])
add_line([sys,'/','Pulse',13,'Generator'],[100,60;145,60])
add_line([sys,'/','Pulse',13,'Generator'],[195,60;230,180])
add_line([sys,'/','Pulse',13,'Generator'],[195,60;230,60])
add_line([sys,'/','Pulse',13,'Generator'],[325,65;325,135;310,135])
add_line([sys,'/','Pulse',13,'Generator'],[325,185;325,145;310,145])
add_line([sys,'/','Pulse',13,'Generator'],[325,185;345,185;345,125;355,125])
add_line([sys,'/','Pulse',13,'Generator'],[325,65;345,65;345,115;355,115])
add_line([sys,'/','Pulse',13,'Generator'],[195,190;230,190])
add_line([sys,'/','Pulse',13,'Generator'],[260,65;290,65])
add_line([sys,'/','Pulse',13,'Generator'],[260,185;290,185])
add_line([sys,'/','Pulse',13,'Generator'],[280,140;260,140])
add_line([sys,'/','Pulse',13,'Generator'],[100,190;145,190])
add_line([sys,'/','Pulse',13,'Generator'],[195,190;215,70;230,70])
add_line([sys,'/','Pulse',13,'Generator'],[210,140;175,140])
add_line([sys,'/','Pulse',13,'Generator'],[30,125;30,55;70,55])
add_line([sys,'/','Pulse',13,'Generator'],[65,125;70,65])
add_line([sys,'/','Pulse',13,'Generator'],[385,120;405,120])
add_line([sys,'/','Pulse',13,'Generator'],[115,140;100,140])
add_line([sys,'/','Pulse',13,'Generator'],[65,125;70,185])
add_line([sys,'/','Pulse',13,'Generator'],[30,125;30,195;70,195])

% Finished composite block ['Pulse',13,'Generator'].

set_param([sys,'/','Pulse',13,'Generator'],...
'position',[320,91,345,129])

add_block('built-in/Transport Delay',[sys,'/','Transport Delay'])
set_param([sys,'/','Transport Delay'],...
'Delay Time','D',...
'Initial Input','0',...
'position',[180,90,225,120])
add_line([sys],[40,105;60,105])
add_line([sys],[50,105;60,105])
add_line([sys],[590,100;605,100])
add_line([sys],[300,100;260,155])
add_line([sys],[260,190;260,205;300,205;300,190])
add_line([sys],[350,120;365,120;365,205;310,205;310,190])
add_line([sys],[300,45;95,45;95,100;105,100])
add_line([sys],[90,110;105,110])
add_line([sys],[230,105;270,105])
add_line([sys],[530,100;530,215;55,215;60,115])
add_line([sys],[300,45;260,45;260,95;270,95])
add_line([sys],[420,65;430,65;430,95;440,95])
add_line([sys],[575,20;605,20])
add_line([sys],[420,65;420,45;360,45])
add_line([sys],[300,100;315,100])
add_line([sys],[530,100;550,100])
add_line([sys],[470,100;490,100])
add_line([sys],[305,155;305,120;315,120])
add_line([sys],[350,100;375,100;375,65;390,65])
add_line([sys],[350,100;375,100;375,135;385,135])
add_line([sys],[430,135;430,105;440,105])
add_line([sys],[135,105;175,105])
add_line([sys],[530,100;530,60;605,60])
add_line([sys],[50,105;50,45])
add_line([sys],[260,190;235,190])
% Return any arguments.
if (margin == nargin)
% Must use feval here to access system in memory
if (margin > 3)
if (flag == 0)
eval(['ret,x0,xstr]=[sys,(t,x,u,flag):'])
else
eval(['ret = ', sys,(t,x,u,flag):'])
end
else
[ret,x0,xstr] = feval(sys);
end
end
end

```

キーワード

サッカード、遅れ時間 (潜時)、眼球運動、計算機シミュレーション、システムモデリング、MATLAB
.....

Summary

A System Modelling of Human Saccadic Eye Movement

Yutaka SEKIKAWA¹⁾, Yoshihide SUZUKI²⁾, Fumio OKUYAMA³⁾

and Kazuo YANA⁴⁾

^{1),2),4)}Faculty of Engineering, Hosei University †

³⁾Faculty of Medical, Tokyo Medical and Dental University ‡

A simulation system of the saccadic eye movement using MATLAB has been described. Robinson's model and Gisbergen's model are combined to describe the whole system. Parameter optimization of both eye movement speed change and saccade delay distribution have been built in the system. The system can be utilized for detecting abnormality of the eye movement e.g. of psychiatric patients.

Key Word

saccade, latency, eye movement, system modelling, MATLAB

†3-7-2, Kajino-cho, Koganei-shi, Tokyo 184, Japan

‡1-5-45, Yushima, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan