(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第4899217号
(P4899217)
(45)発行日　平成24年3月21日(2012.3.21)　(24)登録日　平成24年1月13日(2012.1.13)

(51)Int.Cl.			F I		
H04N	5/232	(2006.01)	H04N	5/232	Z
B25J	19/04	(2006.01)	B25J	19/04	
H04N	5/225	(2006.01)	H04N	5/225	C

請求項の数 9　(全 15 頁)

(21)出願番号　特願2007-154612 (P2007-154612)
(22)出願日　平成19年6月12日 (2007.6.12)
(65)公開番号　特開2008-311690 (P2008-311690A)
(43)公開日　平成20年12月25日 (2008.12.25)
審査請求日　平成22年5月24日 (2010.5.24)

(73)特許権者　304021417
国立大学法人東京工業大学
東京都目黒区大岡山２丁目１２番１号
(74)代理人　100124257
弁理士　生井　和平
(72)発明者　張　暁林
神奈川県横浜市緑区長津田町４２５９　国立大学法人東京工業大学内
(72)発明者　小田川　司
神奈川県横浜市緑区長津田町４２５９　国立大学法人東京工業大学内

審査官　榎　一

最終頁に続く

(54)【発明の名称】前庭動眼反射の原理を用いる眼球運動制御装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
運動物体に設けられる眼球装置の画像のぶれを防止するための眼球運動制御装置であって、該眼球運動制御装置は、
眼球装置として用いられる撮像手段と、
前記撮像手段により撮像される画像に視標が含まれるように、視標に追従して前記撮像手段を回転運動させる眼球駆動手段と、
前記撮像手段から視標までの距離に関係する情報を取得する距離情報取得手段と、
前記眼球駆動手段による前記撮像手段の回転運動とは独立した、運動物体の並進運動による変動を計測する並進運動センサと、
前記並進運動センサにより計測される並進運動による変動をキャンセルして視標の撮像位置が固定されるように、取得される視標までの距離情報と並進運動による変動とを用いて前記眼球駆動手段による前記撮像手段の回転運動により並進運動を補正する補正手段と、
を具備することを特徴とする眼球運動制御装置。
【請求項２】
請求項１に記載の眼球運動制御装置において、
前記眼球駆動手段は、少なくともロール回転を含む１自由度以上の自由度で撮像手段を回転運動させ、
前記並進運動センサは、前記撮像手段のピッチ回転軸方向（ｙ軸方向）の変動を計測し

、
前記補正手段は、計測されるｙ軸方向の変動を用いて前記眼球駆動手段によるロール回転の回転運動を補正する、
ことを特徴とする眼球運動制御装置。
【請求項３】
請求項１又は請求項２に記載の眼球運動制御装置において、
前記眼球駆動手段は、少なくともピッチ回転を含む１自由度以上の自由度で撮像手段を回転運動させ、
前記並進運動センサは、前記撮像手段のロール回転軸方向（ｚ軸方向）の変動を計測し、
前記補正手段は、計測されるｚ軸方向の変動を用いて前記眼球駆動手段によるピッチ回転の回転運動を補正する、
ことを特徴とする眼球運動制御装置。
【請求項４】
請求項３に記載の眼球運動制御装置において、
前記並進運動センサは、前記ｙ軸方向及びｚ軸方向に垂直な方向（ｘ軸方向）の変動を計測し、
前記補正手段は、ｘ軸方向の変動を用いて前記眼球駆動手段によるロール回転及びピッチ回転の回転運動を補正する、
ことを特徴とする眼球運動制御装置。
【請求項５】
請求項１乃至請求項４の何れかに記載の眼球運動制御装置において、
前記撮像手段は、一対の撮像装置からなり、
前記眼球駆動手段は、前記一対の撮像装置により撮像されるそれぞれの画像の所定位置に視標が含まれるように、前記一対の撮像装置のそれぞれを回転運動させ、
前記距離情報取得手段は、前記一対の撮像装置の回転角をそれぞれ計測する回転角計測手段からなり、前記一対の撮像装置間の距離とそれぞれの回転角を用いる、
ことを特徴とする眼球運動制御装置。
【請求項６】
請求項１乃至請求項５の何れかに記載の眼球運動制御装置において、前記並進運動センサは、一対の３軸加速度センサを含むことを特徴とする眼球運動制御装置。
【請求項７】
請求項６に記載の眼球運動制御装置において、
前記並進運動センサは、一対の３軸加速度センサの差分信号を用いて運動物体の回転運動による変動を計測し、
前記補正手段は、前記並進運動センサにより計測される回転運動による変動をキャンセルして視標の撮像位置が固定されるように、回転運動による変動を用いて前記眼球駆動手段を制御する、
ことを特徴とする眼球運動制御装置。
【請求項８】
請求項１乃至請求項６の何れかに記載の眼球運動制御装置であって、さらに、運動物体の回転運動による変動を計測するジャイロスコープを含み、
前記補正手段は、前記ジャイロスコープにより計測される回転運動による変動をキャンセルして視標の撮像位置が固定されるように、回転運動による変動を用いて前記眼球駆動手段を制御する、
ことを特徴とする眼球運動制御装置。
【請求項９】
請求項１乃至請求項８の何れかに記載の眼球運動制御装置であって、さらに、前記撮像手段により撮像される画像を用いて、動く視標の動きに前記撮像手段が追従するように前記眼球駆動手段を制御する視覚フィードバック手段を具備することを特徴とする眼球運動

制御装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は運動物体に設けられる眼球装置の画像のぶれを防止するための眼球運動制御装置に関し、特に、前庭動眼反射の原理を用いて画像のぶれを防止する眼球運動制御装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
運動物体、例えば自律型ロボット等に眼球装置として撮像装置が設けられるものが種々存在する。これらには、生物の眼球運動神経システムを模擬した高精度な眼球運動システムも存在する。これらの装置の問題点としては、眼球装置により撮像される画像のぶれが挙げられる。運動物体が移動すると例えば運動物体自体が上下左右に振動する。このため、運動物体に固定された眼球装置も上下左右に振動する。これが主なぶれの原因である。
【０００３】
画像のぶれの防止方法としては主に２通りあり、１つは画像処理によりぶれを除去するものである。これは、ぶれた画像に対してフレームごとに視標が同じ位置となるように画像を移動させて、連続したぶれのない画像に作り直す視覚フィードバック手法である。他方は運動物体の回転運動や並進運動をジャイロスコープや加速度センサ等で測定し、運動物体の移動をキャンセルするように眼球装置を制御することによりぶれを補償するものである（特許文献１）。
【０００４】
【特許文献１】特表２００６－５０２６７５号公報
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
しかしながら、並進運動が画像に与える影響は視標までの距離に影響されるが、視標までの距離を考慮して並進運動の情報を直接利用して画像ぶれを防止する装置は存在していなかった。このため、従来の眼球装置では、確実に画像のぶれを防止できなかった。
【０００６】
並進運動に対して前庭動眼反射の原理を用いて、並進運動の情報を基に眼球運動を制御できれば、視覚フィードバックに比べても非常に高速に画像のぶれを防止できるようになるため、このような装置の開発が望まれていた。
【０００７】
本発明は、斯かる実情に鑑み、前庭動眼反射の原理を用いて画像のぶれを防止するための眼球運動制御装置を提供しようとするものである。
【課題を解決するための手段】
【０００８】
上述した本発明の目的を達成するために、本発明による眼球運動制御装置は、眼球装置として用いられる撮像手段と、撮像手段により撮像される画像に視標が含まれるように、撮像手段を回転運動させる眼球駆動手段と、撮像手段から視標までの距離に関係する情報を取得する距離情報取得手段と、運動物体の並進運動による変動を計測する並進運動センサと、並進運動センサにより計測される並進運動による変動をキャンセルして視標の撮像位置が固定されるように、取得される視標までの距離情報と並進運動による変動とを用いて眼球駆動手段による回転運動により並進運動を補正する補正手段と、を具備するものである。
【０００９】
ここで、眼球駆動手段は、少なくともロール回転を含む１自由度以上の自由度で撮像手段を回転運動させ、並進運動センサは、撮像手段のピッチ回転軸方向（ｙ軸方向）の変動を計測し、補正手段は、計測されるｙ軸方向の変動を用いて眼球駆動手段によるロール回

転の回転運動を補正するものであれば良い。
【００１０】
また、眼球駆動手段は、少なくともピッチ回転を含む１自由度以上の自由度で撮像手段を回転運動させ、並進運動センサは、撮像手段のロール回転軸方向（ｚ軸方向）の変動を計測し、補正手段は、計測されるｚ軸方向の変動を用いて眼球駆動手段によるピッチ回転の回転運動を補正するものであっても良い。
【００１１】
また、並進運動センサは、ｙ軸方向及びｚ軸方向に垂直な方向（ｘ軸方向）の変動を計測し、補正手段は、ｘ軸方向の変動を用いて眼球駆動手段によるロール回転及びピッチ回転の回転運動を補正するものであっても良い。
【００１２】
さらに、撮像手段は、一対の撮像装置からなり、眼球駆動手段は、一対の撮像装置により撮像されるそれぞれの画像の所定位置に視標が含まれるように、一対の撮像装置のそれぞれを回転運動させ、距離情報取得手段は、一対の撮像装置の回転角をそれぞれ計測する回転角計測手段からなり、一対の撮像装置間の距離とそれぞれの回転角を用いても良い。
【００１３】
また、並進運動センサは、一対の３軸加速度センサを含むものであっても良い。
【００１４】
さらに、並進運動センサは、一対の３軸加速度センサの差分信号を用いて運動物体の回転運動による変動を計測し、補正手段は、並進運動センサにより計測される回転運動による変動をキャンセルして視標の撮像位置が固定されるように、回転運動による変動を用いて眼球駆動手段を制御するものであっても良い。
【００１５】
またさらに、運動物体の回転運動による変動を計測するジャイロスコープを含み、補正手段は、ジャイロスコープにより計測される回転運動による変動をキャンセルして視標の撮像位置が固定されるように、回転運動による変動を用いて眼球駆動手段を制御するものであっても良い。
【００１６】
さらに、撮像手段により撮像される画像を用いて、動く視標の動きに撮像手段が追従するように眼球駆動手段を制御する視覚フィードバック手段を具備するものであっても良い。
【発明の効果】
【００１７】
本発明の前庭動眼反射の原理を用いる眼球運動制御装置には、高速に画像のぶれを防止できるという利点がある。また、眼球運動の生理学・解剖学的な見地から、眼球運動の補正を必要により簡略化することで、単純なアナログ回路等により安価に補正部を構成可能であるという利点もある。
【発明を実施するための最良の形態】
【００１８】
以下、本発明を実施するための最良の形態を図示例と共に説明する。図１は、本発明の眼球運動制御装置の構成を説明するための概略ブロック図である。図示の通り、本発明の眼球運動制御装置は、運動物体１０に設けられる眼球装置２０と、眼球駆動部３０と、測距部４０と並進運動センサ５０と補正部６０とから主に構成されるものである。なお、図示例ではこれらの構成要素すべてが運動物体１０内に設けられているが、本発明はこれに限定されず、補正部６０等は、必ずしも運動物体１０内に設けられる必要はなく、外部接続により構成されるものであっても勿論構わない。
【００１９】
運動物体１０は、車両や人間型ロボット等、移動可能な種々の物体を含むものである。また、眼球装置２０は、撮像装置から主に構成されるものであり、視標１を撮像し画像を出力可能なものである。より具体的にはデジタルビデオカメラ等のように、例えばＣＣＤ

やＣＭＯＳセンサからなる撮像素子を有し、センサで受けた光を電気信号に変換し、画像を得るものである。なお、本発明の眼球運動制御装置では、眼球装置２０は単眼でも２眼でもどちらの方式においても適用可能である。また、さらに多くの撮像装置を設けても勿論構わない。

【００２０】

眼球駆動部３０は、眼球装置２０により撮像される画像に視標１が含まれるように、眼球装置２０を駆動させるものである。より具体的には、眼球駆動部３０は、複数のモータ等を組み合わせたアクチュエータ等からなり、ロール回転やピッチ回転、ヨー回転等、３自由度で眼球装置２０を任意に回転運動させることが可能なものである。なお、回転運動は、具体的には眼球装置２０の撮像面の中心を中心に回転させるのが計算上最も都合が良い。このような眼球駆動部３０を用いて、例えば眼球装置２０により撮像される画像の中心に視標１が位置するように、視覚フィードバック等を用いて制御するものである。

【００２１】

視標１が移動しない場合には、撮像される画像の中心に視標１が撮像されるように、一旦眼球装置２０を駆動させれば、運動物体１０が動かない限りこの状態が保たれ画像は安定する。しかしながら、眼球装置２０は、移動する物体である運動物体１０へ設けられることが前提となっているため、移動した場合の画像のぶれが問題となり得る。そこで、この移動、特に並進運動による移動を考慮して、眼球駆動部３０の運動を補正するのが本願発明の主な目的である。

【００２２】

上述の目的を達成するために、本発明の眼球運動制御装置には、測距部４０と並進運動センサ５０と補正部６０とが設けられている。測距部４０は、眼球装置２０の撮像面から視標１までの距離を計測するものである。これは、具体的にはレーザセンサや超音波センサ等を利用可能である。また、後述するように、眼球装置２０が２眼である場合には、各眼球装置の回転角から三角測量の原理で距離を測定するものであっても良い。さらに、測距部４０は、最終的に距離を計測しなくても、視標までの距離に関係する情報を取得するものであれば、眼球装置の回転角の情報を取得するものも含まれるものである。

【００２３】

また、並進運動センサ５０は、運動物体１０の並進運動による変動を計測するものである。並進運動による変動を計測することで、並進運動に対する前庭動眼反射の原理を用いることが可能となる。並進運動センサ５０は、具体的には例えば加速度センサからなるものである。加速度センサにはＭＥＭＳセンサや動電式センサ、歪みゲージ式センサ、圧電式センサ等、種々の方式のものがあるが、何れを用いても良い。なお、本明細書中において、運動物体の並進運動による変動とは加速度や速度、移動距離を含むものである。すなわち、加速度が測定できれば、時間で１回積分することで速度が求まり、さらにもう１回積分することで距離が求まるからである。したがって、並進運動センサ５０は、加速度センサ以外に速度センサや移動距離センサであっても良い。また、並進運動センサ５０は、３軸加速度センサを用いるのが好ましいが、後述のように、１軸のみの加速度を測定して簡略することも可能である。そして、並進運動センサ５０は、眼球駆動部の補正を行うのに用いられるため、眼球に近い位置の並進運動を計測できることが好ましい。

【００２４】

また、補正部６０は、並進運動センサ５０により計測される並進運動による変動をキャンセルして視標１の画像の位置が固定されるように、視標１までの距離と並進運動による変動とを用いて眼球駆動部３０による回転運動により並進運動を補正するものである。

【００２５】

さて、以下、図２を用いて、視標までの距離と並進運動による変動を用いた回転運動の補正を行う補正部について、より詳細に説明する。図２は、本発明の眼球運動制御装置の各パラメータを定義する座標を説明するための図である。なお、図２の例は、２眼式の眼球装置を用いた場合であり、各眼球装置の回転角から視標までの距離を測定するものである。しかしながら、本発明はこれに限定されず、上述のように単眼で別途距離計を用いた

ものであっても良い。

【００２６】

なお、本明細書中では、眼球装置２０の基準位置におけるピッチ回転軸方向をｙ軸方向とし、ロール回転軸方向をｚ軸方向とし、ｙ軸方向及びｚ軸方向に垂直な方向、すなわちヨー回転軸方向をｘ軸方向とする。

【００２７】

眼球駆動部３０は、それぞれの眼球装置２０$_l$、２０$_r$により撮像される画像の同じ位置に視標１が含まれるように、それぞれの眼球装置２０$_l$、２０$_r$を回転運動させる。このときの眼球装置のそれぞれの回転角から、視標までの距離が計測できる。すなわち、各回転角と眼球装置間の距離との関係には、図２の関係から、正弦定理により以下の関係式が成り立つ。

【数１】

$$\frac{l_r\cos\theta_{oe-r}}{\sin\left(\varphi_{oe-l}+\frac{\pi}{2}\right)}=\frac{l_l\cos\theta_{oe-l}}{\sin\left(\frac{\pi}{2}-\varphi_{oe-r}\right)}=\frac{L}{\sin\left(\varphi_{oe-r}-\varphi_{oe-l}\right)}$$

この関係式から、眼球装置２０$_l$、２０$_r$の各撮像面から視標１までの距離は、それぞれ以下の式で表される。

【数２】

$$\begin{cases} l_l=\dfrac{L\cos\varphi_{oe-l}}{\cos\theta_{oe-r}\sin\left(\varphi_{oe-r}-\varphi_{oe-l}\right)} \\ l_r=\dfrac{L\cos\varphi_{oe-r}}{\cos\theta_{oe-l}\sin\left(\varphi_{oe-r}-\varphi_{oe-l}\right)} \end{cases}$$

【００２８】

ここで、視標１が移動せず固定されているとした場合に、運動物体１０がｘ軸方向に速度ｄｘ／ｄｔで移動する場合、ｙ軸方向に速度ｄｙ／ｄｔで移動する場合、ｚ軸方向に速度ｄｚ／ｄｔで移動する場合に、この変動をキャンセルするためのθ方向（ピッチ回転）、φ方向（ロール回転）の眼球装置の変動分はそれぞれ以下の関係となる。なお、ロール回転とはｚ軸方向を中心とした回転をいい、ピッチ回転とはｙ軸方向を中心とした回転をいう。

・ｘ軸方向に速度ｄｘ／ｄｔで移動する場合

【数３】

$$\varphi\text{方向}\quad\begin{cases} l_l\cos\theta_{oe-l}\dfrac{d\varphi_{oe-l}}{dt}=\dfrac{dx}{dt}\sin\varphi_{oe-l} \\ l_r\cos\theta_{oe-r}\dfrac{d\varphi_{oe-r}}{dt}=\dfrac{dx}{dt}\sin\varphi_{oe-r} \end{cases}$$

$$\theta\text{方向}\quad\begin{cases} l_l\dfrac{d\theta_{oe-l}}{dt}=\dfrac{dx}{dt}\cos\varphi_{oe-l}\sin\theta_{oe-l} \\ l_r\dfrac{d\theta_{oe-r}}{dt}=\dfrac{dx}{dt}\cos\varphi_{oe-r}\sin\theta_{oe-r} \end{cases}$$

・ｙ軸方向に速度ｄｙ／ｄｔで移動する場合

【数４】

$$\varphi\text{方向}\quad\begin{cases} l_l\cos\theta_{oe-l}\dfrac{d\varphi_{oe-l}}{dt}=-\dfrac{dy}{dt}\cos\varphi_{oe-l} \\ l_r\cos\theta_{oe-r}\dfrac{d\varphi_{oe-r}}{dt}=-\dfrac{dy}{dt}\cos\varphi_{oe-r} \end{cases}$$

$$\theta\text{方向}\quad \begin{cases} l_l \dfrac{d\theta_{oe-l}}{dt} = \dfrac{dy}{dt}\sin\varphi_{oe-l}\sin\theta_{oe-l} \\ l_r \dfrac{d\theta_{oe-r}}{dt} = \dfrac{dy}{dt}\sin\varphi_{oe-r}\sin\theta_{oe-r} \end{cases}$$

・ｚ軸方向に速度ｄｚ／ｄｔで移動する場合

【数５】

$$\varphi\text{方向}\quad \begin{cases} \dfrac{d\varphi_{oe-l}}{dt} = 0 \\ \dfrac{d\varphi_{oe-r}}{dt} = 0 \end{cases}$$

$$\theta\text{方向}\quad \begin{cases} l_l \dfrac{d\theta_{oe-l}}{dt} = \dfrac{dz}{dt}\cos\theta_{oe-l} \\ l_r \dfrac{d\theta_{oe-r}}{dt} = \dfrac{dz}{dt}\cos\theta_{oe-r} \end{cases}$$

したがって、数３～数５の関係式から、運動物体の並進運動による眼球駆動部による回転運動のθ方向（ピッチ回転）、φ方向（ロール回転）の補正のための変動分はそれぞれ以下の関係式で表される。

【数６】

$$\varphi\text{方向}\quad \begin{cases} \dfrac{d\varphi_{oe-l}}{dt} = \dfrac{dx}{dt}\dfrac{\sin\varphi_{oe-l}}{l_l\cos\theta_{oe-l}} - \dfrac{dy}{dt}\dfrac{\cos\varphi_{oe-l}}{l_l\cos\theta_{oe-l}} \\ \dfrac{d\varphi_{oe-r}}{dt} = \dfrac{dx}{dt}\dfrac{\sin\varphi_{oe-r}}{l_r\cos\theta_{oe-r}} - \dfrac{dy}{dt}\dfrac{\cos\varphi_{oe-r}}{l_r\cos\theta_{oe-r}} \end{cases}$$

$$\theta\text{方向}\quad \begin{cases} \dfrac{d\theta_{oe-l}}{dt} = \dfrac{dx}{dt}\dfrac{\cos\varphi_{oe-l}\sin\theta_{oe-l}}{l_l} + \dfrac{dy}{dt}\dfrac{\sin\varphi_{oe-l}\sin\theta_{oe-l}}{l_l} + \dfrac{dz}{dt}\dfrac{\cos\theta_{oe-l}}{l_l} \\ \dfrac{d\theta_{oe-r}}{dt} = \dfrac{dx}{dt}\dfrac{\cos\varphi_{oe-r}\sin\theta_{oe-r}}{l_r} + \dfrac{dy}{dt}\dfrac{\sin\varphi_{oe-r}\sin\theta_{oe-r}}{l_r} + \dfrac{dz}{dt}\dfrac{\cos\theta_{oe-r}}{l_r} \end{cases}$$

【００２９】

上記の関係式を用いれば、並進運動による変動をキャンセルするように回転運動を補正することが可能となる。すなわち、補正部は、眼球駆動部に対して、水平方向の眼球運動制御系に数６のφ方向の補正式を与えてやり、垂直方向の眼球運動制御系に数６のθ方向の補正式を与えてやれば良い。

【００３０】

より具体的に、例えば本願の発明者の１人による特表２００６－５０２６７５号公報に開示の視線運動制御システムに本発明の眼球運動制御装置を適用した場合について、図３及び図４を用いて説明する。図３は本発明の眼球運動制御装置を適用した視線運動制御システムの水平方向（ロール回転）の運動制御ブロック図であり、図４は垂直方向（ピッチ回転）の運動制御ブロック図である。

【００３１】

図３に示されるように、ロール回転（φ方向）の制御については、左右のロールエンコーダから現在の眼球装置のロール角度を、左右のピッチエンコーダから現在の眼球装置のピッチ角度を、左右のφ方向の補正式にそれぞれ入力する。なお、エンコーダは眼球装置の回転角を計測するものである。さらに、ｘ軸方向及びｙ軸方向への並進加速度を左右のφ方向の補正式にそれぞれ入力する。そして、これらの補正式の出力を２眼の眼球駆動部Ｖ$_{l}$、Ｖ$_{r}$の制御パラメータｋ$_{x}$、ｋ$_{xr}$として入力することで、並進運動による変動をキャンセルできるため、画像のぶれを防止することが可能となる。

【００３２】
また、図４に示されるように、ピッチ回転（θ方向）の制御については、左右のピッチエンコーダから現在の眼球装置のピッチ角度を、左右のロールエンコーダから現在の眼球装置のロール角度を、左右のθ方向の補正式にそれぞれ入力する。さらに、ｘ軸方向、ｙ軸方向及びｚ軸方向への並進加速度を左右のθ方向の補正式にそれぞれ入力する。そして、これらの補正式の出力を２眼の眼球駆動部に入力することで、並進運動による変動をキャンセルできるため、画像のぶれを防止することが可能となる。
【００３３】
このように、本発明の眼球運動制御装置では、２眼式の場合にはその回転角を用いることで視標までの距離が分かるため、これを利用して視標までの距離と並進運動による変動（並進加速度）とを用いて、回転運動を補正することが可能となる。
【００３４】
なお、視線運動制御システム自体のより詳細な説明は、特表２００６－５０２６７５号公報に記載されているため省略する。また、具体的な視線運動制御システムについては図示例のものには限定されず、上述のように視線までの距離と並進運動による変動に関する情報を用いて眼球装置の回転運動の制御が可能なものであれば、如何なる視線運動制御システムに対しても本発明は適用可能である。
【００３５】
次に、上述の補正部を簡略化したものについて説明する。上述の数６の補正式は、ｘ軸、ｙ軸、ｚ軸すべての方向に対する並進運動による変動を考慮して補正するものであるが、以下のような条件下では、補正式を簡略化することが可能となる。
【００３６】
眼球装置が視標を注視している状態では、運動物体は視標を略正面で捕らえていると考えられる。より具体的には、運動物体の例えば頭部に当たるところに配置された眼球装置により視標を捕らえようとした場合、まず眼球装置を先に視標の方向へ向け、その後、頭部を視標に向けて回転させる。そして、視標を注視した状態となったときには、頭部は視標に向いており略正面で視標を捕らえていることになる。一般的に眼球装置が撮像する画像のぶれが問題となるのは、視標を捕らえる最中の段階ではなく、視標に対して頭部を向け、視標を注視した安定状態となった段階である。したがって、このように運動物体の略正面で視標を注視している状態では、以下の条件が成り立つ。
【数７】

$$\begin{cases} |\sin\varphi_{oe-l}| \ll |\cos\varphi_{oe-l}| \\ |\sin\varphi_{oe-r}| \ll |\cos\varphi_{oe-r}| \end{cases},$$

$$\begin{cases} |\sin\varphi_{oe-l}\sin\theta_{oe-l}| \ll |\cos\varphi_{oe-l}\sin\theta_{oe-l}| \ll \cos\theta_{oe-l} \\ |\sin\varphi_{oe-r}\sin\theta_{oe-r}| \ll |\cos\varphi_{oe-r}\sin\theta_{oe-r}| \ll \cos\theta_{oe-r} \end{cases}$$

【００３７】
また、視標が十分に遠くに位置しているとした場合、すなわち、l_l，$l_r \gg L$であるとすると、左右の眼球装置の回転角は以下のように近似することができる。
【数８】

$$\varphi_{oe-l} \approx \varphi_{oe-r},\quad \theta_{oe-l} \approx \theta_{oe-r}$$

したがって、数７及び数８を用いて数６の補正式を近似すると、以下のようになる。
【数９】

$$\varphi\text{方向}\quad \begin{cases} \dfrac{d\varphi_{oe-l}}{dt} \approx -\dfrac{dy}{dt}\dfrac{\cos\varphi_{oe-l}}{l_l\cos\theta_{oe-l}} = -\dfrac{dy}{dt}\dfrac{\cos\theta_{oe-r}\sin(\varphi_{oe-r}-\varphi_{oe-l})}{L\cos\theta_{oe-l}} \approx -\dfrac{dy}{dt}\dfrac{\varphi_{oe-r}-\varphi_{oe-l}}{L} \\ \dfrac{d\varphi_{oe-r}}{dt} \approx -\dfrac{dy}{dt}\dfrac{\cos\varphi_{oe-r}}{l_r\cos\theta_{oe-r}} = -\dfrac{dy}{dt}\dfrac{\cos\theta_{oe-l}\sin(\varphi_{oe-r}-\varphi_{oe-l})}{L\cos\theta_{oe-r}} \approx -\dfrac{dy}{dt}\dfrac{\varphi_{oe-r}-\varphi_{oe-l}}{L} \end{cases}$$

$$\theta\text{方向}\quad\begin{cases}\dfrac{d\theta_{oe-l}}{dt}\approx\dfrac{dz}{dt}\dfrac{\cos\theta_{oe-l}}{l_l}=\dfrac{dz}{dt}\dfrac{\cos\theta_{oe-l}\cos\theta_{oe-r}\sin\left(\varphi_{oe-l}-\varphi_{oe-r}\right)}{L\cos\varphi_{oe-l}}\approx\dfrac{dz}{dt}\dfrac{\varphi_{oe-r}-\varphi_{oe-l}}{L}\\ \dfrac{d\theta_{oe-r}}{dt}\approx\dfrac{dz}{dt}\dfrac{\cos\theta_{oe-r}}{l_r}=\dfrac{dz}{dt}\dfrac{\cos\theta_{oe-l}\cos\theta_{oe-r}\sin\left(\varphi_{oe-l}-\varphi_{oe-r}\right)}{L\cos\varphi_{oe-r}}\approx\dfrac{dz}{dt}\dfrac{\varphi_{oe-r}-\varphi_{oe-l}}{L}\end{cases}$$

【００３８】

上記をまとめると、十分遠くにある視標を運動物体の正面で捉えた場合という条件下では、運動物体の並進運動による眼球駆動部による回転運動のθ方向（ピッチ回転）、φ方向（ロール回転）の変動分は以下の関係式で表される。

【数１０】

$$\varphi\text{方向}\quad\begin{cases}\dfrac{d\varphi_{oe-l}}{dt}\approx-\dfrac{dy}{dt}\dfrac{\varphi_{oe-r}-\varphi_{oe-l}}{L}\\ \dfrac{d\varphi_{oe-r}}{dt}\approx-\dfrac{dy}{dt}\dfrac{\varphi_{oe-r}-\varphi_{oe-l}}{L}\end{cases}$$

$$\theta\text{方向}\quad\begin{cases}\dfrac{d\theta_{oe-l}}{dt}\approx\dfrac{dz}{dt}\dfrac{\varphi_{oe-r}-\varphi_{oe-l}}{L}\\ \dfrac{d\theta_{oe-r}}{dt}\approx\dfrac{dz}{dt}\dfrac{\varphi_{oe-r}-\varphi_{oe-l}}{L}\end{cases}$$

【００３９】

上記の簡略化した関係式を用いても、数６による補正式と同様に、並進運動による変動をキャンセルするように回転運動を補正することが可能となる。すなわち、補正部は、眼球駆動部に対して、水平方向の眼球運動制御系に数１０のφ方向の補正式を与えてやり、垂直方向の眼球運動制御系に数６のθ方向の補正式を与えてやれば良い。

【００４０】

また、数１０から分かる通り、眼球装置のロール角度（φ$_{oe}$）のみを測定するだけで良く、φ方向の補正については、ロール角と並進運動センサにおいてｙ軸方向の変動（ｄｙ／ｄｔ）のみを計測したデータを用いれば良いため、１軸加速度センサで足りる。また、θ方向の補正については、並進運動センサにおいてｚ軸方向の変動（ｄｚ／ｄｔ）のみを計測したデータを用いれば良いため、１軸加速度センサで足りる。

【００４１】

したがって、例えば水平方向（ｘｙ平面上）にのみ移動可能な運動物体の場合では、眼球駆動部によるロール方向の回転運動を補正するだけで足りるため、並進運動センサはｙ軸方向の変動のみを計測すれば良い。また、垂直方向（ｘｚ平面上）にのみ移動可能な運動物体の場合では、眼球駆動部によるピッチ方向の回転運動を補正するだけで足りるため、並進運動センサはｚ軸方向の変動のみを計測すれば良い。そして、ロール方向及びピッチ方向の両方の回転運動を補正するなら、並進運動センサはｙ軸方向及びｚ軸方向の変動を測定すれば良いことになる。

【００４２】

図３及び図４と同じように、特表２００６－５０２６７５号公報に開示の視線運動制御システムに本発明の簡略化した眼球運動制御装置を適用した場合について、図５及び図６を用いて説明する。図５は本発明の簡略化した眼球運動制御装置を適用した視線運動制御システムの水平方向（ロール回転）の運動制御ブロック図であり、図６は垂直方向（ピッチ回転）の運動制御ブロック図である。

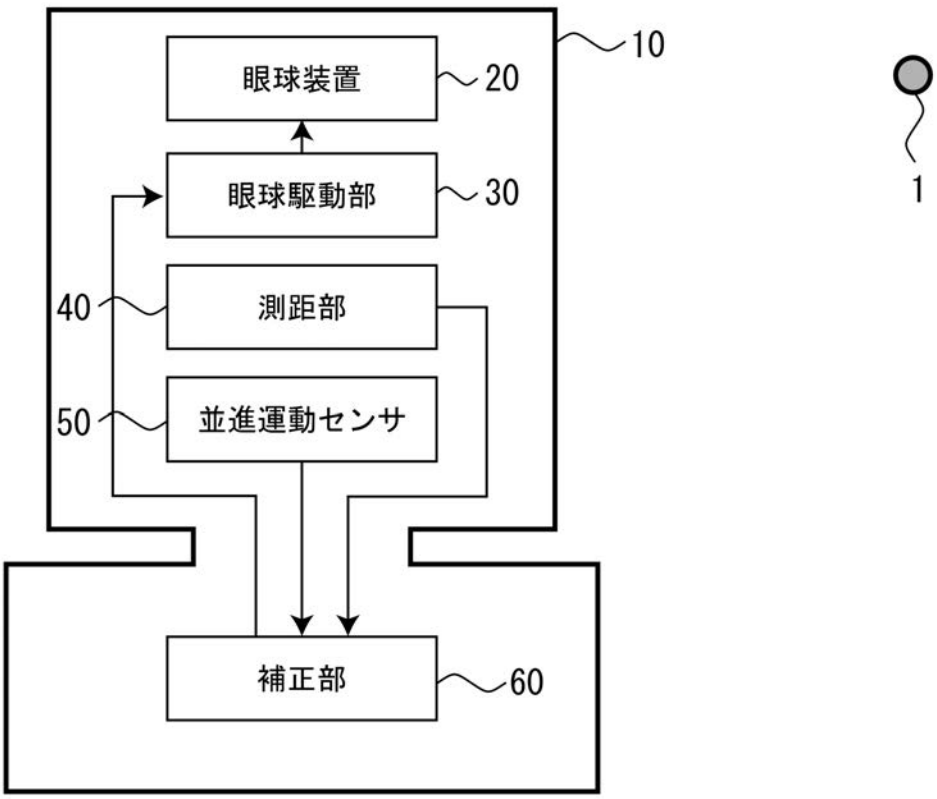
【００４３】

図５に示されるように、ロール回転（φ方向）の制御については、左右のロールエンコーダにより現在の眼球装置のロール角度の差を取り、これとｙ方向への並進加速度とを乗算したものを眼球駆動部に入力することで、並進運動による変動をキャンセルできるため、画像のぶれを防止することが可能となる。

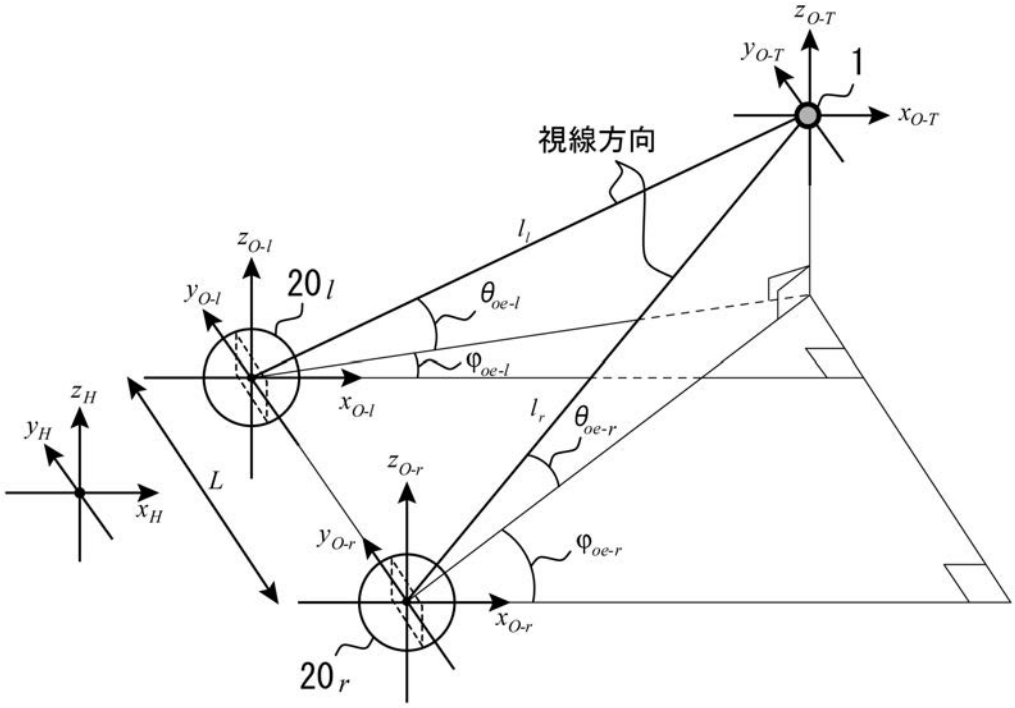
【００４４】
また、図６に示されるように、ピッチ回転（θ方向）の制御については、左右のロールエンコーダにより現在の眼球装置のロール角度の差を取り、これとｚ方向への並進加速度とを乗算したものを眼球駆動部に入力することで、並進運動による変動をキャンセルできるため、画像のぶれを防止することが可能となる。
【００４５】
このように、簡略化した眼球運動制御装置では、補正部は加算器と乗算器だけで足りるため、簡単なアナログ回路で構築することが可能となる。したがって、反応速度も速いだけでなく、安価に製造することも可能となる。
【００４６】
以上説明したように、本発明の眼球運動制御装置は、ｘ軸方向、ｙ軸方向、ｚ軸方向のすべての並進運動による変動を計測し、ロール回転とピッチ回転の回転運動を補正するようにしても良いし、簡易的にはｙ軸方向とｚ軸方向の並進運動による変動を計測し、ロール回転とピッチ回転の回転運動を補正するようにしても良い。さらに、運動物体が水平方向又は垂直方向にのみしか移動しない場合には、ｙ軸方向のみ又はｚ軸方向のみの並進運動による変動を計測し、ロール回転のみ又はピッチ回転のみの回転運動を補正するようにしても良い。
【００４７】
なお、並進運動センサ５０として一対の３軸加速度センサを用いた場合、距離を置いてこれらを運動物体１０に配置すれば、運動物体の回転運動を計測することも可能となる。すなわち、一対の３軸加速度センサのそれぞれからの信号の差分信号を用いれば運動物体の回転角が分かる。したがって、補正部６０は、この運動物体回転角を用いて運動物体の並進運動だけでなく回転運動もキャンセルして視標の撮像位置が固定されるように、眼球駆動部による回転運動を補正することも可能となる。なお、一対の３軸加速度センサの場合、それぞれからの信号の和信号が並進加速度となる。
【００４８】
また、運動物体１０の回転運動を計測するために、別途ジャイロスコープを運動物体１０に配置し、ジャイロスコープを用いて運動物体の回転運動による運動物体回転角を計測するようにしても良い。この場合には、補正部６０は、ジャイロスコープにより計測される運動物体の回転運動による変動をキャンセルして視標の撮像位置が固定されるように、運動物体の回転角を用いて眼球駆動部による回転運動を補正することが可能となる。
【００４９】
なお、これまで説明した例では、視標が固定されているものを前提に説明してきたが、本発明の眼球運動制御装置は、視標が動くものであっても勿論適用可能である。視標が動く場合には、撮像される画像を用いて視覚フィードバックを行えば良い。すなわち、視標１が動く場合、眼球装置２０により撮像される画像を用いて、動く視標の動きに眼球装置２０が追従するように眼球駆動部３０を制御する。これにより、視標の動きに対しては視覚フィードバックにより常に画像の同じ位置にくるように撮像することが可能となり、また同時に、運動物体が並進運動した場合であっても、眼球運動制御装置により画像がぶれないように補正することが可能となる。
【００５０】
なお、本発明の眼球運動制御装置は、上述の図示例にのみ限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々変更を加え得ることは勿論である。
【図面の簡単な説明】
【００５１】
【図１】図１は、本発明の眼球運動制御装置の構成を説明するための概略ブロック図である。
【図２】図２は、本発明の眼球運動制御装置の各パラメータを定義する座標を説明するための図である。
【図３】図３は、本発明の眼球運動制御装置を適用した視線運動制御システムの水平方向

の運動制御ブロック図である。
【図４】図４は、本発明の眼球運動制御装置を適用した視線運動制御システムの垂直方向の運動制御ブロック図である。
【図５】図５は、本発明の簡略化した眼球運動制御装置を適用した視線運動制御システムの水平方向の運動制御ブロック図である。
【図６】図６は、本発明の簡略化した眼球運動制御装置を適用した視線運動制御システムの垂直方向の運動制御ブロック図である。
【符号の説明】
【００５２】
１　　視標
１０　　運動物体
２０　　眼球装置
３０　　眼球駆動部
４０　　測距部
５０　　並進運動センサ
６０　　補正部

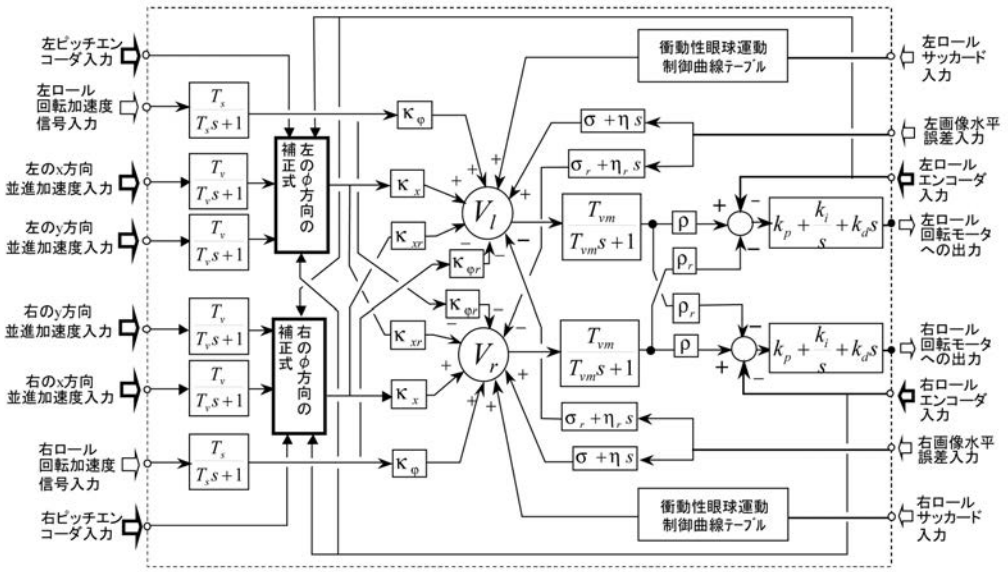
【図１】



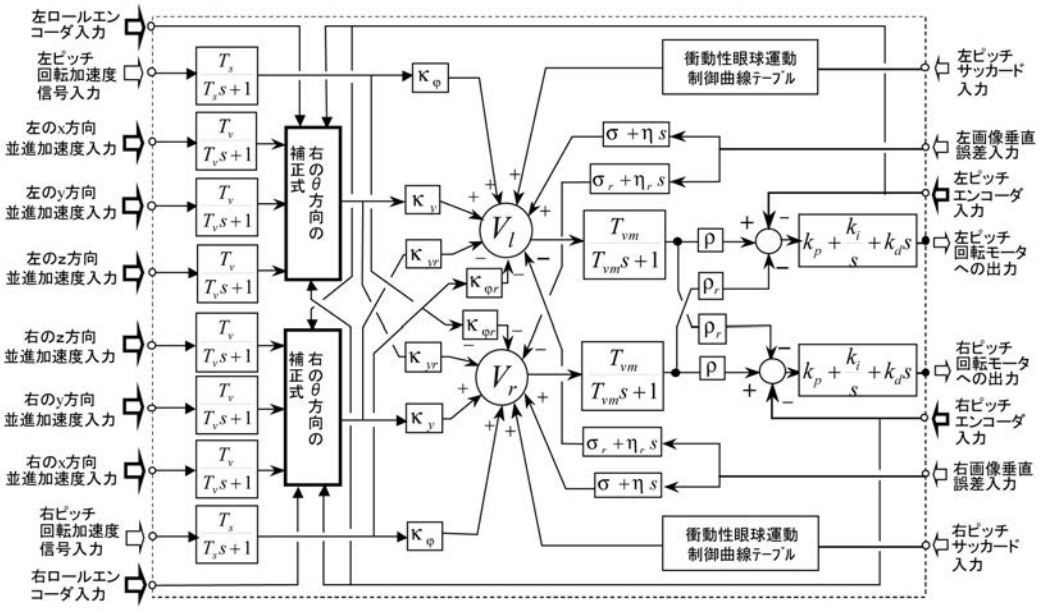
【図２】


$z_{O\text{-}T}$
$y_{O\text{-}T}$
1
$x_{O\text{-}T}$
視線方向
l_l
$z_{O\text{-}l}$
$y_{O\text{-}l}$
20 l
$\theta_{oe\text{-}l}$
$\varphi_{oe\text{-}l}$
$x_{O\text{-}l}$
z_H
y_H
x_H
L
l_r
$\theta_{oe\text{-}r}$
$z_{O\text{-}r}$
$y_{O\text{-}r}$
$\varphi_{oe\text{-}r}$
$x_{O\text{-}r}$
20 r

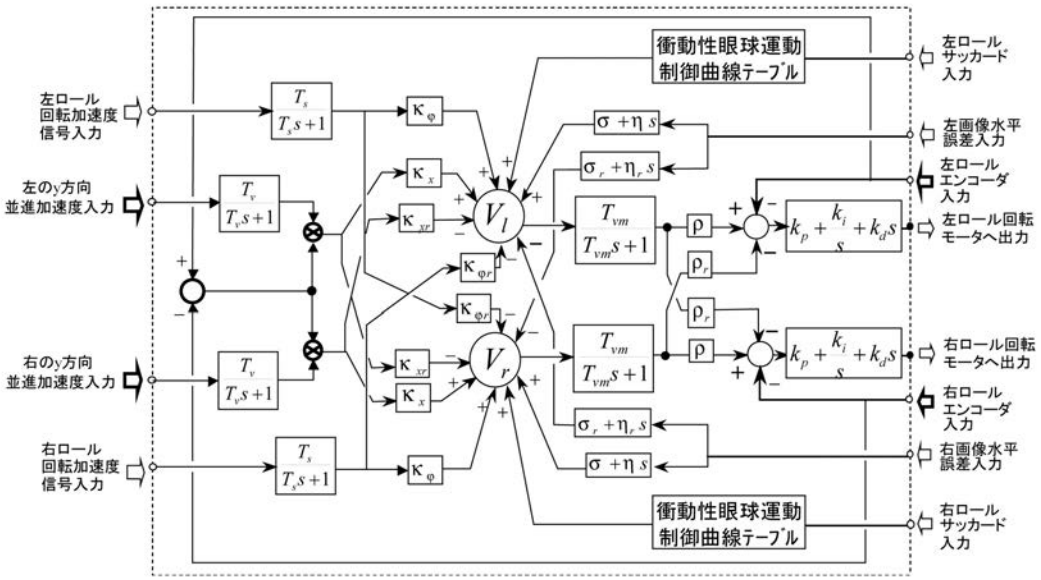
【図３】


左ピッチエンコーダ入力
左ロール回転加速度信号入力
左のx方向並進加速度入力
左のy方向並進加速度入力
右のy方向並進加速度入力
右のx方向並進加速度入力
右ロール回転加速度信号入力
右ピッチエンコーダ入力
$\frac{T_s}{T_s s+1}$
$\frac{T_v}{T_v s+1}$
補正式 左のφ方向の
補正式 右のφ方向の
κ_φ
κ_x
κ_{xr}
$\kappa_{\varphi r}$
V_l
V_r
$\sigma + \eta s$
$\sigma_r + \eta_r s$
$\frac{T_{vm}}{T_{vm} s+1}$
ρ
ρ_r
$k_p + \frac{k_i}{s} + k_d s$
衝動性眼球運動制御曲線テーブル
左ロールサッカード入力
左画像水平誤差入力
左ロールエンコーダ入力
左ロール回転モータへの出力
右ロール回転モータへの出力
右ロールエンコーダ入力
右画像水平誤差入力
右ロールサッカード入力

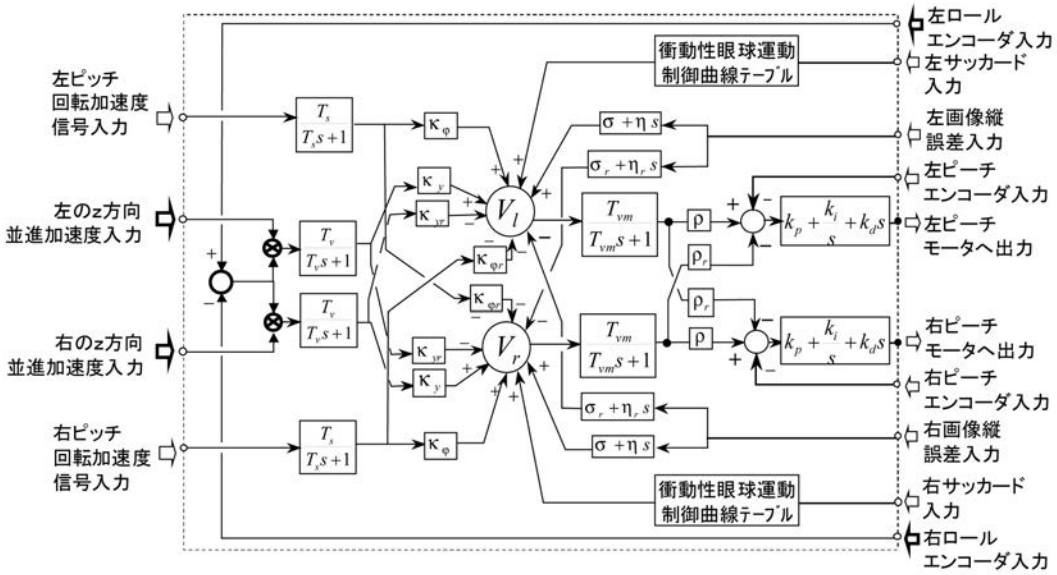
【図４】


左ロールエンコーダ入力
左ピッチ回転加速度信号入力
左のx方向並進加速度入力
左のy方向並進加速度入力
左のz方向並進加速度入力
右のz方向並進加速度入力
右のy方向並進加速度入力
右のx方向並進加速度入力
右ピッチ回転加速度信号入力
右ロールエンコーダ入力
補正式 右のθ方向の
補正式 右のθ方向の
衝動性眼球運動制御曲線ﾃｰﾌﾞﾙ
衝動性眼球運動制御曲線ﾃｰﾌﾞﾙ
左ピッチサッカード入力
左画像垂直誤差入力
左ピッチエンコーダ入力
左ピッチ回転モータへの出力
右ピッチ回転モータへの出力
右ピッチエンコーダ入力
右画像垂直誤差入力
右ピッチサッカード入力

【図５】


左ロール回転加速度信号入力
左のy方向並進加速度入力
右のy方向並進加速度入力
右ロール回転加速度信号入力
衝動性眼球運動制御曲線ﾃｰﾌﾞﾙ
衝動性眼球運動制御曲線ﾃｰﾌﾞﾙ
左ロールサッカード入力
左画像水平誤差入力
左ロールエンコーダ入力
左ロール回転モータへ出力
右ロール回転モータへ出力
右ロールエンコーダ入力
右画像水平誤差入力
右ロールサッカード入力

【図６】


左ピッチ
回転加速度
信号入力
左のz方向
並進加速度入力
右のz方向
並進加速度入力
右ピッチ
回転加速度
信号入力
衝動性眼球運動
制御曲線ﾃｰﾌﾞﾙ
衝動性眼球運動
制御曲線ﾃｰﾌﾞﾙ
左ロール
エンコーダ入力
左サッカード
入力
左画像縦
誤差入力
左ピーチ
エンコーダ入力
左ピーチ
モータへ出力
右ピーチ
モータへ出力
右ピーチ
エンコーダ入力
右画像縦
誤差入力
右サッカード
入力
右ロール
エンコーダ入力

フロントページの続き

(56)参考文献 特表２００６－５０２６７５（ＪＰ，Ａ）
特開２００４－３４８１４７（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－０４９０６７（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０４Ｎ　　５／２２２～２５７
Ｂ２５Ｊ　　１９／０４