

図1. 本多眼カメラ方式のイメージ図

【発明の経緯】

幾つかの企業でいろいろな研究開発を経験してきた中で、それぞれの技術には、適材適所が人間以上にあるのでは無いかと考えております。つまり、それぞれの技術はその長所を十分に活かせる様に適した箇所で使用しなければ、宝の持ち腐れとなるどころか却って害になるものと考えております。

そんな中で、コマースやネットで、自動運転というものが大きな話題となってきていましたが、何か所々、違和感を感じ、このままでは安全な自動運転を実現できるとは到底思えなかった為、自動運転車の事故を調べてみると、案の定、2眼カメラや画像パターンマッチングの認識不良による事故だけでも余りに多く、こんな自動運転車には乗りたくないという気持ちから、どうにかこれらの問題点を解決し、自動運転をより安全なものに軌道修正できないものかと考えるようになりました。パターンマッチング、つまりAIによる画像認識で何であるかの認識に時間が掛かったとか認識できなかった為に、全く減速もしないで事故を起こしてしまったというものが多くあり、私としては前方に何か有った時点で人間だったらそれが何かは分からなくても直ぐに停止するか迂回するかして回避する筈の所で態々AIを使ったが為に尊い命が失われたなど、言語道断、本末転倒だと考えておりますし、今も同様の事故が発生しております。そんなAIを使用する必要が何処にあるのでしょうか。

そこでまず、水平配置の多眼カメラを含む2眼ステレオカメラですが、どうしても水平に置かれたものや網目状の物、幾つも並んで配置されたものに対して距離を正しく認識することが難しいのです。この事は、時折、専門家の方の書かれた論文、技術資料、特許の「発明が解決しようとする課題」で見掛けた事のある方も多いのでは無いでしょうか。

しかし、これらはほとんどの方から軽視されていることが多いように思われます。その根底に有るのは、多分、闇雲に人間の両眼が常に何でも正しく距離を認識できている完璧な仕組みだと、皆さんが信じて疑わないからでは無いでしょうか。ところが人間の眼も、認識を誤ることがあります。錯視とかでは無く、2眼カメラでの問題点と同様の理由で同様の失敗をします。つまり原理的に認識できないのです。簡単に言えば、左右の眼で取得した画像がほとんど同じで視差を見つけられないとか或いは両者の画像の重複した部分がある為に視差を取得する時の候補が複数あり、一意に特定できない場合ですが、この件に関しましては、本題から少し外れますので、本説明資料の備考に詳しく記載しますので興味のある方は、そちらをご参照ください。

当初、2眼ステレオカメラを組み合わせたり、画像を二重に認識したりすれば、カメラの特性を補い合って上手く出来るのでは無いかと考え、いろいろと試行錯誤を繰り返してみたのですが、やはりどうしても従来の2眼ステレオカメラ方式ではどの様に組み合わせても、2眼の問題を抱えたまま処理が完結してしまい、問題点の解決には至りませんでした。そして2眼ステレオカメラという枠組みから離れ、3眼以上で一斉に処理する方式ならば問題を解決できる筈だとずっと考えておりましたが、3眼での認識方法やそれに近い方式すら世の中に見つからず、諦めかけていた時に、カメラで何かを撮る際に、カメラを上下左右に動かすと、カメラからの距離が近い対象物ほど、カメラで撮像された画像上で、対象物が大きくズレる事から、これを幾何学的に解決できないか考えた結果が本多眼カメラ方式の基礎部分となっております。

【基礎説明の流れ】

本特許の多眼カメラ測定原理を理解し、その応用を考える際には、光学系、画像処理系及び三角測量の三次元空間上での処理に関する多少の知識が必要となりますが、ステレオカメラ手法の原理的な所まで十分に理解されている方であればそれ程難しくはないかと思われます。また、本特許の資料にはこの多眼カメラを中心とした自動運転車に対する独自の事故分析から各種対策を盛り込んでおり、

私の説明が下手な所為もあり、何が書いて有るのか良くわからないという状況になり兼ねません。

そこで、本特許の多眼カメラの部分だけでも、誰でもが理解しやすい様に、内容を噛み砕いて直感的に理解できるように意図して作成したのが上図となっております。これにより本特許の多眼カメラに関する一般的な応用については、或る程度可能かと思っております。

しかし、さらに高度な応用を考える際には、もう少し本多眼カメラについての理解を深める必要があるかと考え、以下の項目に沿って出来るだけ詳しく従来方式(ステレオカメラ)の説明と本多眼カメラ方式との相違点や従来方式の問題点などの説明を添えました。

また、本特許の他の部分との連携、組合せにより、さらに広範な応用も可能となっておりますが、その説明を記載していくと、この資料自体が完結しなくなる恐れがありますので、ここでは出来る範囲で応用例や他の添付資料などに示す程度とさせて頂きたいと存じます。なお、以下の記述に於いて、使用する各単眼カメラの焦点距離は全て同じで同一方向に向いているものとし、2眼の場合は、両単眼カメラのレンズ中心は直線上に並び、両単眼カメラの光軸はその直線に対して垂直、つまり同一平面上に配置されており、3眼以上の場合には、全単眼カメラのレンズ中心は、同一平面上に並び、全単眼カメラの光軸はこの平面に垂直となっている事を前提とします。

1. 一般的な2眼ステレオカメラの測定方式の詳細
2. 本多眼カメラの測定方式
3. 2眼ステレオカメラ認識の弱点と本方式の認識との対比
4. 本特許の全体概要
5. 備考

<詳細説明>

1. 一般的な2眼ステレオカメラの測定方式の詳細 (なお、両眼の光軸は同一平面上で平行)

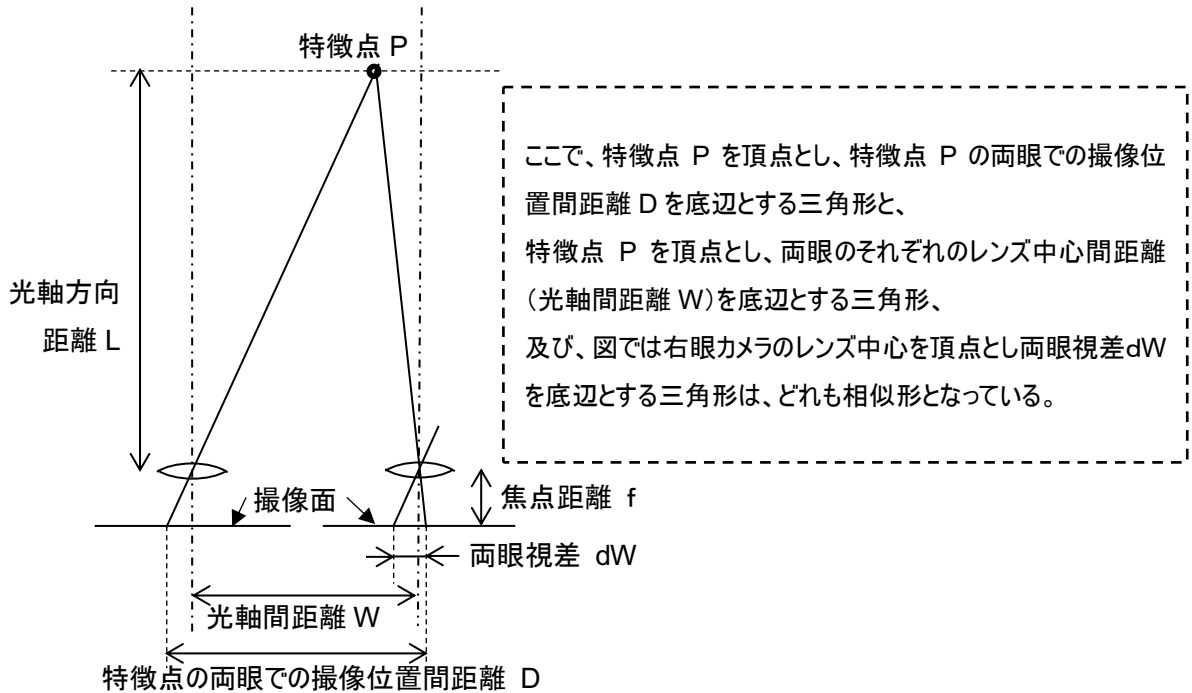


図2. 2眼ステレオカメラの構成

図2の両眼の撮像面で左眼での特徴点 P の画像位置と対応する右眼での特徴点 P の画像位置はそれぞれの撮像面に於いて、特徴点 P から両眼カメラのそれぞれのレンズ中心 (光学中心とも言う) までの光軸方向距離に応じて、ズレた位置に撮像され、このズレが両眼視差 dW となる。光軸方向距離が大きい程、dW は小さい。

なお、左眼で撮像された特徴点 P の画像に対し、右眼で撮像された特徴点 P の画像は、撮像面上で左眼カメラのレンズ中心から右眼カメラのレンズ中心の方向に対して平行にズれる為、その方向に右眼カメラでの特徴点 P の画像の探索がおこなわれ、探索が成功した際の、その特徴点 P の両眼視差 dW の長さから、

$$L = W * f / dW \quad \text{となり、特徴点 P までの光軸方向距離 L が求まる。}$$

$$\text{因みに、} D = W + dW \quad \text{となっている。}$$

ここで、幾つかの注意点がある。

<注1> 撮像画像の反転 (2眼、多眼共通)

まず、子供の頃に学校で学んだことを思い出して頂ければ分かる様に、撮像面に写し出される画像は、レンズ中心を介して、反転画像となっている。つまり、正立画像で見ると、両眼の各画像に写し出される特徴点 P の位置は、各撮像面と各光軸の交わる点 (以降、撮像中心と略す) に対して反対側に写し出される。

その為、正立画像ではズレ方向が逆となる。

<注2> 三角測量と特徴点の高さ (2眼、多眼共通)

ここでの三角測量は両眼光軸の通る平面 (以降、両眼光軸平面と略す) 上の幾つかの相似形の三角形とそれらの比率から三角形の底辺からの高さ、つまり距離を求めているが、通常は、両眼光軸面上に垂直に反映した写像上の三角形で測定される為、測定される距離は、両眼からの光軸方向距離となる。なおこの場合、実際の特徴点 Pr の高さ方向の変位量 (両眼光軸平面に対する実際の対象物の高さ) は、光軸方向距離と焦点距離との比率で、両眼の撮像面に同じ変位量の位置に写るので、両眼での撮像画像上の高さ (両眼視差に対し垂直の成分) は相殺され、各特徴点の両眼画像位置は両眼視差分だけ両眼の配置方向に対し平行にズれる。

<注3> 測定距離（2眼、多眼共通、なお多眼での直線距離測定時も多眼中の一对のカメラで可）

通常、光学系、画像処理系、及び三角測量を利用して測定する際の距離は両眼光軸面の平面上での三角測量によりおこなわれる為、測定された距離は光軸方向距離となり、その事さえ理解していれば特に支障は無いものと思われるが、何れかのカメラのレンズ中心から実際の特徴点までの直線距離が必要となる場合も有るかと思う。

その場合には、上記で求めた光軸方向距離と距離測定対象カメラのレンズ中心、焦点距離、撮像面上の特徴点の画像位置の3次元上の位置関係から幾何学的に求める事が出来る。

例えば、左眼のレンズ中心から特徴点までの直線距離を求める場合、左眼のレンズ中心から右眼のレンズ中心に向かう線分上で特徴点 P の垂線までを X とし、実際の特徴点 Pr の両眼光軸面からの高さを Y、及び光軸方向距離を Z とする直方体を考えると、左眼レンズ中心から特徴点 Pr までの直線距離が直方体 XYZ の対角線となる。また、左眼の撮像面上に写された特徴点 Pr の左眼の撮像中心からの画像位置で、左眼から右眼方向に向かう方向の差分を x、その垂線方向の差分を y、焦点距離 f を z とすると、直方体 xyz は、直方体 XYZ と相似形となり、その比率は f に対する光軸方向距離 L となる。

つまり、左眼のレンズ中心から特徴点 Pr までの直線距離 Lr は、 $L_r = L / f * \sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)}$ となる。なおここで、実際の実特徴点 Pr の位置と両眼のレンズ中心を通る平面上の三角形での測定が本来の意味での三角測量となっている。

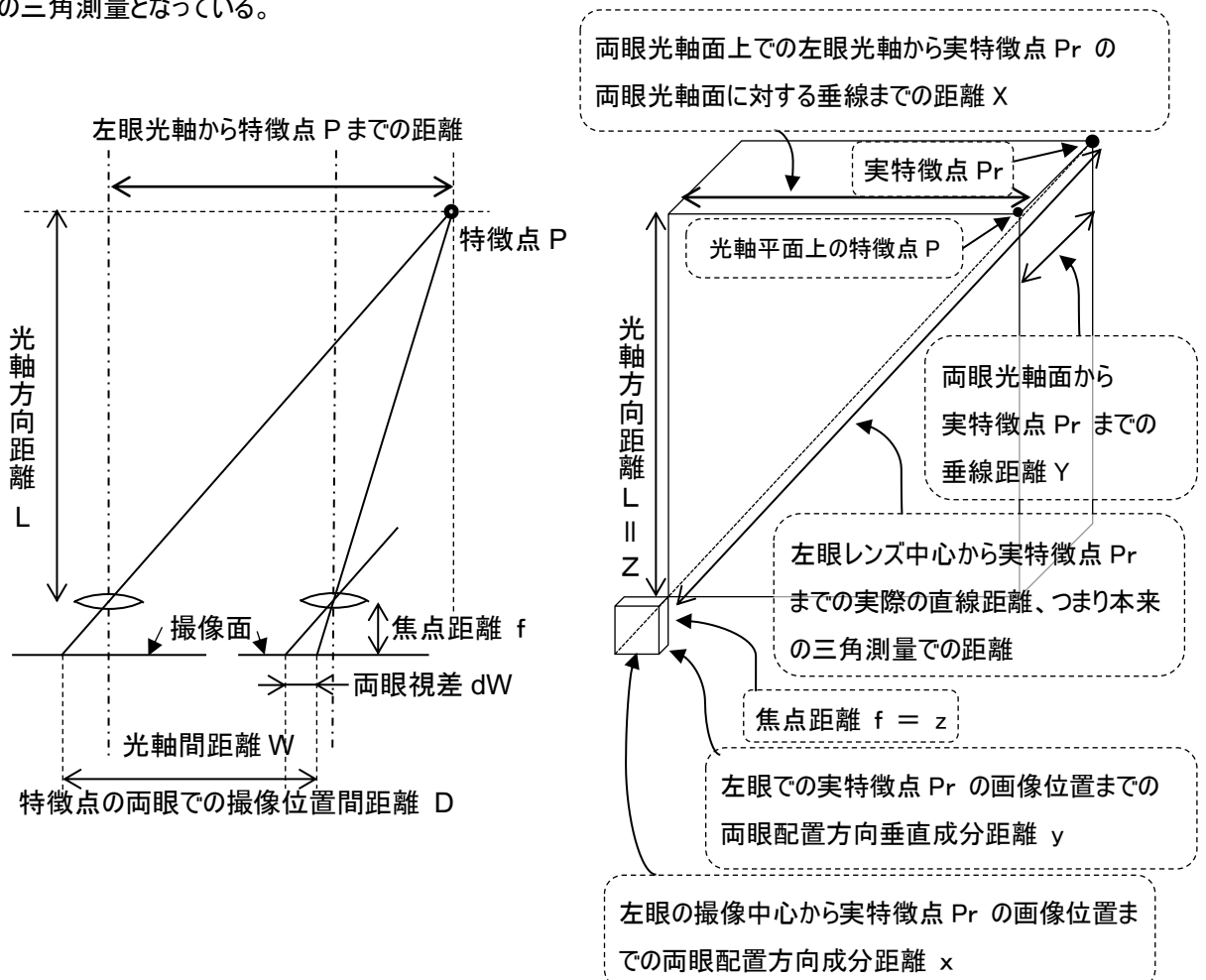


図3. 2眼ステレオカメラ認識による特徴点までの光軸方向距離と実際の特徴点までの直線距離

ここでの光学系、画像処理系、及び三角測量を利用して求められる距離は、両眼のそれぞれのレンズ中心から光軸方向に向けた距離であって、カメラから特徴点 P までの直線距離では無い。どちらかのカメラから、特徴点 P までの直線距離を取得する場合には、そのカメラの撮像面に写った特徴点 P の位置と、撮像面と光軸との交点位置との距離と方向と上述により取得した光軸方向距離から求められる。これは本多眼カメラでも同様となる。

2. 本多眼カメラの測定方式

ここでも、特に必要がない限り特徴点 P に対して光軸方向距離 L を求めるものとする。

(1) 本多眼カメラの測定方式を、2眼カメラに対して行った場合

本多眼カメラの測定方式の考え方では、

上記式: $L = W * f / dW$ を変形し、 $dW = W * f / L$ とすると、光軸方向距離 L に対して dW が一定の値になる事から、両眼で撮像された画像に於いて、左眼で撮像された全ての点の内、光軸方向距離 L が同じ対象物に対して右眼では、 $dW = W * f / L$ 分だけ外側に(左眼から右眼への配置方向に平行して)ズラして撮像される事になる。そこで左眼の画像に対して右眼の画像を平行に dW だけ逆方向である内側に(右眼から左眼への配置方向に平行して)ズラして重ねると、光軸方向距離 L の所にある全ての特徴点が左眼と右眼で同じ位置に来る為、その各位置で特徴が一致する点を拾って行けば、ズラした量に対応した光軸方向距離 L の全ての特徴点を取得する事が出来るというものである。

この方式の2眼カメラでも従来程度の処理は可能であるし、人間の両眼での処理はこの様に個々の特徴点一つ一つを何の脈絡も無く拾って行くのではなく、上述の様に左右両眼での画像を一気に重ねてズラして行き、画像全体での関連性(パターン等)を考慮しながら距離を認識するものと考えた方が自然では無いだろうか。

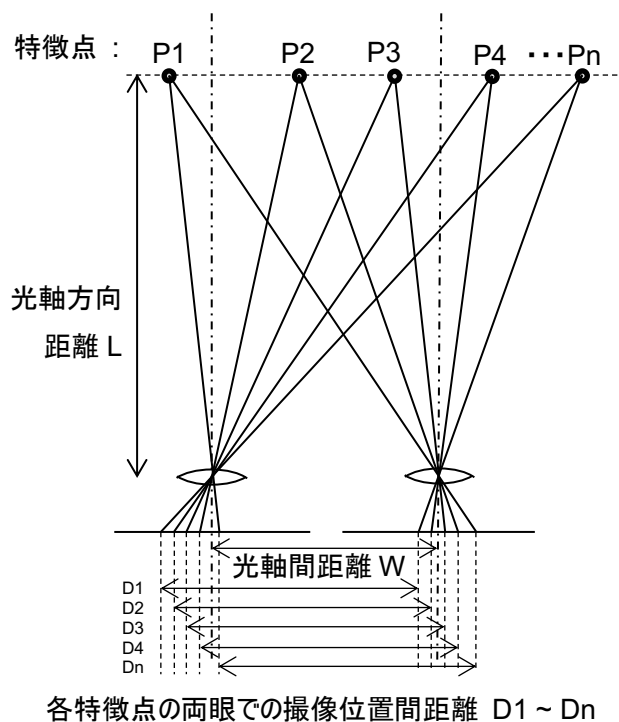


図4. 本多眼カメラでの1対のカメラ間処理の概要

cf. ここで、両眼視差 $dW1 \sim dWn$ で表記すると図が細かくなり過ぎて見辛くなるので、 $Dn (=W + dWn)$ 、つまり同じ特徴点に対する両眼での画像間の距離で表記した。

またここで、各特徴点 Pn の両眼視差を dWn とし、両眼での撮像位置間距離を Dn とすると、

$dW1=dW2=dW3=dW4= \dots =dWn= W * f / L$ となる。

そして、光軸間距離 W は固定なので、 $Dn = W + dWn$ となり、 $D1=D2=D3=D4= \dots =Dn$ となる。

また、光軸方向距離 L というものは、光軸に対し垂直な平面までの距離である為、図4の各特徴点 Pn は、必ずしも直線上に並んでいるのではなく、この光軸方向距離 L の平面上に並んだ点の両眼光軸面上への垂直写像である。

(2) 本多眼カメラでの3眼カメラ以上を使用した場合の測定方式

次に、3眼以上のカメラを使用した本多眼カメラの方式を以下に示すが、図4の様に特徴点を多く示すと余計に理解し難くなる恐れがあるので、ここでは特徴点1つだけを代表として示す。なお、すべてのカメラのレンズ中心は同一平面上に有り、全ての光軸はこの平面に対して垂直であり、焦点距離も同じである為、1つの特徴点に対する光軸方向距離は全てのカメラで同じとなる。ここで、多眼カメラを構成する全ての単眼カメラの画像を一斉に重ねて処理する為に、任意の単眼カメラを基準カメラとして、その基準カメラの画像から他の単眼カメラの画像での変位量(両眼視差)を使用する。下図で左眼カメラを基準カメラとすると、上眼での特徴点の画像を変位方向と逆方向に、変位量分ズらすと、基準カメラの画像と上眼カメラの画像の特徴点と同じ位置に来る。また、右眼での特徴点の画像を変位方向とは逆方向に変位量分ズらすと、基準カメラの画像と右眼カメラの画像の特徴点と同じ位置に来る。そしてどちらの基準カメラの画像も同じものなので、基準カメラと上眼カメラ、及び右眼カメラの画像で、3つの特徴点と同じ位置に来るので、全ての画像を重ねると、全ての特徴点の画像が同じ位置に来て、重なる事になる。さらに多くのカメラで撮像しても同様に全ての画像が重なる。なお、ここでは1つの単眼カメラを基準カメラとしたが、多眼カメラの各レンズ中心を通る平面上の任意の点を基準点としても可能で、単眼カメラでは無い所を基準点とした場合には、全画像を重ねる際に基準点の画像だけが無い事以外は同様の処理となるが、本多眼カメラの機能を実現する為には、単眼カメラを3つ以上配置する必要がある。

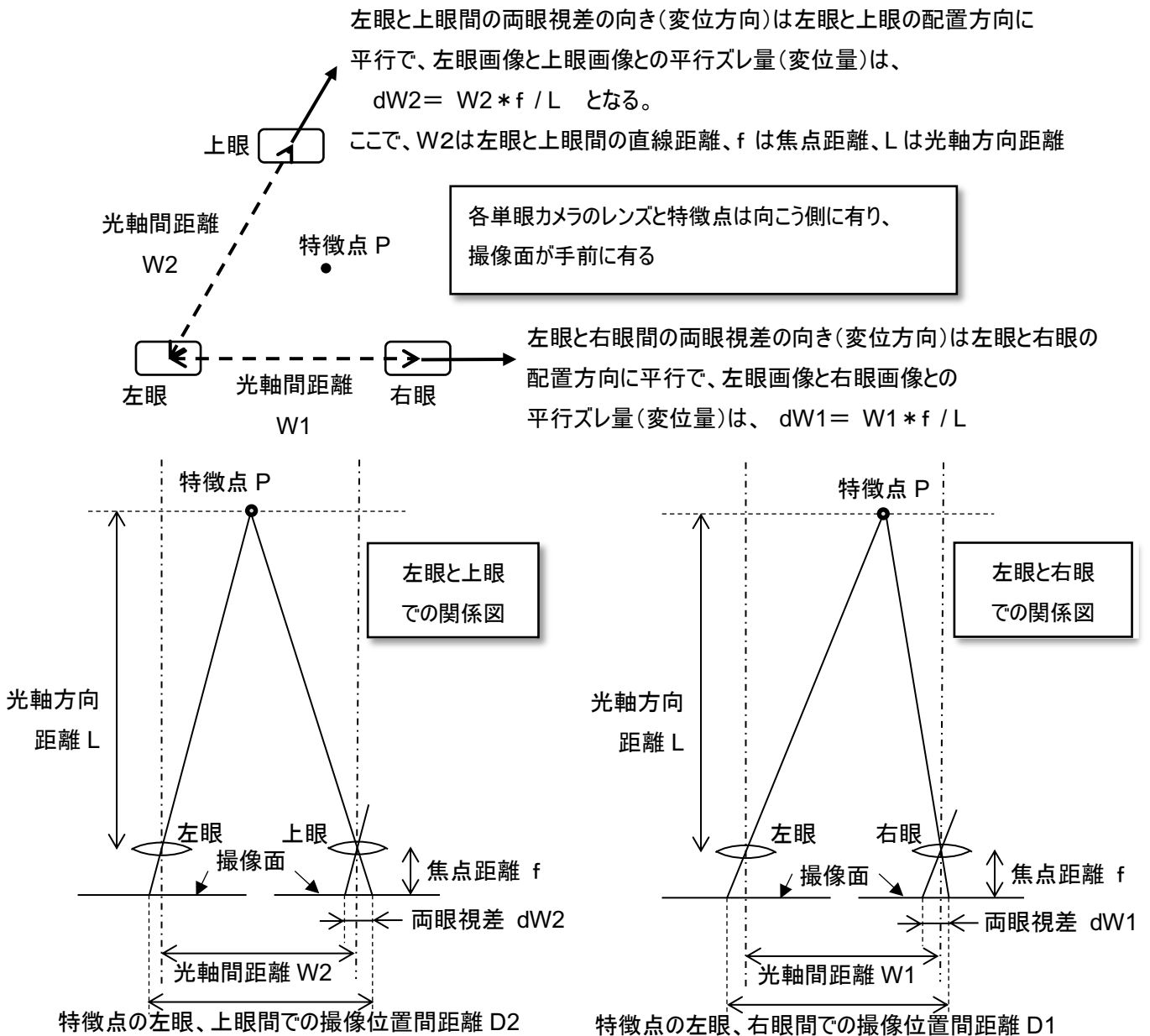


図5. 本多眼カメラでの画像のズレ方向と各1対のカメラ間処理の概要

前述2(1)で示した様に、光軸方向距離 L の対象物にだけ着目して見た時に、基準カメラである左眼カメラの画像に対して右眼カメラの画像は基準カメラから見て右眼カメラ方向に全体が並行して同じ距離だけズレ、同様に上眼カメラの画像は基準カメラから見て上眼カメラ方向に全体が並行して同じ距離ズれる。

ここで右眼カメラ、上眼カメラで撮像された各画像を基準カメラからの変位量(カメラ間方向とカメラ間配置距離)に応じて、基準カメラ

からの配置方向に沿ってズラして重ねると、図5の下方にある様に左眼と上眼、左眼と右眼のそれぞれに於いて、両眼視差分ズラして重ねた時に、光軸方向距離 L が同じ各特徴点は、それぞれ同じ位置に来て重なる。

つまり、基準カメラの撮像画像に、この様にしてズラした上眼画像と、同様にズラした右眼画像を重ねた時に、基準カメラ画像は元の位置のままなので光軸方向距離 L が等しい被写体部分が全て同じ位置で重なる事になる。

ここで、上述の説明では、撮像面に写し出された画像、つまり反転画像を使用しておりますが、2眼と同様に、各単眼カメラの画像は、正立画像の方が理解し易い為、通常は正立画像を使用しますので、正立画像を使用して多眼カメラの認識をおこなう場合、上述とは画像、角度、ずらし方向ともに反対向きになります。

3. 2眼ステレオカメラ認識の弱点と本方式の認識の特徴について (正立画像による記述)

(1) パターンの認識

【2眼ステレオカメラの弱点】

2眼ステレオカメラの認識方式では、両眼が水平方向に配置されている為、片方のカメラの画像の中からある特徴点を選択して、もう一方のカメラの画像の中で同じ特徴点を探索してその間の視差から距離を求めるとというのが一般的であり、大きなエリアを特徴点としてしまうと探索に失敗する可能性が高くなる為、基本的に点か或いは極小エリアのものを対象とする事になるので、大きなパターンを認識する場合には、必要数の特徴点の情報を集め、それぞれの位置関係を確認しないといけない為、認識が困難である。

【本多眼カメラの場合】

本多眼カメラの方式では、同じ距離の対象物を一斉に捉え、距離を測定すると同時に各部の位置関係も一斉に捉える方式の為、大きなパターン認識が容易である。しかも、多眼配置の各方向からの画像を収束して認識する為、2眼の様に水平方向からの合致ではなく、多方向からの合致で行う為、水平方向だけでは不可能な前方の水平線に対しても、難なく認識することが可能となっている。

(2) 距離測定認識

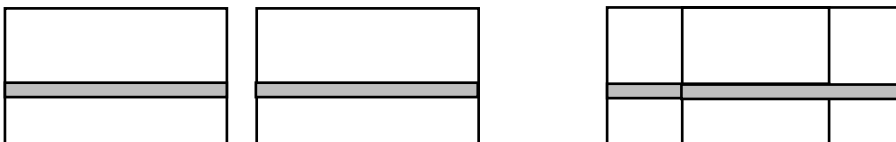
2眼でも多眼でも同様で、使用するカメラで撮像された各画像から距離を得るのであるが、例えば、水平に横たわった対象物に対し、2眼では、左右の画像の各部に於いて、画像が一致してしまうために、左右の特徴点を一意に抽出することが出来ず、左右の視差を得ることなど、不可能となっていた。その為に、例えば自車の下の道路面の延長線上にあるものと仮定してその画像により計算した角度で、距離を取得する方法か或いは別カメラを設けて、そこで取得した画像との位置関係から距離を取得するなどの方式が考えられるが、その場合には、2眼認識による距離測定では無くなる。

しかし、本多眼方式では多方向からの画像走査により行う為、例えば水平物が道路面高さでは無い場合でも、正確に距離を測ることを可能にした。

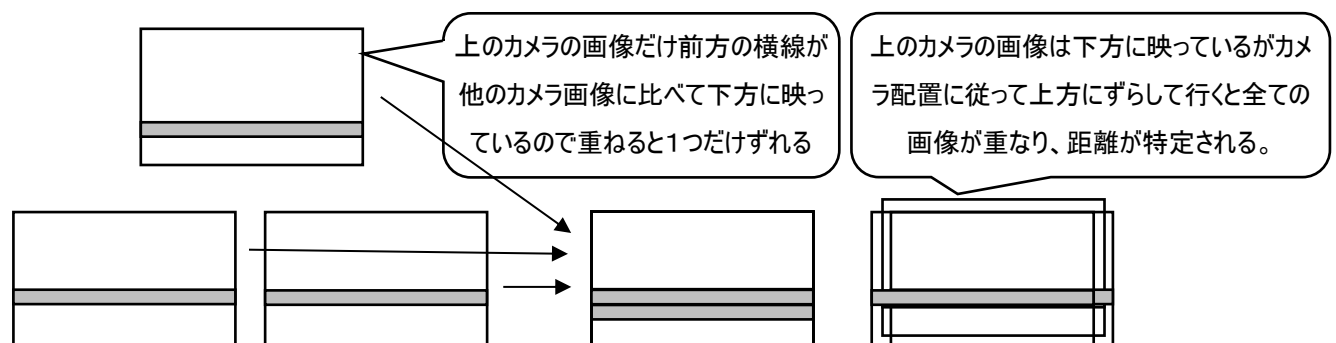
【水平物や水平線】

左眼のあらゆる点に対して、右眼では、常に合致してしまう為、視差を求められず、距離測定は不能となる。

2眼の場合: まず、左眼で捉えた画像で、仮に何処かの点を特徴点としたとしても、右眼の画像で常に一致してしまう為、左右の対応する特徴点が見つけられず、視差が見つけられない。



本多眼の場合: 2眼とは方式が異なり、3次元幾何上での光学の性質により、構成する全て(以下の図では3眼)のカメラ画像を基準カメラ位置に全て重ね各画像を各カメラ配置(基準カメラからの距離と角度)に従いずらして行くと、各対象物の像は光軸方向距離に従ったずらし量の時に全ての画像が同じ位置で重なる。そこで像が重なった時のずらし量から距離を算出する為、対象物が水平だろうが垂直だろうが関係なく取得できる。



4. 本特許の全体記載概要

(1) 請求項1～3

前述の本多眼カメラの内容と方法についてのものです。

(2) 請求項4

前述の本多眼カメラで得られた位置情報などを、1つの基準カメラ画像の各部に埋め込むというものです。

つまり、基準カメラ画像の画素として、RGB などの色情報と一緒にズラして取得した距離情報なども持たせるというものです。

(3) 請求項5

特に重要な移動体の面前に座った子供や寄りかかった人などに対するカメラの死角を軽減し、場合によってはカメラ位置を確認するものです。

(4) 請求項6

スポットライトに照らし出された所の画像認識で、アンダーパスや道路の冠水時の透過光の筋を検知すると同時に、道路の陥没や橋の崩落などをより正確に検知、測定する。また、両タイヤ位置の道路状態を確認する事により、タイヤ位置に敷いた敷板の上の走行をも可能とする。

(5) 請求項7

本請求項では、例えば道路の各結節点毎に道路形状、位置、軌道などの情報を記憶し、その情報と現在位置から道路中央線、車線境界線などを含め多眼カメラで認識し車線中心軌道、結節点を追従して行く事により、走行を制御し、また車線変更をも自動で行う事を可能にしたものであり、非常に使用容量が少なく、1つの中容量 SSD で、日本全体の地図を網羅可能である事と道路形状、位置、道路軌道などの更新頻度が低く、SSD の書き換え回数を大幅に削減出来る。また、道路上の固定物、固定ポイントではそれぞれ北緯も東経も決まっているので、それら固定物に北緯や東経などの情報を結び付けて置けば、それらの情報を利用すれば何も GPS 衛星を態々使用しなくとも、白線など固定物、固定ポイントを画像認識により直接、間接的に得れば、そこでの位置関係から自車の地球座標、北緯、東経は容易に高精度に得られることになる。そこで結節点毎に持つ北緯、東経の座標による謂わば、衛星を使わない地上固定物 GPS という機能をも実現している。そして更に、発進時に保存されていた現在地、姿勢などを読み出し、そこから既知の結節点を繰り返し通過し、補正されて行き、停車時に現在地、姿勢などを保存するという方式により、衛星を使用した GPS を使用する必要がほとんど無くなると同時に、カメラで取得するので高精度での位置検出も可能となっている。(段落0089～0091などを参照)

なお、最近の傾向として道路情報として、道路と道路周辺の画像を含めた高精細地図を使用する方式があるが、非常に多くの容量を必要とすると同時に、情報の更新が非常に頻繁になる為、記憶装置への負荷が非常に大きくなる。そしてそこでの記憶装置にフラッシュメモリー系の記憶装置、例えば SSD を使用すると、フラッシュメモリー系記憶装置の特徴である書き込み回数寿命を一気に使い果たしてしまう。そして更にそれらを制御する OS やソフトウェアなどを度々更新すると、さらに記憶装置の寿命を大幅に縮めてしまうことになるが、SSD の寿命は、パソコンでの通常使用で、5年から10年と言われているが、使用頻度により大幅に寿命が縮むことも知られている。そして更に、SSD の様な大容量の記憶装置であれば、SSD 全体のファイル管理システムを SSD に埋め込む必要があり、この読み書き回数が1番高い為、ここが1番破損しやすいが、ここが破損すると SSD 全体のデータの読み書きが不能となる。例え、SSD の寿命が10年であったとしても、フラッシュメモリー系の記憶装置である SSD を使用した自動運転車が、3650台有れば、最低でも1日平均で、1台が突然 SSD のクラッシュを発生する計算となる。なお、通常 SSD のクラッシュは書き込み回数に起因する為、書き込みが行われるタイミングとしては停止中ではなく移動中か地図やソフトウェアのダウンロード中が危険となる。そしてもし移動体が飛行するものであれば、墜落が予想される。今後、SSD を使用した自動運転車が100万台走行するとしたら、1日平均、約274台、1時間平均約11台が突然、制御不能となるものと予測される。

(6) 請求項8

前述の請求項7が道路に沿って移動する際のものであるのに対し、この請求項8では、交差点などの分岐路に於ける操舵を自動で行うことを可能にしたものであり、ここでも前項同様に地上固定物 GPS を使用して更に位置、姿勢精度を高めて行く。なお、ここで、請求項7及び8により、経路と走行条件を決めれば、後はこれらの地図情報から自動で目的地までの移動を可能としている。

(7) 請求項9

請求項7の所で説明した様に、フラッシュメモリー系の記憶装置など、寿命のある記憶装置を使用する際に、そのまま使用するといつ突然破損するか分からないので、何らかのフォールトトレラント処理が必要となってくるが、現状では HDD 対策の為に開発された RAID と呼ばれる複数の HDD を冗長的に使用する方法くらいしか無いが、SSD に対して RAID は逆効果であり、寿命も却って縮めてしまう。

そこで本請求項では、SSD 用にも対応した新たなフォールトトレラントシステムを提供するものである。

ここでは基本的に3台の記憶装置 (SSD など) を用意し、データの更新期間が長く最重要なもの、例えば道路情報や制御プログラム等と同じ形式で3台の記憶装置に保存、更新して行き、更新期間が中くらいで重要度が中位のを2台の記憶装置に保存、更新し、更新期間の短いものや生データなどで重要度の低いものを1台の記憶装置に記憶、更新して行く。なお、本方式を使用した場合に於いて、通常は、SSD の書き込み回数が寿命の主因である為、更新期間が短期或いは生データを記憶している記憶装置が最初に破損する可能性が1番高い。そして何れかの記憶装置が破損した場合にも、残りの記憶装置により、正常走行を可能にするものであり、1台の破損時には、混雑状況や天候情報などの短期データを損失してしまう可能性が高いが、どの記憶装置が破損したとしても必ず道路地図や制御ソフトウェアなどの長期データと、工事や事故などでの通行規制情報などの中期データは残る為、特に支障無く、走行を進める事が可能となる。しかし、万が一、3台中の2台の記憶装置が同時期に破損してしまった際には、地図情報と制御ソフトウェアなど重要な長期データ以外は損失してしまう可能性が高い。そこで予備の記憶装置があれば、安全な場所に移動し、破損した記憶装置を新しい記憶装置と交換し、破損していない記憶装置に残っている長期、中期、短期データを交換した記憶装置に記憶すると共に、ネットなどから最新のデータに更新すれば、完全に復旧ができるという方式である。

なお、予備の記憶装置が無い場合には、近くで記憶装置を入手可能な場所まで移動し、同様にして交換する。

また、交換する新しい記憶装置に、前以って新しいデータを記憶しておけば、記憶装置の交換時のデータ更新時間を大幅に短縮することも可能となる。なお、長期データに保存した運転者情報や自転車情報などは、残った記憶装置からコピーし、幾つかの段落及び図で示した様に現在地情報などは、バッテリーバックアップメモリーに保存する方が、好ましいものと考えられる。

(8) 請求項10

前記、請求項9でフラッシュメモリー系の記憶装置に関する記載をしたが、最近はそのよりも寿命の長い記憶装置が市場に出回りつつあるが、どうしても他の記憶装置同様にファイルシステムと呼ばれる記憶箇所等の読み書き頻度が他のデータ領域と比べて非常に高いので、各記憶装置の前段に基本的に寿命の規定されないキャッシュメモリーを介する事により特に高い頻度の読み書きをキャッシュメモリーの仕様上、キャッシュメモリー側で受け持つことになるため、大幅な延命が期待される。

(9) 各段落での主な仕様説明

【段落番号0025】 多眼カメラの配置が昆虫の複眼の様に、各光軸が多方向に向かっている時には、各単眼カメラの画像を台形補正で光軸が同方向に向かったものとする事により、近い方向に向いている単眼カメラを複数使用して本発明の多眼カメラを構成することが出来る。

【段落番号0028】 本発明では、対象物の種別に拘らず、接近した際に停止、迂回することが可能である。

【段落番号0029、0032～0034】 本発明では、多眼カメラ機能と、構成する単眼カメラの画像、或いは別途設けた単眼カメラの画像サイズの違いにより対象物までの距離、サイズ、接触までの時間の計測も可能である。

【段落番号0035、0036】複数の多眼カメラでの認識結果と、管理時間間隔に基づいて、自車両周囲全体の状況の確認や、他車両との距離や速度、加速度などの認識も可能である。

【段落番号0041】複数の多眼カメラと連続して取得した画像により、接近する対象物が自車の何処にどの様に接近するかを知ることが出来るため、回避行動を確実に行うことが可能である。

【段落番号0042】近年では、特に信号灯などにLEDを使用した照明が増えており、通常、それらは電源周波数に従って点滅するものが多いため、瞬間画像だけでは点灯して見える時と消灯して見える時があり、点灯色の判断が難しいが、多眼カメラの取得周期を調整することにより、数回の撮像により点灯色或いは消灯を確実に捕捉することが可能である。

【段落番号0043】複数の多眼カメラの1部を前方上方に向け配置することにより一時停止の白線ギリギリに停車してしまった場合にも、上方にきた信号の色を認識可能なため、そのまま見れずに動けなくなることを回避することが可能である。

【段落番号0044】前方に道路の陥没、橋の崩落、冠水、アンダーパスの冠水があった時に、陥没して水が満たされていない時には内部が非常に暗いため、通常では見えないが、スポットライトを当てることにより、陥没した内部の壁までの距離を読むか、或いはスポットライトが反射してこないことにより陥没を認識可能なため、回避ができる。また、水で満たされていた時には、スポットライト光が突き刺さった形で棒状に変化するため、水面までの距離や表面の状態を取得する事が可能である。前方の橋の崩落に関しては、スポットライトを当てた部分までの距離を読むか、スポットライトの当たった所が無いかにより、路面の異常を知る事ができ、回避が可能となる。また、冠水に関しても、道路の陥没時の検出と同様に、水面高さや表面が水かアスファルトかを識別ができるため、回避が可能となる。

【段落番号0045～0053】車両の周囲に配置した複数のマイクにより、周囲の事故、緊急車両の有無と近づいているのか遠ざかっているのか、踏切での列車の接近や踏切や可動橋などの警報を把握する事が出来、危険を回避可能である。

【段落番号0054～0065】取得した周囲画像データや周囲音データと走行情報などに基づいて、走行位置、走行姿勢、走行距離を確認補正すると共に、走行制御、走行経路決定、目的地リストとその扱い、迂回路対応、共通でみんなが使用できるグローバルデータ、個々の企業や住居内の配置データ、搭乗者の増減の管理、通行可能時間帯の管理などの制限条件制御、道路の輻輳データや事故の復旧状態、対地摩擦などの記憶平均、記憶標準偏差を含む統計データや暦日管理データによる経路選択などを可能とする。

【段落番号0066、0091】停止時の位置、姿勢の記憶と、運転再開時の位置、姿勢の読み出しと移動再開の対応。

【段落番号0067】緊急車両遭遇時の事前設定対応処理。

【段落番号0068～0073】地図情報と結節点、道路情報に従った操舵制御、結節点間の移動と走行距離管理と右左折、折り返し機能。前進後退時の操舵開始位置、操舵角の決定、道路幅と自車安全幅管理による通行制限、最小回転半径と対象物回避制御

【段落番号0074～0080】仮想前輪と操舵制御、車幅管理、及び回避行動管理、逆走車回避管理制御。

【段落番号0081】対地摩擦を算出する目的は、最大加減速度、最小旋回半径なので、実際の周囲での最大加減速度と最小旋回半径を管理する事により、対地摩擦を逆算する。但し、ここでの取得値は飽く迄、通常走行時での最大、最小である為、実際の対地摩擦よりも低く、余裕を持った値が算出されるが、通常はその範囲内で走行する事により、より安全な走行制御をする事を目的とする。また、若干の加算による制御から得られる値によりギリギリでの走行も可能ではある。

【段落番号0082～0087】逆走車対応に於ける最悪時のシナリオ。

【段落番号0088】静寂空間を考慮した周辺雑音音量と歩行者への注意喚起音の発生。通常の運転でも進行方向上に居る歩行者への注意喚起や対応が難しくなっているが自動運転においては更に危険性が増すことが予想されるため、最低限の注意喚起音は必須と考えられる。また、複数の周波数を使うことによる連続音の発生も可能とする。

【段落番号0089、0090】地面固定物 GPS による位置、姿勢取得を更に精度良くする為の補助機能として、固定物にQRコード等による位置補正マーカーを設ける制御。

【段落番号0092～0106】SSD等のフラッシュメモリー系の記憶装置とその他の記憶装置を使用した、安全確保の為のフォールトトレラント機能の実現と制御及び、フラッシュメモリー系の記憶装置の代わりに、FeRAMを使用した記憶装置の構成と管理。

【段落番号0107】 本発明の複数の多眼カメラによる移動体の構成と走行制御の特徴。

【段落番号0108】 様々な変更、改良を加えたものも含めて本発明の技術範囲に含まれること。

【段落番号0109】 本発明の複数の多眼カメラの各配置の調整や4輪車以外への対応など、状況により変更が可能である。

※ 本発明に特に記載は無いが、一般の電車で、非常ブレーキによる制動距離は、600m 以下とされ、新幹線の場合には、4000m 以下とされているので、踏切に多眼カメラを設け、その生データか或いは認識結果でも良いが、一般電車の場合は600m 以上手前から、新幹線の場合には4000m 以上手前から各列車の運転席或いは運転制御装置にも、その踏切情報を送ることにより、大幅な列車の踏切での衝突事故を未然に防止できる可能性があるものとする。当然、同じ線路上を速度の異なる複数種類の列車が走行する場合にはそれぞれの列車の制動距離で距離を決めても良いし、それらの内で制動距離が最大以上の距離で設定する事にしても良いと考える。

5. 備考

(1) 人間の両眼認識

以下の記載内容は、私一人の或る実体験を元に、長い間の研究開発経験に基づいて整理し考察したものであり、完璧なものかどうかはわかりませんし、まだ詳細部分は詰め切れていない所も多々在るかと思われます。しかしながら、ここでの実体験は、事実であり、これらから考えた内容には、辻褃の合うところが非常に多く、完璧では無いかも知れませんが、非常に近い所に至っていることは間違いないものと自負しております。

① 人間の両眼認識の問題点

【経緯】

私も、最初は人間の両眼は2眼ステレオカメラとは違って、凡ゆる画像に対して正しく距離を認識できるものと信じ、それを見つけられたら大発明になると考えておりましたが、残念なことに人間の両眼でも2眼ステレオカメラと同様に、水平に横たわった帯や、格子状に並んだものを見た時に距離を読み間違えるというミスを目撃してしまいました。

この発見は通常は滅多に体験できないものですが、条件さえ揃えれば再現性がかなり高いものと考えておりますので、ご興味のある方は、お試しください。

また、この人間の両眼で距離認識に失敗するというパターンは、幾つかあると思いますが、私の体験したパターンは、主に2つのパターンで、1つは、細かい格子状のもの、もう1つは水平に配置されたものですが、1つ目のパターンは条件を揃えない限り極めて遭遇頻度が低いもので、2つ目のパターンは遭遇頻度は高く些細というか微妙なものです。良く考えてみるとやはり距離を読み間違えているという程度のもので。

1つ目のパターンで私は3回くらい同じ体験をし、距離が分からなかったのは同じでしたが、じっと堪えて両眼を開けていられたのは最後の一度だけで、それ以外は1瞬で両眼を閉じてしまいましたので、どうなったのか詳しくはわかりませんでした。

そこまでは皆さんの中にも経験したことのある方がいらっしゃるのでは無いでしょうか。どうも人間はこの状態を感覚的に拒絶するというか、恐怖や眩暈、気持ち悪さを感じ直ぐにでも一旦両眼を閉じてから周囲を見回したくなりますし、心理的にも良く無いのかも知れませんが、特に1つ目のパターンをお試し頂く際には十分ご注意ください。

まず、パターン1では、距離が分からなかったのは3回だと記憶しているのですが、それ以上あったのかも知れません。

また、この人間の両眼で距離認識に失敗するというパターンは、人間の脳内で行っていると考えられる誤認識対策の為に、通常は条件を揃えない限り極めて遭遇頻度は低いのですが、私の経験した幾つかのパターン以外にも幾つかあるものと考えております。

【発見時の詳細状況】

パターン1: 細かい格子模様の壁との距離の誤認識

<遭遇状況>

このパターンでは遭遇した状況は常にほぼ同様の状況下であり、それ以外では今のところ、経験しておりません。初めて行った所か、或いは以前に行ったことをほとんど覚えていない所でのみ遭遇しますが、しかし一度遭遇した後では、同じ所で再度遭遇することは有りませんでした。

<形状と位置関係>

眼の高さの壁一面に縦横の格子模様に同色の小さなタイル(20mm 角くらい)がピシッと並んでおり、その下方は全く別の形となっており、上方と下方の位置が若干前後している状況で、下を向いて壁に真っ直ぐに相対していた後に一瞬両眼を閉じてから顔を上げ、両眼を開けてその格子模様の壁を見た瞬間に遭遇しました。

両眼から壁までの実際の距離は 50～60cm くらいだったかと思います。

< 遭遇時の現象 >

両眼を開けた時に見えたのは、左右にズレた格子模様がダブって見え、ピントが何故か手前に来ている様な感じで、両方の画像が軽いピンボケ状態でした。その次の瞬間に、左右の画像が中央に向かってゆっくりとズレて行き、両方の画像が重なった時点で動きを止め、画像にロックが掛かった様な状態になり、その時点では多少顔を動かしてもその位置に壁が見えました。また、タイルの縁の部分がほんの少しだけ毛羽立っていたのですが、その部分の画像が左右で違うので、キラキラしている様に眼に写りました。

画像からは壁が目前に迫り、恰もその距離(約 20cm 前後)に壁があるかの様に見え、ピントもその位置に合わせられた様なのですが、実際にはその距離に壁が無いので、軽いピンボケ状態のままでした。一旦両眼を閉じてから見渡すと、実際には 50～60cm くらいの距離でした。

< 検証条件 >

まず、このパターン1の場合、通常、検証する為の条件を揃えるには、2名以上の人が必要となります。その内の1名が被験者となり、被験者には距離が分からない様にして、上述の壁の前に立って頂いてから別の方の指示で両眼を開けて頂くだけです。多分、壁では無くてもしっかりと脚の付いたパネル上に貼られた一面に細かい縦横の格子模様の写った写真や絵でも可能だと思われます。人間は両眼以外にも距離を認識する手段を持っており、それらを自然と駆使して距離を察知してしまいますので、ここで注意点が幾つかあります。

- ・ まず、壁や写真にしろ、視界を覆うほど十分に大きい必要があります。被験者の近くに置けば、それ程大きい必要もないかも知れませんが、人間は距離の取得が難しい単純な形状の物に対しては、周辺部分を確認する様なので、出来るだけ大きい方が適していると思います。
- ・ 被験者に壁までの距離を絶対に知られては行けませんので、前以て、両眼を閉じて頂き、距離を調整する時の音や明るさの変化にも気を付ける必要があります。パネルなどを使用する場合には、パネルでは無く、被験者に近付いて頂くのが良いと思います。

なお、この検証条件には確率的な要素(偶然、最初から正しい位置を認識する等)も有りますし、実際の体験を基に論理的に組み上げたもので有りますから、被験者を交代したり試行を何回も繰り返す必要もあるかも知れません。

また、距離を読み間違えていても、その事に気が付かない場合も考えられますので、被験者が格子模様を見ている時に、格子模様の上に何かを被せるように置いたり、徐々に距離を離したりすると良く分かるかと思えます。

取り敢えず、1人で試したいという場合には、10mm 間隔以下の格子状の方眼模様のある板を眼を瞑りながら、眼の前に置き、眼を開いて、1つのマス目部分を凝視しながら、その板を徐々に離していくと、距離を読み間違えていた時には、1つのマス目だと思っていた所が2つのマス目に分離するのが分かるかと思えます。

パターン2: 両端を覆われた水平な帯状の物との距離の誤認識

< 遭遇状況 >

このパターンでは、条件さえ揃っていれば常に遭遇できますが、ちょっとした状況の違いによっては遭遇し難いこと、意識していないと気が付き難いかも知れません。

< 形状と位置関係 >

正面の数10m 離れた所の窓の内側に四角い板の様な物(例えばブラインドなど)が配置されており、その窓には、こちら側の建物の壁面が反射して写っており、その板状の物の左右両端の手前が窓枠などの何か別の物で覆われた状態になっている場合に、窓の内側の板状の物は、反射して写っているこちら側の壁の位置に見える、つまり壁の模様の様に見えることがあります。

< 遭遇時の現象 >

正面にある建物の窓を見ていたら、こちら側の建物の壁が反射して写っており、その壁に変な模様が見え、何だろうと思った事があります。

そして、それが正面の建物の窓に掛かっているブラインドだと気が付いたのですが、それでもこちら側の壁の模様に見え、顔を傾けて左右の眼の高さを変えると、ブラインドは、本来の位置に見える様になります。

< 検証条件 >

窓辺のブラインドなどの場合、ブラインドの高さ方向の画像要素が無い時にのみ遭遇が可能であり、ブラインドに高さ方向の画像要素が在る時にはその本来の位置に見えます。

ブラインドの場合、高さ方向の画像要素は、破損部分、汚れ部分、模様、近接した物の影などがこれに当たります。

その他のパターン:

上記以外にも、パターン2程度のもは、時々見つける事ができ、例えば表面の模様が視認できない程度の壁の向きが違って見えるなど、意識して探すと様々な場面で遭遇します。

そして、それらの共通点としては、水平方向画像だけで構成された部分に対して、その縁が見えなかったり、何かに隠れている場合、そしてパターン1の様に垂直方向画像成分が、両眼間の距離よりも狭い間隔で並んでいる場合です。


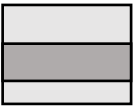
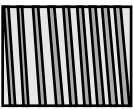
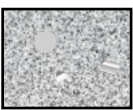
② 実体験から推測される人間の取っている両眼認識問題の対策1 (仮説: 簡易一時対策)

【実体験からの考察】

＜画像部分パターンと人間の認識＞

前述の実体験などから考えられる事を整理し、人間が両眼で見た場合の画像を、大きく7パターンに分類し、それぞれについて既存の2眼ステレオカメラ認識と、本発明による距離認識の比較結果を以下に示します。

表1. 画像の部分パターンと距離認識

パターン	パターンの特徴	人間の両眼認識	2眼カメラ認識	本多眼カメラ認識
P-0 	Null pattern: 模様も影も濃淡も無いパターン、或いは 模様が明確に視認できないパターン	× 距離情報の取得不可。	× 同左	× 同左
P-H 	Horizontal Pattern: 両眼方向の水平模様みのパターン	× 距離情報の取得不可。	× 同左	○ 距離情報の取得が可能。但し、模様の間隔が非常に狭いとカメラの数と配置によっては一意となり難くなる。
P-Vw 	Widely spaced non-horizontal pattern: 両眼方向に対して垂直あるいは傾斜し、両眼間距離よりも水平方向の間隔の広い複数のパターンか或いは単独のパターン	○ 模様部分の距離情報を取得可能。	○ 同左	○ 同左
P-Vn 	Narrowly spaced non-horizontal pattern: 両眼方向に対して垂直あるいは傾斜し、両眼間距離よりも水平方向の間隔の狭いパターン	△ このパターンは、距離を一意に特定できない。なお間隔が狭い程、距離候補が多数存在してしまう。	△ 同左	○ 距離情報の取得が可能。但し模様が非常に狭いとカメラの数と配置によっては一意となり難くなる。
P-Sh 	Horizontal shadowed pattern: 両眼方向に広がった影等による濃淡模様のパターン また、両眼方向に広がった縁などの境界部分もこのパターンに含む	× 距離情報の取得不可。	× 同左	○ 模様部分、縁などの境界部分の距離情報を取得可能。
P-Sv 	Non-horizontal shadowed pattern: 両眼方向に対し垂直あるいは傾斜した影等による濃淡模様のパターン また、両眼方向に対し垂直あるいは傾斜した縁などの境界部分もこのパターンに含む	○ 模様部分、縁などの境界部分の距離情報を取得可能。	○ 同左	○ 同左
P-R 	Random pattern: ランダム模様で、各部分の模様が明確に視認できるパターン	○ 模様部分の距離情報を取得可能。	△ 現状の点毎の認識では全体の距離取得が困難。	○ 模様部分の距離情報を取得可能。

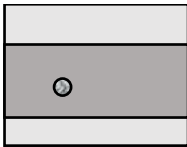
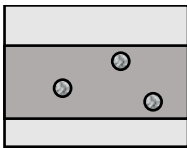
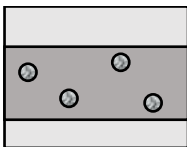
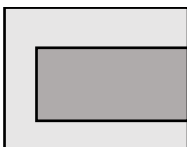
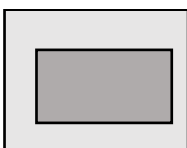
＜画像部分パターンの組合せと人間の認識＞

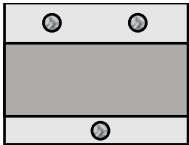
通常、前述の各パターンに於いて距離を認識できないものに対して、人間は距離を認識できるものをそのパターンの内部及び周辺に探し、それらとの位置関係に基づいて位置及び形状を類推しているものと思われます。

説明の為に、前述のパターンを幾つかに分類すると、

- Category-Unidentified: Cat-U と略す。両眼で距離が取得できないパターン P-0, P-H, P-Sh
- Category-Ambiguous: Cat-A と略す。両眼で距離を一意に特定できないパターン P-Vn
- Category-Identified: Cat-I と略す。両眼で距離を取得できるパターン P-Vw, P-Sv, P-R

表2. 画像の部分パターンの組合せと距離認識

パターンの組合せ	組合せ例	人間の両眼処理	2眼カメラ認識	本多眼カメラ認識
Cat-U の内部に1つの Cat-I が存在するもの	 水平模様の上にランダム模様 that 1つ在る	水平模様までの距離をランダム模様までの距離として認識し、水平模様はこちらに向いた平板と見做す	ランダム模様までの距離のみ取得	水平模様の上下端それぞれまでの距離とランダム模様の距離を全て独立して取得
Cat-U の内部に複数の Cat-I が存在するもの	 水平模様の上にランダム模様 that 2つ or 3つ在る	全ランダム模様の通る平面に沿って水平模様が存在するものと見做す	ランダム模様までの距離のみ取得	水平模様の上下端それぞれまでの距離とランダム模様の距離を全て独立して取得
Cat-U の内部に4つ以上の Cat-I が存在するもの	 水平模様の上にランダム模様 that 4つ以上在る	奥の面を構成する3つのランダム模様を通る平面に水平模様があるものと見做し、手前に存在するランダム模様は手前に浮いたものと見做す	ランダム模様までの距離のみ取得	水平模様の上下端それぞれまでの距離とランダム模様の距離を全て独立して取得
Cat-U の左右一方にのみ Cat-I が存在するもの	 水平模様の左右一方に、終端境界が在る	水平模様までの距離が終端境界にあり、こちらに向いた平面と見做す	水平模様の左端までの距離のみ取得	水平模様の上下端と左端までの距離を全て独立して取得
Cat-U の左右両端に Cat-I が存在するもの	 水平模様の左右一方に、終端境界が在る	水平模様の左右までの距離が左右の終端境界までとし、その間の傾斜した平面と見做す。但しここで左右の終端境界が前後に傾いていた場合には、引き続きの調査が必要	水平模様の左右端までの距離を独立して取得	水平模様の上下端と左右端までの距離を全て独立して取得

Cat-U の上下に Cat-I が存在する もの		水平模様部分までの距離は不明 のままで、上下に既知の部分があ る	ランダム模 様までの距 離のみ取 得	水平模様と終端境 界の位置の双方の 距離を別々に取得
---------------------------------	---	--	-----------------------------	----------------------------------

③ 人間の取っている両眼認識問題の対策2 (仮説:最終対策)

前記の説明では、飽く迄も記憶に無い、新たなものに対しての一時的な処理であり、人間の行っている画像認識の本の一部に過ぎない。

ここからが、本当の人間の(画像)認識処理である。

■ 普段、目にしている殆ど全ての物に対して、位置関係、固さ、触り心地、場合によっては匂いや重さまでも記憶している。

←根拠:例えば、今向いている方向に対して、反対側の物や、壁の向こう側の物の位置関係も、ある程度はそこに行かなくても分かる。しかも、特に見ている範囲の物に対しては、だいたいの固さや触り心地、匂いや重さも推測できる。

■ これら過去から直近までの情報を蓄積し、記憶しているが古い情報は特別な印象でも無い限り、時間と共に失われていく。

←根拠:例えば、家の中で何か新しい物が有ったり何かが無くなると気が付くし、また何処かを歩いていて、記憶に無い物を見つけると気が付くことがある。また、時々お邪魔する家での模様替え等に気が付くことがあるが、滅多に行かない所では、気が付かないことの方が多い。また滅多に行かない場所にあるものでも自分のお気に入りのものが壊れていた時には、非常に悲しい気持ちになったりする。

■ 凡ゆる物に対して、全体の形や部分的な形、それとそれに付随する各種情報をも位置関係情報とは別に記憶している。

←根拠:写真などを見ても、そこに映っているものの大きさとか、形が異常だとか、固さがどのくらいだとか等もある程度判断できる。動く物に対しては、位置関係の記憶はあまり無いが、例えば歩いている道路で、人や自動車、バイクなどが近づいてきた場合には、顔や速度、動きなどを見ながら、冷静に避けたりするが、突然、熊などの危険動物が近付いて来た時には、パニック状態に陥ったり、退避行動を取ったりする。