視覚障害者用の歩行支援システム
A walking support system for blind person

Manaka Shunyuu

Abstract：

Under help of an assistant, we register vertexes of a GPS guiding polyline with screen mirroring system which consists of smartphone and PC. After the regisration, we follow the polyline only with GPS guidance system.

To the C-shaped head band, we arrange a lot of beep speakers which have unique direction and frequency.

On a sprint race (100m, 200m, 400m, 100mH, 110mH), we build a system which has an aim that a runner keeps in its lane. Under the screen mirroring system, an assistant sends out an appropriate information analyzing the lane image. The runner makes out the information through a C-shaped head band and open-ear speakers auditorily.

In a marathon race, we can guide a runner using a support cycle relatively easily. Getting an angle from the two velocity vectors, we send out the angle to a C-shaped head band.

In syncronized dance, using a closed head band which is a coupling of a C-shaped head band and a complementary C-shaped head band, we restore direction and location.

1. リモート通信

視覚障害者が目的地に安全・確実に到達できるような歩行支援システムを構築することを長年あれやこれやと思案してきました。最近になって GPS が希望に沿うような技術的進歩を遂げたようなので、これを中心に据えて、概論的ではありますが、アイデアを紹介したいと思います。

GPS における一つの誘導ラインの両端の点をバーテックスと称します。まずバーテックスを登録してポリラインを作らなければなりません。第一バーテックスは自宅前でしょう。その後は歩道の屈曲箇所、道路の直前などとなります。バーテックスの入力は家族の方と連携して行います。家族の方が視覚障害者とリモート通信を行い、視覚障害者のスマホの Web カメラの映像を見て立ち止まるべきバーテックスまで誘導します。バーテックスに達したら家族の方の PC においてバーテックスを登録します。誘導ラインはあまり長いと不都合な事が起こるかもしれないのでその長さに制限を与えます。

ただし、リモート通信ではシステムのタイムラグが存在するのでこれを考慮しなければなりません。視覚障害者の歩速が 0.5[m/sec] であり、システムのタイムラグが、データの移動方向がスマホ =>PC の場合とデータの移動方向が PC=> スマホの場合で同じであって、2[sec] であると仮定します。家族の方の PC の画面には図 1 のような視覚障害者を中心とする二つのタイムラグサークルを描いておきます。各々の半径は $0.5 \cdot 2$、$0.5 \cdot (2+2)$ となっています。

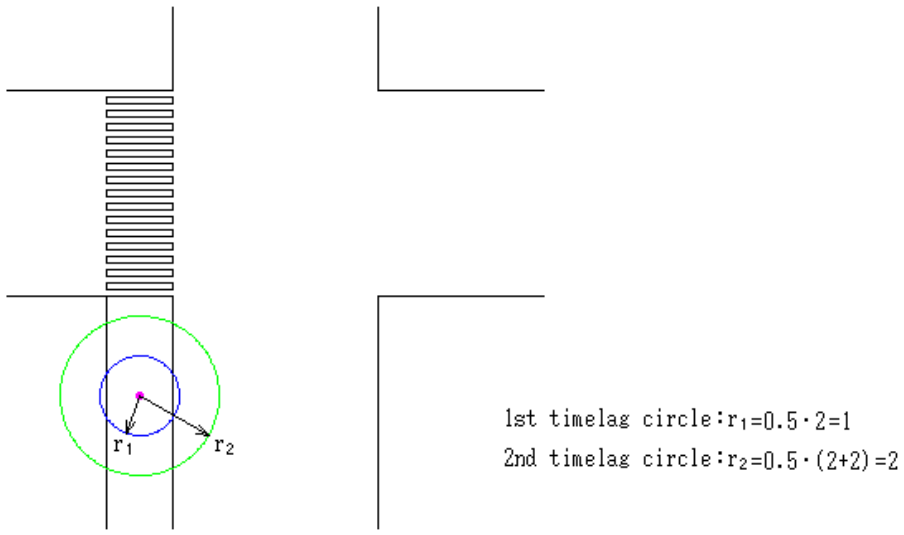

Fig. 1 timelag circle

家族の方が「ストップ」というコマンドを発した時点で、家族の方の PC の画面上で視覚障害者が図のマゼンタ色の小円の位置にあるとします。実際には視覚障害者はここから 2[sec] 歩いていて第一タイムラグサークル上に位置します。そしてコマンドが 2[sec] 要して視覚障害者に到達した時点で、視覚障害者は第一タイムラグサークル上から 2[sec] 歩いていて第二タイムラグサークル上に位置します。したがって、道路の手前で視覚障害者を停止させたい場合は、第二タイムラグサークルが道路に

かかる前に「ストップ」というコマンドを発しなければなりません。また、Web カメラによる映像において自動車が動いている場合は、自動車の速度に関するタイムラグサークルも考慮しなければなりません。

タイムラグはスマホと PC の時計を例えばミリ秒単位で同期させ、スマホの時刻を Web カメラの映像に表示し、この時刻と PC の時刻を比較すれば求められます。

家族の方が Web カメラの映像を見て視覚障害者を誘導する場合の、進行方向を変えたり、横移動させたりするために必要なハードウェアを以下に示します。

・C 型バンド：ビープスピーカーを多数配置する。特定のビープスピーカーを鳴らして体の正面が向くべき方向を指示する。図 6 において周波数は、中央が f_0、右が $f_0 > f_i > f_{i+1}$、左が $f_{-(i+1)} > f_{-i} > f_0$

・耳スピーカー：一定横移動量に対応する信号を送る。音声で体の正面が向くべき方向・横移動量を指示する。

コマンドは音声で伝え、体の正面の方向の回転・回転を伴わない横方向への移動に関する信号は主に PC のマウス・キーボードで送ります。

2. GPS 誘導システム

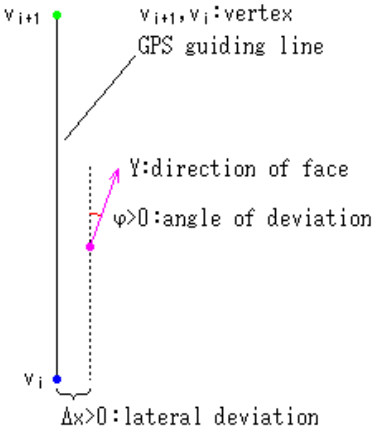

Fig. 2 GPS guiding line

図 2 のように誘導ラインからのずれが生じてこれが増加する場合を考えます。誘導ラインに戻すやり方は以下の二通りあります。

(1)C 型バンドを用いて視覚障害者の運動座標系の Y 軸と誘導ラインがなす偏角を 0 として、誘導ラインと平行に歩く。その後、耳スピーカーを用いて誘導ラインと視覚障害者間の偏差を 0 とする。

(2)C 型バンドを用いて偏角の符号を変えて歩く。偏差が 0 となったら C 型バンドを用いて偏角を 0 とする。

実際には偏角を 0 とすることは難しいかもしれないので、以下の交差法を選択することになるかもしれません。

(3) 偏差が小さくなるように偏角をある値にする。偏差の符号が変わってその大きさがある値になったら、偏角を、符号は逆にし、大きさは前より少し小さくする。これを繰り返し、その空間的可変ピッチがある値に達したらその後は偏角の大きさは変えず偏角の符号だけを変えて、偏差の符号を変える。その歩行経路は誘導ラインと交差する三角波状となる。

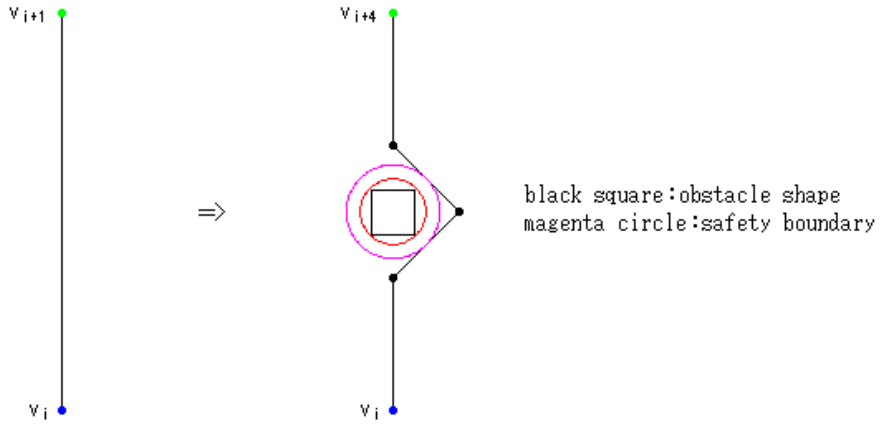

Fig. 3 obstacle shape

もし、誘導ライン上に障害形状が存在する場合は、図 3 のように、これを複数の円に置き換え、これらの円を回避することのできるバーテックスを設けて誘導ラインを更新します。

リモート通信は行わないのでこれらの修正の指示はすべてシステムが行います。あらゆるイベントに対処しようとすれば以下のデバイスやシステムが必要となるでしょう。

・光学センサー：横断歩道の信号や障害形状の認識
・超音波ドップラーセンサー：移動体の認識
・AI システム

3. 陸上競技

視覚障害者が 100m 走に出場する場合を考えます。視覚障害者は頭頂部にカメラを装着します。リモート通信の場合の家族の方に相当する要員は競技場内で PC の画面に現れるカメラの映像をモニタリングします。図 2 の GPS における誘導ラインに対応するのがレーンラインです。もし走者の運動座標系の Y 軸とレーンラインがなす偏角が生じたら、C 型バンドを用いてこれを 0 とし、また、レーンの中央からの偏差が大きくなったら耳スピーカーを用いて修正します。

200m 走、400m 走では曲率の切替が各々一回、三回です。曲率の切替はカメラの映像のモニタリングだけでは十分とはいえないので、曲率が切替わる地点に発声要員を配置します。

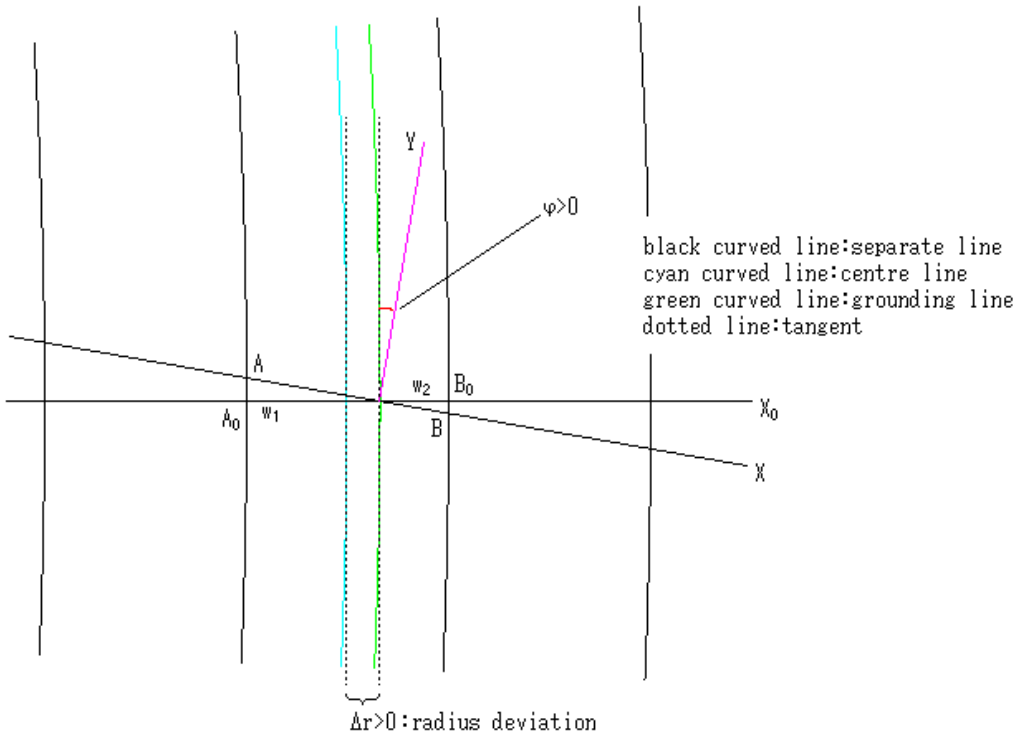

Fig. 4 grounding line

図 4 のように、走者の運動座標系の Y 軸と走者の接地点を通るレーン内の中間ラインの接線がなす偏角 φ が生じたら、C 型バンドを用いてこれを 0 とします。
曲線レーン区間で走者が観測する偏角は見かけの観測量です。

$$\varphi = \arctan(\tan\varphi_b / \cos\theta)$$

見かけの観測量 φ_b を見かけの偏角と称します。

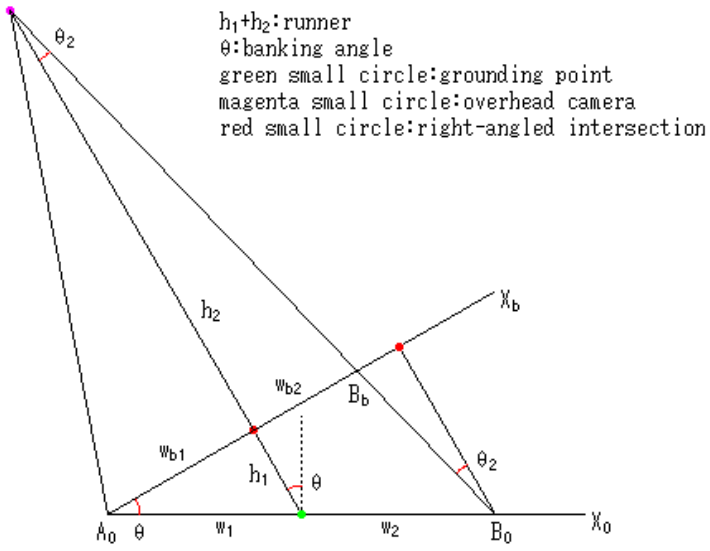

Fig. 5 apparent internal division

曲線レーン区間では、走者は図 5 のようにバンク角 θ を有していて、走者からは自分の足がレーン内を w_{b1}: w_{b2} に内分するように見えます。この走者から見える接地点の位置は実際の接地点とは少し異なるので見かけの接地点と称します。レーンの中央を走ろうとすれば、見かけの接地点が外側のレーンラインに少し寄っていればいいのです。図において $w_{\mathrm{b2}} = nw_{\mathrm{b1}}$ となっていれば

$$h = h_1 + h_2, \quad w = w_1 + w_2$$
$$w_1 \cdot 2\sin\theta = (h + w\sin\theta) - \sqrt{h^2 + w^2\sin^2\theta - 2hw\sin\theta \cdot (1-n)/(1+n)}$$
$$w_{b1} \cdot 2\tan\theta = (h + w\sin\theta) - \sqrt{h^2 + w^2\sin^2\theta - 2hw\sin\theta \cdot (1-n)/(1+n)}$$

特にレーンの中央は、$w_1 = w/2$ として

$$n = (2h - w\sin\theta)/(2h + w\sin\theta)$$

もし中間ラインを外側のレーンラインに寄せたい場合は

・中間ラインの接線と微小な負の角度をなす直線を基準にして偏角を生じさせ、これを 0 とするようにバンク角を調整して短時間走り

もし中間ラインを内側のレーンラインに寄せたい場合は

・中間ラインの接線と微小な正の角度をなす直線を基準にして偏角を生じさせ、これを 0 とするようにバンク角を調整して短時間走り

その後、中間ラインの接線を基準にして、偏角を生じさせ、これを 0 とするようにバンク角を調整して走ります。

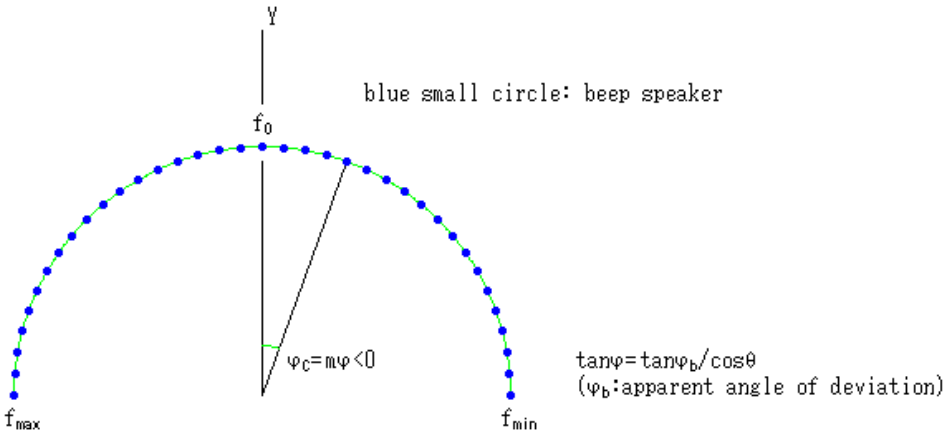

Fig. 6 C-shaped head band

図 6 に C 型バンドのビープスピーカーの配置を示します。陸上競技では偏角 φ は日常生活のそれと比すると非常に小さいと推測されます。そこで運動方向の修正を促す方向角 φ_C は、偏角 φ ではなく、その m 倍とします。

$$\varphi_C = m\varphi$$

ある方向角 φ_C とそれに対応する運動方向の修正量は各人が体感として記憶してもらいます。
m は暫定的に以下のように設定することにします。

$$m \gtrsim v_{\mathrm{run}}/v_{\mathrm{walk}}$$

4. ヨーイング

100m 走、200m 走いずれにおいても走者の頭が周期的にヨーイングすることがあります。これは一種のノイズであり、もしこれが除去できない場合はレーンの中央からの偏差の変化から偏角を求めます。最初に偏差だけで走ってみてよい結果が得られれば、以後は偏差だけを用いることにします。

偏差だけを用いる方法は他にもあります。GPS で誘導する場合は以下の誘導要素を用います。

・二つの曲線レーンの曲率中心：曲線レーン区間を誘導する

・上の二点を通る線分：直線レーン区間を誘導する

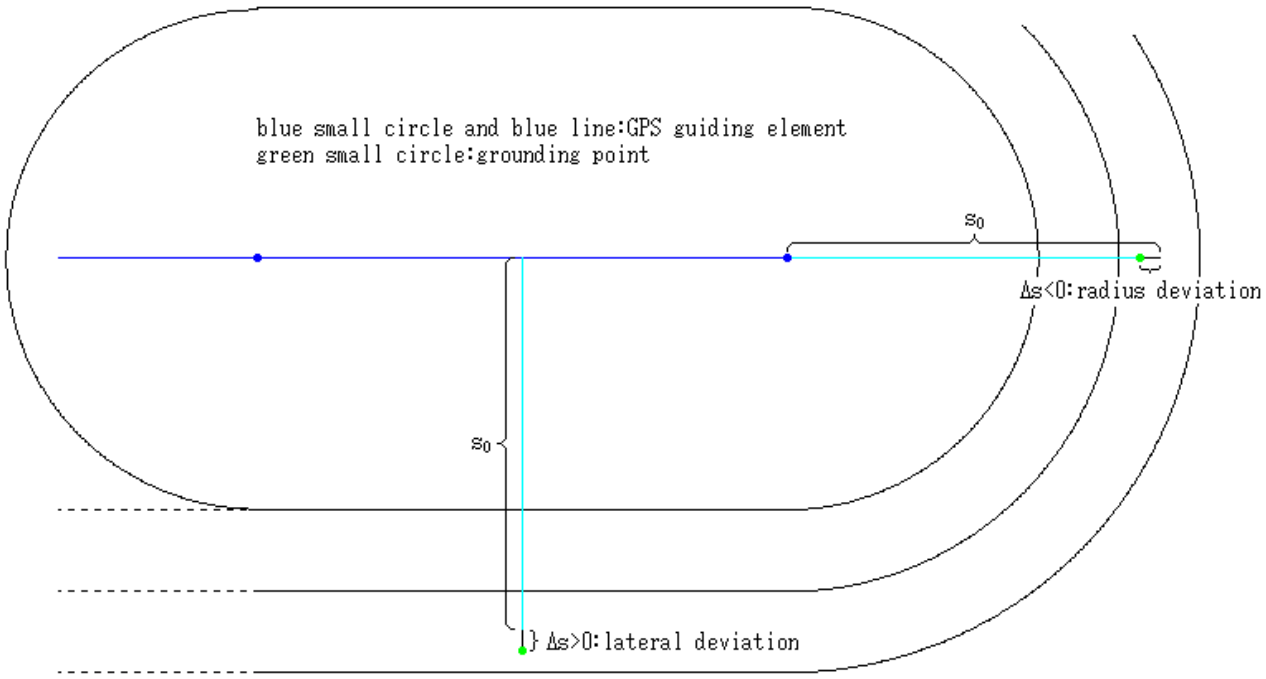

Fig. 7 GPS guiding element

図 7 はこれらの誘導要素を示しています。実際には、曲線レーン区間では走者は図 5 のようにバンク角 θ を有しています。したがって、GPS 機器の位置を h_{GPS} とし、図 4 に示されるレーン内のセンターラインにおけるバンク角を θ_{centre} とすると

$$s_0{}' = s_0 - h_{\mathrm{GPS}} \sin\theta_{\mathrm{centre}}$$

コーナーの出口と入口では誘導要素を切替えます。

5. 基準線

C 型バンドで与えられる方向の修正量の基準となる直線を以下に示します。

・リモート通信：アシスタントが選択した直線
・GPS 誘導システム：誘導ライン
・陸上競技：レーンライン (直線レーン区間)、接線 (曲線レーン区間)、任意の直線 (曲線レーン区間)

方向の修正が一回で完了しない場合があります。そのような場合は、φ を体の正面の回転角として

・φ_1 の回転
・φ_2 の回転 ($\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$)
・リセット (図 6 の f_0)

のように複数回回転させます。

6. 後退

C 型バンドと耳スピーカーがコントロールできるのは

・C 型バンド：体の正面の方向の運動
・耳スピーカー：横方向の移動

です。体の正面の方向の運動は前進または停止です。

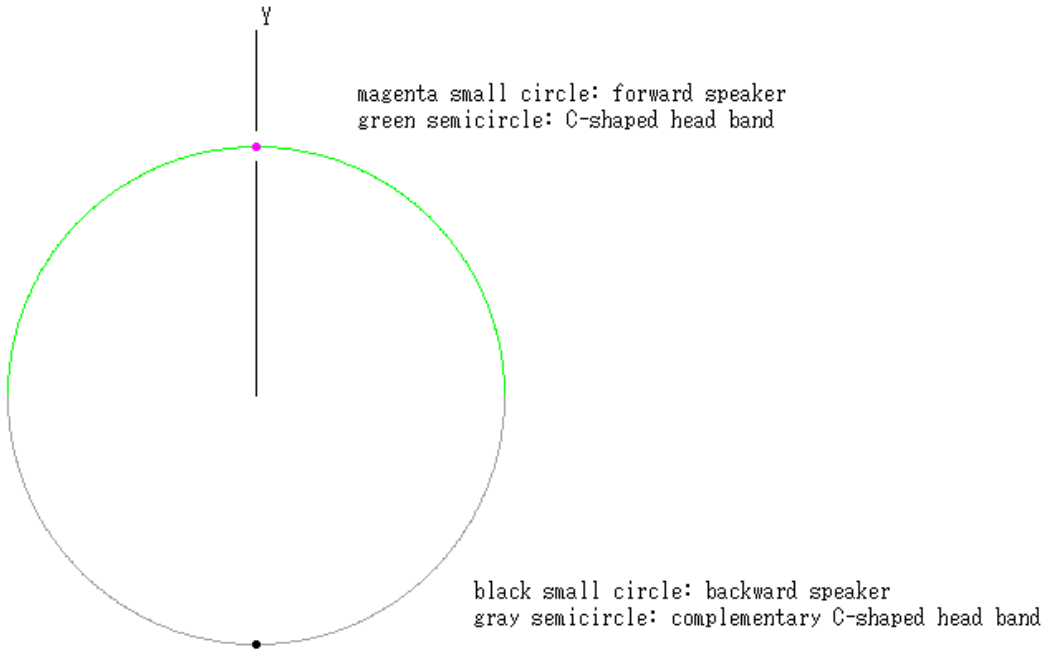

Fig. 8 circular head band

補完 C 型バンドを C 型バンドに組み合わせて図 8 のような輪状バンドを構成すれば、後退の指示が可能になります。横方向の移動では左右いずれかの耳スピーカーを鳴らし、体の正面の方向の前進・後退では前または後ろのスピーカーを鳴らします。必要とあれば音ベクトルの始点として左右両方の耳スピーカーを鳴らします。

7. レース前後の選手の誘導

レース中の C 型バンドと耳スピーカーへの信号の出力は、GPS 誘導システムとリモート通信で異なります。

・GPS 誘導システム：システムがすべての修正を行う。
・リモート通信：PC アシスタントが競技場内の PC を操作してすべての修正を行う。

レース前は誘導アシスタントが選手をスターティンググリッドに無線で誘導します。スターティンググリッドに足がついたらレース用の修正プログラムに移行します。もしフライングがあれば修正プログラムからエスケープし、誘導アシスタントが再度スターティンググリッドに無線で誘導します。

フィニッシュラインから一定の距離に近づいたら耳スピーカーへ対応する信号を出力します。倒れ込みはフィニッシュライン近くに位置する誘導アシスタントが判断し、する場合はあらかじめ決めておいた言葉を発します。走り終えたら修正プログラムからエスケープし、誘導アシスタントが接触や衝突がないように無線で誘導します。

8. マラソン

マラソンの場合は自転車が自由に伴走できるので比較的容易に選手をガイドできます。伴走自転車の速度ベクトルと選手の速度ベクトルのなす角度を求め、これを選手の C 型バンドに出力し、ビープスピーカーを鳴らして進行方向の変更を促します。また、横方向の移動も指示します。伴走自転車は基本的に選手の斜め少し前に位置します。

この方法はトラック競技に応用できるかもしれません。競技場内はモニタリングできると仮定します。モニター上にリアルタイムで当該選手をプロットし、その少し前に仮想伴走自転車を自動走行させ、モニター上で二つの速度ベクトルのなす角度を求め、これを選手の C 型バンドに出力します。仮想伴走自転車の速度ベクトルは対応する縁石上の一点における接線と平行なベクトルです。

実競技以外における選手の移動、たとえば入退場、整列、選手宣誓、誘導、インタビュー、表彰等においては、仮想伴走自転車はプログラミングで自動走行させるかリアルタイムで手動走行させます。

9. シンクロナイズドダンス

シンクロナイズドダンスではダンス要員が格子状に配置され、シンクロナイズされた動きを行います。視覚障害者がダンスをする際に懸念されるのは、体の正面の方向が正方向 (ホームダイレクション) から逸れ、体の位置がホームポジションからず

れることです。これらを修正するのに要する時間と演舞の時間は以下のようになっているとします。

$$\Delta t_{\mathrm{restoration}} \ll \Delta t_{\mathrm{dance}}$$

もし $\Delta t_{\mathrm{restoration}}$ が大きくなるのであれば、修正の動きを dance と違和感がなく、dance の一部であるかのように行います。

簡単のため $(\Delta t_{\mathrm{dance}})_{ijt}$ はすべて同じ大きさとします。i, j は格子状に配置されたダンス要員に関する添え字、 t は時間に関する添え字です。$(\Delta t_{\mathrm{restoration}})_{ijt}$ は i, j の組み合わせに関して異なることが予想されます。したがって、何も手を打たないとシンクロナイゼーションが成り立ちません。

シンクロナイズドダンスでは電子機器は必要最小限に留めます。使用する場合は容易に入手できるものだけに限定します。dance、restoration の開始は音で知らせます。restoration では手拍子と足踏みを同期させて用います。列の先頭のダンス要員の前に手拍子要員が立ち、restoration の開始の合図として手拍子・足踏みを二回行います。手拍子は、列の先頭のダンス要員が前にいる手拍子要員の手拍子を聞き分けることができるように工夫します。列の先頭のダンス要員は、手拍子要員による二回の手拍子・足踏みの後、修正を確定させ、足踏み・手拍子を二回行います。後続のダンス要員は、直前のダンス要員の足踏み・手拍子の後、修正を確定させ、足踏み・手拍子を二回行います。

手拍子は平面図的に一直線になっていることが望ましいので、手拍子の位置は、たとえば、手拍子要員は右の肩より上の右オフセット、ダンス要員は左の肩より上の左オフセットとします。

restoration が芳しくない場合、もし手拍子要員がダンス要員と同数確保できるのであれば、手拍子要員を各ダンス要員の前に配置します。列方向の間隔は手拍子要員とダンス要員が接触しないように取ります。restoration の精度が上がってきたら手拍子要員を減らしてみます。

公式の場でのダンスにおいては手拍子要員の身なりは黒子の要素を取り入れます (例えば頭巾の装着)。録画においてダンス要員の演舞を可能な限り隈なく見せたい場合は手拍子要員を CG 処理で消去します。

制御音の発生源とタイミングの例を以下に示します。

・$(\Delta t_{\mathrm{dance}})_{ijt}$ の前：太鼓；各 dance の開始の合図。一打。
・$(\Delta t_{\mathrm{dance}})_{ijt}$ の前：スマホ；手拍子要員への各 dance の開始の一回の手拍子の合図。
・$(\Delta t_{\mathrm{restoration}})_{ijt}$ の前：太鼓；手拍子要員への連続二回の手拍子の合図。二打。
・$(\Delta t_{\mathrm{restoration}})_{ijt}$ の前：スマホ；手拍子要員への連続二回の手拍子の合図。

restoration が芳しくない場合、手拍子要員を増員するやり方ではなく、スマホを用いるやり方もあります。スマホは直前のダンス要員の背中に装着させて電子手拍子を取ります。

・$(\Delta t_{\mathrm{dance}})_{ijt}$ の前：太鼓；各 dance の開始の合図。一打。
・$(\Delta t_{\mathrm{dance}})_{ijt}$ の前：スマホ；手拍子スマホへの各 dance の開始の一回の電子手拍子の合図。
・$(\Delta t_{\mathrm{restoration}})_{ijt}$ の前：スマホ；手拍子スマホへの連続二回の電子手拍子の合図。

スマホの音量が小さい場合は音量ブースターを用います。列におけるダンス要員の間隔は保たれますが、列がベクトル的に揃わない可能性があります。そのような場合は、手拍子要員列を第 1 列のダンス要員の隣に配置します。

初めはダンス要員は 3 行 3 列とし、restoration に重点を置きます。列方向は間隔をできるだけ詰め、体を一回転させるような演舞は控えます。回数を重ねてコツをつかんだら、間隔を広げ、演舞に関する制限をなくします。dance は簡単なもの、たとえばラジオ体操から始めます。$\Delta t_{\mathrm{restoration}}$ ではラジオ体操の音声はオフにします。習熟したらラジオ体操を体の平行移動、回転を要所に挿入して行います。最終ステージとしては、たとえば制御要員と手拍子要員が太鼓を装着し、$\Delta t_{\mathrm{dance}}$ で前進する、というものがあります。

10. 伝統芸能

視覚障害者と伝統芸能の関わりを考えてみます。調べたところ、国立の養成所ではワキ方、狂言方、歌舞伎俳優等に関して一般の人に門戸を開いているようです。以下は視覚障害者が技芸を十全に修得できる可能性に関する筆者の予想です。

・ワキ方：△
・狂言方：△
・歌舞伎俳優：×

以下は△を○にする手段ではないかと思われるものです。

・顔認証技術

・AI

歌舞伎俳優に関してはホームページでは否定的な表現をしています。TV 放送では確かにそのようなシーンが多々見受けられます。

　劇場では GPS 誘導ライン、レーンラインが使えません。空間移動に関しては前述のリモート通信で工夫に工夫を重ねれば案外すんなり行くかもしれません。