

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7296064号

(P7296064)

(45)発行日 令和5年6月22日(2023.6.22)

(24)登録日 令和5年6月14日(2023.6.14)

(51)国際特許分類

F I

B 6 0 W 30/165(2020.01)

B 6 0 W 30/165

B 6 0 W 40/105(2012.01)

B 6 0 W 40/105

B 6 0 W 40/114(2012.01)

B 6 0 W 40/114

G 0 5 D 1/12 (2006.01)

G 0 5 D 1/12

Z

G 0 8 G 1/00 (2006.01)

G 0 8 G 1/00

X

請求項の数 1 (全7頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2018-21411(P2018-21411)
(22)出願日 平成30年1月22日(2018.1.22)
(65)公開番号 特開2019-128929(P2019-128929
A)
(43)公開日 令和1年8月1日(2019.8.1)
審査請求日 令和3年1月18日(2021.1.18)

(73)特許権者 518046875
本田 陽一郎
岐阜県可児市皐ヶ丘3 - 1 3 6
(72)発明者 本田 陽一郎
岐阜県可児市皐ヶ丘3 - 1 3 6
審査官 戸田 耕太郎

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 隊列走行追従制御方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

車間距離を維持し追従する車両の隊列走行追従制御方法に於いて、先行車及び追従車の位置座標を各々 (x_r, y_r) 、 (x_c, y_c) とし、先行車及び追従車の方位角を各々 θ_r 、 θ_c として、縦偏差、横偏差及び方位角偏差を各々(数1)式(3)、(4)及び(5)にて定義される x_e 、 y_e 、 θ_e とし、先行車及び追従車の速度を各々 v_r 、 v_c とし、先行車のヨーレートを $\dot{\theta}_r$ とし、先行車と追従車の重心間距離を L とし、制御定数を K_x 、 K_y 、 K_θ として式(1)、(2)を制御則として適用する際に、式(2)右辺第2項の正弦関数の引数に式(2a)に示すように補正項を加えることにより、定常旋回中の横偏差を生じさせること無しに隊列走行追従制御を可能とする隊列走行追従制御方法。

(数1)

$$v = v_r \cos \theta_e + K_x x_e \dots (1)$$

$$= \dot{\theta}_r + v_r (K_y y_e + K_\theta \sin \theta_e) \dots (2)$$

$$= \dot{\theta}_r + v_r (K_y y_e + K_\theta \sin(\theta_e - (\dot{\theta}_r / v_r) L)) \dots (2a)$$

$$x_e = (x_r - x_c) \cos \theta_c + (y_r - y_c) \sin \theta_c \dots (3)$$

$$y_e = -(x_r - x_c) \sin \theta_c + (y_r - y_c) \cos \theta_c \dots (4)$$

$$\theta_e = \theta_r - \theta_c \dots (5)$$

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は車両の隊列走行追従制御に於ける「path following 制御則」(非特許文献1)の応用に関する(図1参照)

【背景技術】

【0002】

車両の隊列走行に於ける追従制御に「path following 制御則」として知られている制御則が応用されている(非特許文献2、3参照)。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【文献】 A Stable Tracking Control Method for an Autonomous Mobile Robot by Kanayama, Yutaka et al., in Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 384 - 389, May 1990.

10

トラックのPath Following 制御に基づく自動運転 深尾隆則 他 日本機械学会論文集(C編)77巻 783号(2011-11)

トラックの隊列走行における制御技術 深尾隆則 他 システム/制御/情報 Vol. 58, No. 5 pp. 175 - 180, 2014

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0004】

車間維持を必要とする隊列走行追従制御に「path following 制御則」(式(1)(2))を応用する場合、制御則式(2)の方位角偏差の値として式(5)の定義に従って先行車と追従車との方位角偏差を用いると、旋回時に横偏差(式(4))が生じる。この横偏差を抑えることが本発明の課題である。

【数1】

30

40

50

$$v = v_r \cos \theta_e + K_x x_e \quad (1)$$

$$v = v_r \cos \theta_e + K_x (x_e - L) \quad (1a)$$

$$\omega = \omega_r + v_r (K_y y_e + K_\theta \sin \theta_e) \quad (2)$$

$$\omega = \omega_r + v_r (K_y y_e + K_\theta \sin(\theta_e - (\frac{\omega_r}{v_r})L)) \quad (2a)$$

$$x_e = (x_r - x_c) \cos \theta_c + (y_r - y_c) \sin \theta_c \quad (3)$$

$$y_e = -(x_r - x_c) \sin \theta_c + (y_r - y_c) \cos \theta_c \quad (4)$$

$$\theta_e = \theta_r - \theta_c \quad (5)$$

$$\dot{x}_c = v_c \cos \theta_c \quad (6)$$

$$\dot{y}_c = v_c \sin \theta_c \quad (7)$$

$$y_e = (K_\theta / K_y) \theta_e \quad \theta_e = L / R \quad (8)$$

$$\zeta = K_\theta / (2\sqrt{K_y}) \quad \xi = v_r \sqrt{K_y} \quad (9)$$

10

記号の説明

K_x, K_y, K_θ : 制御定数

v_r : 先行車速度

$\omega_r (= \dot{\theta}_r)$: 先行車ヨ一角速度

x_r : 先行車 x 座標

y_r : 先行車 y 座標

θ_r : 先行車方位角

x_e : 縦偏差

y_e : 横偏差

θ_e : 方位角偏差

v_c : 追従車速度

$\omega_c (= \dot{\theta}_c)$: 追従車ヨ一角速度

x_c : 追従車 x 座標

y_c : 追従車 y 座標

θ_c : 追従車方位角

L : 先行車と追従車の重心間距離

R : 曲率半径

ζ : 車両動特性を無視した場合の回転運動系の減衰定数

ξ : 車両動特性を無視した場合の回転運動系の固有角周波数

20

30

40

【課題を解決するための手段】

【0005】

式(1)及び(2)の制御則は式(6)及び(7)に示す非ホロノミックな拘束条件を持って走行する先行車の軌跡、即ち先行車の回転中心(重心)の軌跡を同じ非ホロノミックな拘束条件を持って走行する追従車即ち、追従車の回転中心(重心)が正確になぞることが出来る特性を有する。

【0006】

従って、車間距離を維持しつつ先行車に追従させる隊列走行追従制御に於いては式(1)(2)に於ける縦偏差、横偏差及び方位角偏差の値として、先行車との偏差を用いるので

50

はなく、先行車が車間距離 L だけ前に通過した点における先行車の位置方位角との偏差を用いることによりこの制御則の正確な追従特性が得られる。

【 0 0 0 7 】

旋回している先行車を、車間距離を維持して追従する場合に式 (2) に於いて先行車との方位角偏差を制御量としてそのまま用いると必然的に横偏差を生じる。以下にその点を説明する。

【 0 0 0 8 】

定常旋回中には追従車のヨー角速度は先行車のヨー角速度と等しくなっているので、式 (2) の第 2 項は 0 となっている。従って式 (2) 第 2 項の括弧中の 2 つの項の和は 0 であるが、車間距離を維持して旋回しているので先行車との方位角差が生じている。このため、方位角差が正 (左旋回の場合) なら、負の横偏差、方位角差が負 (右旋回の場合) なら、正の横偏差が生じることになる。

【 0 0 0 9 】

道路の曲率半径を R 、車間距離 (ここでは先行車と追従車の重心間距離) を L とし、 L / R の範囲を考えれば方位角偏差は L / R であるから、式 (2) の第 2 項の括弧中の 2 つの項の和が 0 であるとの条件から横偏差の値は式 (8) で算出される。

【 0 0 1 0 】

式 (8) の分母の定数を大きくすると横偏差の値は小さくなるが、この定数を大きくすることに関して制御系の安定性の面からの制限がある。その点を次に説明する。

【 0 0 1 1 】

図 1 に示す隊列走行追従制御系に於いて、車両の動的な特性 (図 (1) に於いて「車両直進運動」、「車両回転運動」、「速度制御装置」及び「舵角制御装置」の部分) を無視し速度一定として方位角偏差が微小な範囲で線形化すると図 (1) の制御系のヨー回転運動系は 2 次系となり、その固有角周波数と減衰定数は式 (9) に示される (非特許文献 1) 。

【 0 0 1 2 】

一方速度一定として線形化した車両回転運動 (ヨー回転運動) 系も 2 次系とり、その固有角周波数は速度及び車両諸元より算出される。制御系の安定性の面から式 (9) の固有角周波数を、この車両回転運動系の固有角周波数より十分小さくする必要があり、制御定数の値は制限される。

【 0 0 1 3 】

又式 (9) の減衰定数を 1 前後に選ぶとすればこの面からも制御定数の値が制限される。

【 0 0 1 4 】

高速道路本線のようにその曲率半径が維持すべき車間距離より十分大である場合は、方位角偏差に対し L / R 分の補正を行うことにより旋回中の横偏差をなくすることが出来、課題が解決される。曲率半径 R は速度とヨー角速度の比より得られるので補正項は式 (2 a) に示す形となる (解決策 1) 。

【 0 0 1 5 】

汎用的な解決策として、先行車が距離 L 前に通過した時点の速度ヨー角速度及び位置方位角データを追従車に渡す方法により制御則 (1) (2) 式の正確な追従特性を得ることが出来、本発明の課題が解決される (解決策 2) 。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 6 】

高速道路本線の最小曲率半径での隊列走行旋回に於いても横偏差が抑えられる (解決策 1 , 解決策 2) 。

【 0 0 1 7 】

車両の最小回転半径レベルの旋回に於いても、同程度の大きさの車両の軌跡をなぞり追従することが出来る (解決策 2) 。

【 0 0 1 8 】

道路白線検出 (非特許文献 3 参照) に依存しないので車線変更に対応出来る (解決策 2) 。

【 図面の簡単な説明 】

10

20

30

40

50

【 0 0 1 9 】

【図 1】 隊列走行追従制御系のブロック図を示す。追従車が先行車から速度ヨー角速度データを受け取り、先行車との偏差を検出して、*path following* 制御則により演算した操作量を速度制御装置及び舵角制御装置に与えて追従制御する制御系を示す。ここでの追従車は隊列走行に於ける次の後続車の先行車となる。

【図 2】 *path following* 制御則の制御量である縦偏差、横偏差及び方位角偏差の定義を示す。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 0 】

解決策 1 は割算演算と加算演算を追加することで既存の装置に組み込むことが出来る。微小な正の値を速度信号にバイアスする等、0 割算を防ぐ手段を講じる。

10

【 0 0 2 1 】

解決策 2 は先行車側で

(1) 車間距離 L [m] に対して余裕を持たせた距離、例えば 3 0 [m] の間を、一定距離間隔 s [m] 例えば 0 . 0 5 [m] 毎に速度ヨー角速度及び位置方位角データを格納するバッファ、各速度ヨー角速度及び位置方位角データに対して各々 6 0 0 の数値を格納するバッファを用意する。

(2) 速度を積分して通過累積距離を得て、積分出力が s [m] となる毎に積分器をリセットし、その時点の速度ヨー角速度及び位置方位角データを各バッファの最前段の位置に格納しバッファを 1 段分シフトする、最後段のデータは捨てられる、又はサーキュラシフトとしても良い。

20

(3) 或る時間間隔で、例えば 5 [m s] 毎に、追従車に (L / s) 番目のバッファ上のデータ、即ち距離 L 前に通過した時点の速度ヨー角速度及び位置方位角データを追従車に送信する。

【 0 0 2 2 】

追従車は

(4) 先行車から送信された位置方位角データを用いて、偏差定義式 (3) (4) (5) により偏差を算出し、同じく送信された速度ヨー角速度データと共に式 (1) 及び (2) の変数の数値を算出し更新する。

【 0 0 2 3 】

30

先行車側及び追従車で

(5) ヨー回転速度の検出はヨーレートセンサーで行うことが出来る。

(6) 方位角検出はヨーレートセンサー出力の積分、磁気方位センサー出力、GPS ドップラより得られる方位角を統合して算出することが出来る。

(7) 位置検出は式 (6) (7) の積分によって得られる値と GPS - RTK 受信機より得られる位置データを統合して算出することが出来る。

(8) 速度は車輪の回転より得られる速度信号、GPS ドップラより得られる速度データを統合して得られる。

【産業上の利用可能性】

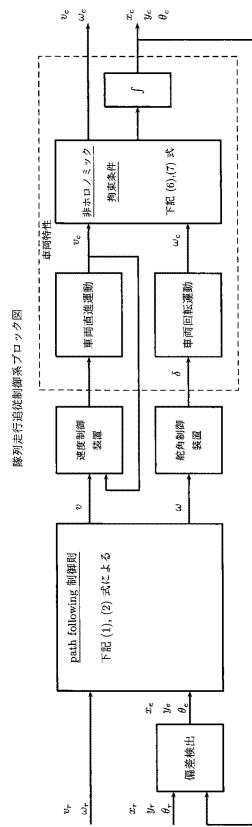
【 0 0 2 4 】

40

トラック、バス等の隊列走行追従制御システム

【 図面 】
【 図 1 】

【 図面 】
【 図 1 】



【 図 2 】

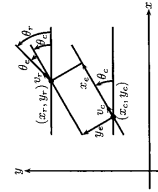
非ホロノミック拘束条件

$$\dot{x}_c = v_c \cos \theta_c \quad (6)$$

$$\dot{y}_c = v_c \sin \theta_c \quad (7)$$

v_c	:	追従車速度
$\omega_c (= \dot{\theta}_c)$:	追従車 γ 角速度
x_c	:	追従車 x 座標
y_c	:	追従車 y 座標
θ_c	:	追従車方位角

縦偏差 x_e , 横偏差 y_e , 方位角偏差 θ_e の定義



$$x_e = (x_r - x_c) \cos \theta_c + (y_r - y_c) \sin \theta_c \quad (3)$$

$$x_e = (x_r - x_c) \cos \theta_c + (y_r - y_c) \sin \theta_c \quad (3)$$

$$x_e = (x_r - x_c) \cos \theta_c + (y_r - y_c) \sin \theta_c \quad (3)$$

path following 制御則

$$v = v_r \cos \theta_e + K_x x_e \quad (1)$$

$$\omega = \omega_r + v_r(K_y y_e + K_\theta \sin \theta_e) \quad (2)$$

$$\omega = \omega_r + v_r(K_y y_e + K_\theta \sin(\theta_e - \frac{\omega_r}{v_r} L)) \quad (2a)$$

 K_x, K_y, K_θ : 制御定数 u_r : 先行車速度 $\omega_r (= \dot{\theta}_r)$: 先行車の角速度 x_r : 先行車 x 座標

y_r : 先行車 y 座標

 θ_r : 先行車方位角 L : 先行車と追従車の重心間距離

フロントページの続き

(51)国際特許分類

G 0 8 G**1/09 (2006.01)**

F I

G 0 8 G

1/09

H

(56)参考文献

特開 2 0 1 0 - 1 4 9 6 3 6 (J P , A)

特開平 1 1 - 0 2 0 4 9 9 (J P , A)

Yutaka Kanayama, Yoshihiko Kimura, Fumio Miyazaki, Tetsuo Noguchi , "A Stable Tracking Control Method for an Autonomous Mobile Robot" , Proceedings., IEEE International Conference on Robotics and Automation , IEEE , 1990年

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

B 6 0 W 3 0 / 1 6 5

B 6 0 W 4 0 / 1 1 4

B 6 0 W 4 0 / 1 0 5

G 0 5 D 1 / 1 2

G 0 8 G 1 / 0 0

G 0 8 G 1 / 0 9