

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B1)

(11)特許番号
特許第7141508号
(P7141508)

(45)発行日 令和4年9月22日(2022.9.22)

(24)登録日 令和4年9月13日(2022.9.13)

(51)国際特許分類 F I
G 0 6 F 30/20 (2020.01) G 0 6 F 30/20
G 0 6 F 30/15 (2020.01) G 0 6 F 30/15

請求項の数 19 (全25頁)

(21)出願番号	特願2021-169230(P2021-169230)	(73)特許権者	517146655 株式会社ネクスティエレクトロニクス 東京都港区港南2-3-13 品川フロン トビル
(22)出願日	令和3年10月15日(2021.10.15)	(74)代理人	100118902 弁理士 山本 修
審査請求日	令和3年10月15日(2021.10.15)	(74)代理人	100106208 弁理士 宮前 徹
		(74)代理人	100196508 弁理士 松尾 淳一
		(74)代理人	100147991 弁理士 鳥居 健一
		(74)代理人	100201743 弁理士 井上 和真
		(72)発明者	林 則和

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 協調シミュレーションシステム、協調制御方法、協調制御器及びコンピュータプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

仮想移動体の挙動を模擬するための移動体モデルを用いた計算機シミュレーションを第1の演算周期にて実行することにより、前記移動体モデルの状態量を算出するように構成された第1のシミュレータと、

前記第1のシミュレータにより算出された状態量に基づき、前記仮想移動体の周辺における外界環境を模擬するための外界環境モデル、及び前記外界環境内に存在する対象物体を検出する外界センサの動作を模擬するための外界センサモデルを用いた計算機シミュレーションを前記第1の演算周期よりも長い第2の演算周期にて実行することにより、前記外界センサモデルのセンサ計測量を算出するように構成された第2のシミュレータと、

制御シミュレーションを実行するように構成された制御シミュレータと、

前記第1のシミュレータの計算機シミュレーション、前記第2のシミュレータの計算機シミュレーション及び前記制御シミュレーションを協調させる協調制御器とを備え、

前記協調制御器は、前記第2の演算周期よりも短い第3の演算周期にて、前記状態量及び前記センサ計測量に基づいて補間センサ計測量を算出するように構成され、

前記制御シミュレータは、前記補間センサ計測量に基づいて前記制御シミュレーションを実行する、

ことを特徴とする協調シミュレーションシステム。

【請求項2】

請求項 1 に記載の協調シミュレーションシステムであって、前記協調制御器は、前記第 2 の演算周期の粗さを補償するように前記補間センサ計測量を算出するように構成されている、協調シミュレーションシステム。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の協調シミュレーションシステムであって、前記協調制御器は、前記第 1 のシミュレータと前記第 2 のシミュレータとの間のデータ授受にかかる遅延時間を補償するように前記補間センサ計測量を算出するように構成されている、協調シミュレーションシステム。

【請求項 4】

請求項 1 から 3 のうちのいずれか 1 項に記載の協調シミュレーションシステムであって、前記協調制御器は、前記第 2 のシミュレータにより前記センサ計測量の算出に使用された当該仮想移動体の状態量と、前記第 1 のシミュレータにより算出された状態量との間の状態差分を算出し、前記状態差分及び前記センサ計測量に基づいて前記補間センサ計測量を算出するように構成されている、協調シミュレーションシステム。

10

【請求項 5】

請求項 1 から 4 のうちのいずれか 1 項に記載の協調シミュレーションシステムであって、前記外界センサモデルは、前記仮想移動体と前記対象物体との間の距離を計測する測距センサの動作を模擬するための測距センサモデルである、協調シミュレーションシステム。

【請求項 6】

請求項 1 から 4 のうちのいずれか 1 項に記載の協調シミュレーションシステムであって、前記外界センサモデルは、センサ計測範囲内で前記仮想移動体と前記対象物体との間の距離を計測する測距センサの動作を模擬するための測距センサモデルであり、

20

前記協調制御器は、前記第 1 のシミュレータにより算出された状態量を用いて前記センサ計測範囲を補正するための補正量を算出し、当該補正量を前記第 2 のシミュレータに供給して前記センサ計測範囲を補正させるように構成されている、協調シミュレーションシステム。

【請求項 7】

仮想移動体の挙動を模擬するための移動体モデルを用いた計算機シミュレーションを第 1 の演算周期にて実行することにより、前記移動体モデルの状態量を算出するように構成された第 1 のシミュレータと、

30

前記第 1 のシミュレータにより算出された状態量に基づき、前記仮想移動体の周辺における外界環境を模擬するための外界環境モデル、及びセンサ計測範囲内で前記外界環境内に存在する対象物体と前記仮想移動体との間の距離を計測する測距センサの動作を模擬するための測距センサモデルを用いた計算機シミュレーションを前記第 1 の演算周期よりも長い第 2 の演算周期にて実行することにより、前記測距センサモデルのセンサ計測量を算出するように構成された第 2 のシミュレータと、

制御シミュレーションを実行するように構成された制御シミュレータと、

前記第 1 のシミュレータの計算機シミュレーション、前記第 2 のシミュレータの計算機シミュレーション、及び前記制御シミュレーションを協調させる協調制御器とを備え、

40

前記協調制御器は、前記状態量を用いて前記センサ計測範囲を補正するための補正量を算出し、当該補正量を前記第 2 のシミュレータに供給して前記センサ計測範囲を補正させるように構成されている、

ことを特徴とする協調シミュレーションシステム。

【請求項 8】

請求項 6 または 7 に記載の協調シミュレーションシステムであって、前記補正量の算出に用いられる当該状態量は、前記移動体モデルの位置変化または姿勢変化を表す物理量である、協調シミュレーションシステム。

【請求項 9】

請求項 1 から 8 のうちのいずれか 1 項に記載の協調シミュレーションシステムであって

50

、前記第1のシミュレータ、前記第2のシミュレータ及び前記協調制御器のうちの少なくとも2つは、単数または複数の通信経路を介して相互に接続されている、協調シミュレーションシステム。

【請求項10】

仮想移動体の挙動を模擬するための移動体モデルを用いた計算機シミュレーションを第1の演算周期にて実行することにより、前記移動体モデルの状態量を算出するように構成された第1のシミュレータと、

前記第1のシミュレータにより算出された状態量に基づき、前記仮想移動体の周辺における外界環境を模擬するための外界環境モデル、及び前記外界環境内に存在する対象物体を検出する外界センサの動作を模擬するための外界センサモデルを用いた計算機シミュレーションを前記第1の演算周期よりも長い第2の演算周期にて実行することにより、前記外界センサモデルのセンサ計測量を算出するように構成された第2のシミュレータと、

制御シミュレーションを実行するように構成された制御シミュレータと、

前記第1のシミュレータの計算機シミュレーション、前記第2のシミュレータの計算機シミュレーション及び前記制御シミュレーションを協調させる協調制御器とを備えた協調シミュレーションシステムにおいて前記協調制御器により実施される協調制御方法であって、

前記第2の演算周期よりも短い第3の演算周期にて、前記状態量及び前記センサ計測量に基づいて補間センサ計測量を算出するステップと、

前記補間センサ計測量を前記制御シミュレータに出力するステップとを備え、

前記制御シミュレータは、前記補間センサ計測量に基づいて前記制御シミュレーションを実行する、ことを特徴とする協調制御方法。

【請求項11】

請求項10に記載の協調制御方法であって、前記補間センサ計測量を算出する当該ステップでは、前記第2の演算周期の粗さを補償するように前記補間センサ計測量が算出される、協調制御方法。

【請求項12】

請求項10または11に記載の協調制御方法であって、前記補間センサ計測量を算出する当該ステップでは、前記第1のシミュレータと前記第2のシミュレータとの間のデータ授受にかかる遅延時間を補償するように前記補間センサ計測量が算出される、協調制御方法。

【請求項13】

請求項10から12のうちのいずれか1項に記載の協調制御方法であって、

前記第2のシミュレータにより前記センサ計測量の算出に使用された当該仮想移動体の状態量と、前記第1のシミュレータにより算出された状態量との間の状態差分を算出するステップをさらに備え、

前記補間センサ計測量は、前記状態差分及び前記センサ計測量に基づいて算出される、協調制御方法。

【請求項14】

請求項10から13のうちのいずれか1項に記載の協調制御方法であって、前記外界センサモデルは、前記仮想移動体と前記対象物体との間の距離を計測する測距センサの動作を模擬するための測距センサモデルである、協調制御方法。

【請求項15】

請求項10から14のうちのいずれか1項に記載の協調制御方法であって、

前記外界センサモデルは、センサ計測範囲内で前記仮想移動体と前記対象物体との間の距離を計測する測距センサの動作を模擬するための測距センサモデルであり、

前記協調制御方法は、

前記第1のシミュレータにより算出された状態量を用いて前記センサ計測範囲を補正するための補正量を算出するステップと、

10

20

30

40

50

前記補正量を前記第 2 のシミュレータに供給して前記センサ計測範囲を補正させるステップと

をさらに備える、協調制御方法。

【請求項 16】

仮想移動体の挙動を模擬するための移動体モデルを用いた計算機シミュレーションを第 1 の演算周期にて実行することにより、前記移動体モデルの状態量を算出するように構成された第 1 のシミュレータと、

前記第 1 のシミュレータにより算出された状態量に基づき、前記仮想移動体の周辺における外界環境を模擬するための外界環境モデル、及びセンサ計測範囲内で前記外界環境内に存在する対象物体と前記仮想移動体との間の距離を計測する測距センサの動作を模擬するための測距センサモデルを用いた計算機シミュレーションを前記第 1 の演算周期よりも長い第 2 の演算周期にて実行することにより、前記測距センサモデルのセンサ計測量を算出するように構成された第 2 のシミュレータと、

制御シミュレーションを実行するように構成された制御シミュレータと、

前記第 1 のシミュレータの計算機シミュレーション、前記第 2 のシミュレータの計算機シミュレーション、及び前記制御シミュレーションを協調させる協調制御器とを備えた協調シミュレーションシステムにおいて前記協調制御器により実施される協調制御方法であって、

前記状態量を用いて前記センサ計測範囲を補正するための補正量を算出するステップと、

前記補正量を前記第 2 のシミュレータに供給して前記センサ計測範囲を補正させるステップと

を備えることを特徴とする協調制御方法。

【請求項 17】

請求項 15 または 16 に記載の協調制御方法であって、前記補正量の算出に用いられる当該状態量は、前記移動体モデルの位置変化または姿勢変化を表す物理量である、協調制御方法。

【請求項 18】

請求項 10 から 17 のうちのいずれか 1 項に記載の協調制御方法を実施するように構成された協調制御器。

【請求項 19】

不揮発性メモリから読み出されて単数または複数のプロセッサにより実行されるコンピュータプログラムであって、請求項 10 から 17 のうちのいずれか 1 項に記載の協調制御方法を前記単数または複数のプロセッサに実施させるように構成されたコンピュータプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、複数のシミュレータを連携して動作させる協調シミュレーション技術に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、車両制御システムなどの組込みシステムの設計開発の効率向上と開発期間の短縮化とを図るために、モデルベース開発 (MBD: Model Based Development) と呼ばれるモデリング手法が採用されている。このようなモデリング手法に基づく設計開発では、MATLAB (登録商標) / Simulink (登録商標) などのモデリングツールを用いて、所定の要求仕様を満たすように制御モデルやプラントモデルなどのシミュレーションモデルが設計される。次いでシミュレーションモデルに基づく計算機シミュレーションが実行される。そして、当該計算機シミュレーションの結果に基づいてシミュレーションモデルの検証が行われる。

【0003】

10

20

30

40

50

このようなモデリング手法に基づく計算機シミュレーションに関する先行技術文献としては、たとえば、特許文献1（国際公開第2019/021898号）が挙げられる。特許文献1には、通信ネットワークを介して相互接続された複数のシミュレータを有する協調シミュレーション環境が開示されている（たとえば、特許文献1の図6及び段落[0036]～[0043]参照）。特許文献1に開示されている複数のシミュレータは、それぞれ計算機シミュレーションを互いに連携して実行することにより協調シミュレーションを実現している。同様の協調シミュレーション環境を構築するための技術は、特許文献2（特開2018-032392号公報）にも開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】国際公開第2019/021898号

特開2018-032392号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

協調シミュレーション環境では、比較的高い演算速度で動作する高速シミュレータと、比較的低い演算速度で動作する低速シミュレータとが混在することがある。低速シミュレータの演算周期は高速シミュレータの演算周期よりも粗い（比較的長い）ので、この演算周期の粗さに起因して協調シミュレーションの精度を高めることが難しいという課題がある。

【0006】

上記に鑑みて本開示の目的は、高速シミュレータと低速シミュレータとが混在する協調シミュレーション環境下でも、精度の高い協調シミュレーションを可能とする協調シミュレーションシステム、協調制御方法、協調制御器及びコンピュータプログラムを提供する点にある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本開示の第1の態様による協調シミュレーションシステムは、仮想移動体の挙動を模擬するための移動体モデルを用いた計算機シミュレーションを第1の演算周期にて実行することにより、前記移動体モデルの状態量を算出するように構成された第1のシミュレータと、前記第1のシミュレータにより算出された状態量に基づき、前記仮想移動体の周辺における外界環境を模擬するための外界環境モデル、及び前記外界環境内に存在する対象物体を検出する外界センサの動作を模擬するための外界センサモデルを用いた計算機シミュレーションを前記第1の演算周期よりも長い第2の演算周期にて実行することにより、前記外界センサモデルのセンサ計測を算出するように構成された第2のシミュレータと、制御シミュレーションを実行するように構成された制御シミュレータと、前記第1のシミュレータの計算機シミュレーション、前記第2のシミュレータの計算機シミュレーション及び前記制御シミュレーションを協調させる協調制御器とを備える。前記協調制御器は、前記第2の演算周期よりも短い第3の演算周期にて、前記状態量及び前記センサ計測量に基づいて補間センサ計測量を算出するように構成され、前記制御シミュレータは、前記補間センサ計測量に基づいて前記制御シミュレーションを実行する。

【0008】

本開示の第2の態様による協調制御方法は、仮想移動体の挙動を模擬するための移動体モデルを用いた計算機シミュレーションを第1の演算周期にて実行することにより、前記移動体モデルの状態量を算出するように構成された第1のシミュレータと、前記第1のシミュレータにより算出された状態量に基づき、前記仮想移動体の周辺における外界環境を模擬するための外界環境モデル、及び前記外界環境内に存在する対象物体を検出する外界センサの動作を模擬するための外界センサモデルを用いた計算機シミュレーションを前記第1の演算周期よりも長い第2の演算周期にて実行することにより、前記外界センサモデ

10

20

30

40

50

ルのセンサ計測量を算出するように構成された第2のシミュレータと、制御シミュレーションを実行するように構成された制御シミュレータと、前記第1のシミュレータの計算機シミュレーション、前記第2のシミュレータの計算機シミュレーション及び前記制御シミュレーションを協調させる協調制御器とを備えた協調シミュレーションシステムにおいて、前記協調制御器により実施される協調制御方法である。この協調制御方法は、前記第2の演算周期よりも短い第3の演算周期にて、前記状態量及び前記センサ計測量に基づいて補間センサ計測量を算出するステップと、前記補間センサ計測量を前記制御シミュレータに出力するステップとを備え、前記制御シミュレータが前記補間センサ計測量に基づいて前記制御シミュレーションを実行することを特徴とする。

【0009】

本開示の第3の態様による協調制御器は、前記第2の態様による協調制御方法を実施するように構成されている。

【0010】

本開示の第4の態様によるコンピュータプログラムは、不揮発性メモリから読み出されて単数または複数のプロセッサにより実行されるコンピュータプログラムであって、前記第2の態様による協調制御方法を前記単数または複数のプロセッサに実施させるように構成されている。

【0011】

本開示の第5の態様による協調シミュレーションシステムは、仮想移動体の挙動を模擬するための移動体モデルを用いた計算機シミュレーションを第1の演算周期にて実行することにより、前記移動体モデルの状態量を算出するように構成された第1のシミュレータと、前記第1のシミュレータにより算出された状態量に基づき、前記仮想移動体の周辺における外界環境を模擬するための外界環境モデル、及びセンサ計測範囲内で前記外界環境内に存在する対象物体と前記仮想移動体との間の距離を計測する測距センサの動作を模擬するための測距センサモデルを用いた計算機シミュレーションを前記第1の演算周期よりも長い第2の演算周期にて実行することにより、前記測距センサモデルのセンサ計測量を算出するように構成された第2のシミュレータと、制御シミュレーションを実行するように構成された制御シミュレータと、前記第1のシミュレータの計算機シミュレーション、前記第2のシミュレータの計算機シミュレーション、及び前記制御シミュレーションを協調させる協調制御器とを備える。前記協調制御器は、前記状態量を用いて前記センサ計測範囲を補正するための補正量を算出し、当該補正量を前記第2のシミュレータに供給して前記センサ計測範囲を補正させるように構成されている。

【0012】

本開示の第6の態様による協調制御方法は、仮想移動体の挙動を模擬するための移動体モデルを用いた計算機シミュレーションを第1の演算周期にて実行することにより、前記移動体モデルの状態量を算出するように構成された第1のシミュレータと、前記第1のシミュレータにより算出された状態量に基づき、前記仮想移動体の周辺における外界環境を模擬するための外界環境モデル、及びセンサ計測範囲内で前記外界環境内に存在する対象物体と前記移動体との間の距離を計測する測距センサの動作を模擬するための測距センサモデルを用いた計算機シミュレーションを前記第1の演算周期よりも長い第2の演算周期にて実行することにより、前記測距センサモデルのセンサ計測量を算出するように構成された第2のシミュレータと、制御シミュレーションを実行するように構成された制御シミュレータと、前記第1のシミュレータの計算機シミュレーション、前記第2のシミュレータの計算機シミュレーション、及び前記制御シミュレーションを協調させる協調制御器とを備えた協調シミュレーションシステムにおいて、前記協調制御器により実施される協調制御方法である。この協調制御方法は、前記状態量を用いて前記センサ計測範囲を補正するための補正量を算出するステップと、前記補正量を前記第2のシミュレータに供給して前記センサ計測範囲を補正させるステップとを備えることを特徴とする。

【0013】

本開示の第7の態様による協調制御器は、前記第6の態様による協調制御方法を実施す

10

20

30

40

50

るように構成されている。

【0014】

本開示の第8の態様によるコンピュータプログラムは、不揮発性メモリから読み出されて単数または複数のプロセッサにより実行されるコンピュータプログラムであって、前記第6の態様による協調制御方法を前記単数または複数のプロセッサに実施させるように構成されている。

【発明の効果】

【0015】

本開示の第1～第4の態様によれば、第1のシミュレータが第1の演算周期で計算シミュレーションを実行するとともに、第2のシミュレータが第1の演算周期よりも長い第2の演算周期で計算機シミュレーションを実行する場合に、協調制御器は、第2の演算周期よりも短い第3の演算周期にて、第1のシミュレータにより算出された状態量と第2のシミュレータにより算出されたセンサ計測量とに基づいて補間センサ計測量を算出する。制御シミュレータは、当該補間センサ計測量に基づいて制御シミュレーションを実行することができる。これにより、精度の高い協調シミュレーションが可能となる。

10

【0016】

本開示の第5～第8の態様によれば、第1のシミュレータが第1の演算周期で計算シミュレーションを実行するとともに、第2のシミュレータが第1の演算周期よりも長い第2の演算周期で計算機シミュレーションを実行する場合に、協調制御器は、移動体モデルの状態量を用いてセンサ計測範囲を補正するための補正量を算出し、当該補正量を第2のシミュレータに供給する。第2のシミュレータは、当該補正量を用いてセンサ計測範囲を補正することができる。これにより、精度の高い協調シミュレーションが可能となる。

20

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】一実施形態の協調シミュレーションシステムの概略構成を示すブロック図である。

【図2】ハードウェア構成例である情報処理装置（コンピュータ）の構成を概略的に示すブロック図である。

【図3】協調シミュレーションシステムの構成例を模式的に表す図である。

【図4】協調制御器をもたない協調シミュレーションシステムの構成例を模式的に示す図である。

30

【図5】車両挙動シミュレータ、外界シミュレータ及び制御シミュレータの間のデータの流れを概略的に示すタイミングチャートである。

【図6】車両挙動シミュレータ、外界シミュレータ、協調制御器及び制御シミュレータの間のデータの流れを概略的に例示するタイミングチャートである。

【図7】協調制御器による補間処理の手順の例を概略的に示すフローチャートである。

【図8】図8A～図8Fは、それぞれ、測距センサモデルのセンサ計測範囲を補正する様子を示す概略図である。

【図9】図9G～図9Jは、それぞれ、測距センサモデルのセンサ計測範囲を補正する様子を示す概略図である。

【図10】車両挙動シミュレータ、外界シミュレータ、協調制御器及び制御シミュレータの間のデータの流れを概略的に例示するタイミングチャートである。

40

【図11】協調制御器による補正処理の手順の一例を概略的に示すフローチャートである。

【図12】対象物体に向けて前方へ移動する車両の走行状態（走行パターン）の一例を示すグラフである。

【図13】図12に示した走行状態に対応する測距値の計算結果を示すグラフである。

【図14】図12に示した走行状態に対応する測距値の計算結果を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0018】

次に、図面を参照しつつ、本開示に係る種々の実施形態及びその変形例について詳細に説明する。なお、図面全体において同一符号が付された構成要素は、同一構成及び同一機

50

能を有するものとする。

【 0 0 1 9 】

図 1 は、本開示の一実施形態の協調シミュレーションシステム 1 の概略構成を示すブロック図である。図 1 に示されるように協調シミュレーションシステム 1 は、第 1 のシミュレータとしての車両挙動シミュレータ 1 0 と、第 2 のシミュレータとしての外界シミュレータ 2 0 とを備えている。車両挙動シミュレータ 1 0 は、自動車などの実際の車両を計算機上で仮想的に表現する仮想車両の挙動を模擬するための車両モデル 1 1 を用いた計算機シミュレーションを演算周期（第 1 の演算周期） T_h にて実行するように構成されている。また外界シミュレータ 2 0 は、当該仮想車両の周辺における外界環境を模擬するための外界環境モデル 2 1 とその外界環境内に存在する対象物体を検出する外界センサの動作を模擬するための外界センサモデル 2 2 とを用いた計算機シミュレーションを演算周期（第 2 の演算周期） T_e にて実行するように構成されている。ここで、演算周期 T_e は、演算周期 T_h よりも粗い（すなわち、 $T_e > T_h$ ）。たとえば、外界シミュレータ 2 0 における演算負荷が車両挙動シミュレータ 1 0 における演算負荷よりも高い場合には、演算周期 T_e は演算周期 T_h よりも粗くなる。

10

【 0 0 2 0 】

車両挙動シミュレータ 1 0 と外界シミュレータ 2 0 とは、データ経路 P 1 2 を介して相互に接続されている。データ経路 P 1 2 は、車両挙動シミュレータ 1 0 と外界シミュレータ 2 0 との間でのデータ授受に使用される経路である。データ経路 P 1 2 は、同一のプロセッサ内でのソフトウェアプログラム間のデータ授受に使用される経路でもよいし、複数のプロセッサ間でのデータ授受に使用される通信経路でもよい。この通信経路は、通信ネットワークを構成するものでもよい。

20

【 0 0 2 1 】

協調シミュレーションシステム 1 は、さらに、制御モデル、制御ソフトウェア及び実制御器のうちのいずれかを用いた制御シミュレーションを実行するように構成された制御シミュレータ 4 0 と、車両挙動シミュレータ 1 0 の計算機シミュレーション、外界シミュレータ 2 0 の計算機シミュレーション、及び制御シミュレータ 4 0 の制御シミュレーションを協調させる協調制御器 3 0 とを備えている。なお、本実施形態では、制御シミュレータ 4 0 は協調シミュレーションシステム 1 の構成要素であるが、これに限定されるものではない。制御シミュレータ 4 0 が協調シミュレーションシステム 1 から分離された形態もありうる。

30

【 0 0 2 2 】

協調制御器 3 0 と外界シミュレータ 2 0 とは、データ経路 P 2 3 を介して相互に接続されており、協調制御器 3 0 と車両挙動シミュレータ 1 0 とは、データ経路 P 1 3 を介して相互に接続されている。制御シミュレータ 4 0 と協調制御器 3 0 とは、データ経路 P 3 4 を介して相互に接続されており、制御シミュレータ 4 0 と車両挙動シミュレータ 1 0 とは、データ経路 P 1 4 を介して相互に接続されている。データ経路 P 2 3 は、協調制御器 3 0 と外界シミュレータ 2 0 との間でのデータ授受に使用される経路であり、データ経路 P 1 3 は、協調制御器 3 0 と車両挙動シミュレータ 1 0 との間でのデータ授受に使用される経路であり、データ経路 P 3 4 は、制御シミュレータ 4 0 と協調制御器 3 0 との間でのデータ授受に使用される経路であり、データ経路 P 1 4 は、制御シミュレータ 4 0 と車両挙動シミュレータ 1 0 との間でのデータ授受に使用される経路である。データ経路 P 2 3、P 1 3、P 3 4、P 1 4 の各々は、同一のプロセッサ内でのソフトウェアプログラム間のデータ授受に使用される経路でもよいし、複数のプロセッサ間でのデータ授受に使用される通信経路でもよい。この通信経路は、通信ネットワークを構成するものでもよい。

40

【 0 0 2 3 】

車両挙動シミュレータ 1 0、外界シミュレータ 2 0、協調制御器 3 0 及び制御シミュレータ 4 0 は、単数または複数のプロセッサを含む 1 台のコンピュータで実現されてもよいし、あるいは、通信経路を介して相互に接続された複数台のコンピュータ内に分散される形態で実現されてもよい。車両挙動シミュレータ 1 0、外界シミュレータ 2 0、協調制御

50

器 30 及び制御シミュレータ 40 の全部または一部は、不揮発性メモリ（コンピュータ読み取り可能な記録媒体）から読み出されたソフトウェアのコードを実行する、CPU（Central Processing Unit）やGPU（Graphics Processing Unit）などの演算装置を含む単数または複数のプロセッサで実現されればよい。あるいは、車両挙動シミュレータ 10，外界シミュレータ 20，協調制御器 30 及び制御シミュレータ 40 の全部または一部は、FPGA（Field-Programmable Gate Array）などの半導体集積回路を有する単数または複数のプロセッサにより実現可能である。あるいは、FPGAなどの半導体集積回路と、CPUやGPUなどの演算装置との組合せを含む単数または複数のプロセッサによって、車両挙動シミュレータ 10，外界シミュレータ 20，協調制御器 30 及び制御シミュレータ 40 の全部または一部を実現することも可能である。

10

【0024】

図 2 は、車両挙動シミュレータ 10，外界シミュレータ 20，協調制御器 30 及び制御シミュレータ 40 の全部または一部を実現するハードウェア構成例である情報処理装置（コンピュータ）90 の構成を概略的に示すブロック図である。情報処理装置 90 は、プロセッサ 91，ランダムアクセスメモリ（RAM：Random Access Memory）92，不揮発性メモリ 93，大容量メモリ 94，入出力インタフェース 95 及び信号路 96 を含んで構成されている。信号路 96 は、プロセッサ 91，RAM 92，不揮発性メモリ 93，大容量メモリ 94 及び入出力インタフェース 95 を相互に接続するためのバスである。RAM 92 は、プロセッサ 91 がデジタル信号処理を実行する際に使用されるデータ記憶領域である。プロセッサ 91 が CPU や GPU などの演算装置を内蔵する場合には、不揮発性メモリ 93 は、プロセッサ 91 により実行されるソフトウェアのコードが格納されているデータ記憶領域を有する。大容量メモリ 94 には、シミュレーションの演算結果を格納することができる。

20

【0025】

図 1 を参照すると、外界シミュレータ 20 で用いられる外界環境モデル 21 及び外界センサモデル 22 の組と、車両挙動シミュレータ 10 で用いられる車両モデル 11 とは、分散して配置されている。協調シミュレーションシステム 1 は、このように分散して配置された複数のシミュレーションモデルを連成（Coupling）させて使用するシステムである。

30

【0026】

車両モデル 11，外界環境モデル 21 及び外界センサモデル 22 は、ワークステーションなどのコンピュータにより、MATLAB（登録商標）/Simulink（登録商標）などのモデリングツールを用いて作成可能である。車両モデル 11，外界環境モデル 21 及び外界センサモデル 22 は、アプリケーションソフトウェアの形態で存在しうる。

【0027】

車両モデル 11 は、仮想車両におけるサスペンション，モータ，ステアリング，ブレーキ，差動ギア，バッテリー，タイヤ及びスタビライザなどの機構の挙動をそれぞれ数学的に表現しうるモデル群から構成されている。

【0028】

車両挙動シミュレータ 10 は、ドライバ（運転者）またはドライバモデルによる運転制御指令 MI に応じて、車両モデル 11 を用いた計算機シミュレーションを演算周期 Th（たとえば、1 秒～0.01 ミリ秒の範囲の周期）で実行することにより、車両モデル 11 の状態量を算出することができる。また車両挙動シミュレータ 10 は、算出された状態量をデータ経路 P12，P13 を介して外界シミュレータ 20 及び協調制御器 30 に供給することができる。状態量は、たとえば、車両モデル 11 の位置座標，移動速度（位置座標の時間変化率），加速度（移動速度の時間変化率），姿勢角（ロール角、ピッチ角及びヨー角），姿勢角速度（姿勢角の時間変化率）及び姿勢角加速度（姿勢角速度の時間変化率）のそれぞれのベクトル量を含みうる。

40

【0029】

50

車両モデル 11 の状態量を $\mu(t)$ で表し、或る時刻を t_1 で表すものとする（ここで、 t はシミュレーション時刻である。）、車両挙動シミュレータ 10 は、演算周期 T_h にて状態量 $\mu(t = t_1 + n \cdot T_h)$ を算出する。ここで、 n は整数である（ $n = \dots, -1, 0, 1, 2, 3, \dots$ ）。図 3 は、協調シミュレーションシステム 1 の構成例を模式的に表す図である。図 3 に示されるように車両挙動シミュレータ 10 は、車両モデル 11 の状態量 $\mu(t_1 + n \cdot T_h)$ のデータを外界シミュレータ 20 及び協調制御器 30 に逐次供給する。

【0030】

一方、図 1 に示される外界環境モデル 21 は、仮想車両の周辺における道路形状、路面状態、歩行者、自転車、他車両、道路標識及び建造物などの要素を含む外界環境を模擬するためのモデルである。外界センサモデル 22 は、ミリ波レーダ (Radar) センサ、ライダー (LiDAR: Light Detection and Ranging、または、Laser Imaging Detection and Ranging) センサ、超音波センサ、GNSS (Global Navigation Satellite System) センサ及び画像センサなどの各種外界センサの動作をそれぞれ模擬するための複数のセンサモデルで構成されている。センサモデルは、車両モデル 11 に搭載された仮想部品として配置されてもよいし、あるいは、車両モデル 11 以外の領域に配置されてもよい。たとえば、外界環境モデル 21 内の仮想建造物にセンサモデルが設置されてよい。

10

【0031】

外界シミュレータ 20 は、車両挙動シミュレータ 10 から供給された状態量に基づいて、外界環境モデル 21 及び外界センサモデル 22 を用いた計算機シミュレーションを演算周期 $T_e (> T_h)$ で実行することにより、外界センサモデル 22 のセンサ計測量を算出することができる。すなわち、外界シミュレータ 20 は、車両モデル 11 の位置座標及び速度などの状態量に応じて外界センサモデル 22 が検出すべきセンサ計測量を算出する。

20

【0032】

外界センサモデル 22 のセンサ計測量を $\mu(t)$ で表し、或る時刻を t_2 で表すものとする、外界センサモデル 22 は、演算周期 T_e でセンサ計測量 $\mu(t = t_2 + m \cdot T_e)$ を算出することができる。ここで、 m は整数である（ $m = \dots, -1, 0, 1, 2, 3, \dots$ ）。

30

【0033】

図 3 を参照すると、外界シミュレータ 20 は、車両挙動シミュレータ 10 から車両モデル 11 の状態量 $\mu(t_1 + n \cdot T_h)$ の供給を受けている。外界シミュレータ 20 は、その状態量 $\mu(t_1 + n \cdot T_h)$ （たとえば、位置座標、移動速度、加速度、姿勢角、姿勢角速度及び姿勢角加速度）に基づいて指定された状態にある仮想車両 25 について、外界環境モデル 21 内の対象物体 27 に対する外界センサモデル 26 のセンシング動作の計算機シミュレーションを実行することができる。外界シミュレータ 20 は、その計算機シミュレーションの結果として外界センサモデル 26 のセンサ計測量 $\mu(t_2 + m \cdot T_e)$ を算出し、当該センサ計測量 $\mu(t_2 + m \cdot T_e)$ と当該センサ計測量 $\mu(t_2 + m \cdot T_e)$ の算出に使用された仮想車両 25 の状態量 $\mu(t_2 + m \cdot T_e)$ との組からなるシミュレーションデータ $E(t_2 + m \cdot T_e)$ を協調制御器 30 に供給する。

40

【0034】

外界シミュレータ 20 の演算周期 T_e は、車両挙動シミュレータ 10 の演算周期 T_h よりも粗い。また車両挙動シミュレータ 10 と外界シミュレータ 20 との間のデータ授受にかかる遅延時間も存在する。協調制御器 30 は、外界シミュレータ 20 の演算周期 T_e よりも短い演算周期（第 3 の演算周期） T_c で動作し、車両挙動シミュレータ 10 及び外界シミュレータ 20 からそれぞれ供給された状態量 $\mu(t_1 + n \cdot T_h)$ 及びシミュレーションデータ $E(t_2 + m \cdot T_e)$ に基づいて、その演算周期 T_e の粗さ及び遅延時間を補償するように補間センサ計測量を算出することができる。今、補間センサ計測量を $s(t)$ で表し、或る時刻を t_3 で表すものとする、協調制御器 30 は、演算周期 T_c にて精

50

度の高い補間センサ計測量 $s(t_3 + k \cdot T_c)$ を算出することができる。ここで、 k は整数である ($k = \dots, -1, 0, 1, 2, 3, \dots$)。補間センサ計測量 $s(t_3 + k \cdot T_c)$ の算出方法については後述する。

【0035】

また、後に詳述するように、外界センサモデル 26 の演算周期 T_e の粗さ及び前述の遅延時間に起因して、外界センサモデル 26 に含まれる測距センサモデル（たとえば、ミリ波レーダセンサ、ライダーセンサ及び超音波センサのモデル）のセンサ計測範囲に誤差が発生しうるという課題がある。協調制御器 30 は、車両挙動シミュレータ 10 から供給された状態量 $\mu(t_1 + n \cdot T_h)$ 、特に、車両モデル 11 の位置変化または姿勢変化を表す物理量（たとえば、移動速度、加速度、姿勢角速度もしくは姿勢角加速度、またはこれらの組合せ）を用いて、測距センサモデルのセンサ計測範囲を補正するための補正量 $r(t_3 + k \cdot T_c)$ を算出し、当該補正量 $r(t_3 + k \cdot T_c)$ を外界シミュレータ 20 に供給してセンサ計測範囲を補正させることができる。補正量 $r(t_3 + k \cdot T_c)$ の算出方法については後述する。

10

【0036】

制御シミュレータ 40 は、協調制御器 30 から供給された補間センサ計測量 $s(t_3 + k \cdot T_c)$ に基づいて制御シミュレーションを実行する。制御シミュレータ 40 で制御モデルが用いられる場合には、制御モデルは、ワークステーションなどのコンピュータにより、MATLAB（登録商標）/ Simulink（登録商標）などのモデリングツールを用いて作成可能である。このとき、協調シミュレーションシステム 1 は、アプリケーションソフトウェアの形態で存在しうる。この場合、協調シミュレーションシステム 1 は、MILS (Model - In - the - Loop Simulation) と呼ばれるシミュレーション環境を構成することができる。

20

【0037】

制御モデルの例としては、各種の制御 ECU モデル（たとえば、エンジン制御 ECU 及びエアバッグ制御 ECU のモデル）のほか、車線維持制御、車間距離制御 (ACC: アダプティブ・クルーズ・コントロール)、衝突被害軽減 (回避) 制御、車線変更アシスト制御、車線逸脱抑制制御、インテリジェント・ヘッドライト制御、自動パーキング制御、及びカーナビゲーションシステム (警告表示制御を含む。) のための制御モデルが挙げられる。

30

【0038】

制御シミュレータ 40 で制御ソフトウェアが用いられる場合には、制御ソフトウェアは、たとえば、前述の制御モデルから生成された C 言語などのソースコード段階のソフトウェアである。制御ソフトウェアからは、コンピュータにより実行可能なオブジェクトコードが生成可能である。制御シミュレータ 40 は、そのようなオブジェクトコードを実行することにより制御シミュレーションを実行することができる。この場合、協調シミュレーションシステム 1 は、SILS (Software - In - the - Loop Simulation) と呼ばれるシミュレーション環境を構成することができる。一方、制御シミュレータ 40 で実制御器が用いられる場合には、協調シミュレーションシステム 1 は、HILS (Hardware - In - the - Loop Simulation) と呼ばれるシミュレーション環境を構成することができる。実制御器は、車両に搭載される電子制御ユニット (Electronic Control Unit) などのハードウェア構成の制御器である。

40

【0039】

制御シミュレータ 40 は、協調制御器 30 から供給された補間センサ計測量（たとえば、障害物までの測距値及び方向ベクトル）に基づいて、車間距離制御 (ACC) 及び衝突被害軽減 (回避) 制御などの種々の制御のシミュレーションを実行することができる。

【0040】

次に、協調制御器 30 の構成を説明する前に、図 4 及び図 5 を参照しつつ、協調制御器 30 をもたない協調シミュレーションシステムの問題点について説明する。

50

【 0 0 4 1 】

図 4 は、協調制御器 3 0 をもたない協調シミュレーションシステム 1 0 0 の構成例を模式的に示す図である。図 4 に示される協調シミュレーションシステム 1 0 0 は、車両モデル 1 1 の状態量 $\mu(t_1 + n \cdot T_h)$ を逐次算出する車両挙動シミュレータ 1 0 と、車両挙動シミュレータ 1 0 から供給された状態量 $\mu(t_1 + n \cdot T_h)$ に基づいた計算機シミュレーションを実行することにより外界センサモデル 2 6 のセンサ計測量 $(t_2 + m \cdot T_e)$ を逐次算出する外界シミュレータ 2 0 と、外界シミュレータ 2 0 から供給されたセンサ計測量 $(t_2 + m \cdot T_e)$ に基づいて制御シミュレーションを実行する制御シミュレータ 4 0 とを備えている。

【 0 0 4 2 】

図 5 は、図 4 に示した車両挙動シミュレータ 1 0 , 外界シミュレータ 2 0 及び制御シミュレータ 4 0 の間のデータの流れを概略的に示すタイミングチャートである。図 5 には、制御シミュレータ 4 0 の入力及び出力それぞれの時間軸、車両挙動シミュレータ 1 0 の入力及び出力それぞれの時間軸（演算周期： T_h ）、並びに、外界シミュレータ 2 0 の入力及び出力それぞれの時間軸（演算周期： T_e ）が示されている。 t はシミュレーション時刻（以下、単に「時刻」という。）である。

【 0 0 4 3 】

図 5 に示されるように、車両挙動シミュレータ 1 0 は、時刻 $t = t_1 + (-1) \cdot T_h$ に制御シミュレータ 4 0 から制御指令が入力されると、当該制御指令に応じて計算機シミュレーションを実行することにより、車両モデル 1 1 の状態量 $\mu(t_1)$ を時刻 $t = t_1$ に出力する。外界シミュレータ 2 0 は、時刻 t_1 から遅延時間 τ_1 だけ遅れた時刻 $t = t_2$ にて車両挙動シミュレータ 1 0 から入力された状態量 $\mu(t_1)$ を取得し、当該状態量 $\mu(t_1)$ に基づいた計算機シミュレーションを実行する。そして外界シミュレータ 2 0 は、時刻 t_2 から遅延時間 τ_1 だけ遅れた時刻 $t = t_2 + 1 \cdot T_e$ にてセンサ計測量 $(t_2 + 1 \cdot T_e)$ を制御シミュレータ 4 0 に出力する。その後、制御シミュレータ 4 0 は、時刻 $t = t_2 + 1 \cdot T_e$ から遅延時間 τ_1 だけ遅れて入力されたセンサ計測量 $(t_2 + 1 \cdot T_e)$ を取得する。

【 0 0 4 4 】

また、図 5 に示されるように、車両挙動シミュレータ 1 0 は、時刻 $t = t_1 + 2 \cdot T_h$ に制御シミュレータ 4 0 から制御指令が入力されると、当該制御指令に応じて計算機シミュレーションを実行することにより車両モデル 1 1 の状態量 $\mu(t_1 + 3 \cdot T_h)$ を時刻 $t = t_1 + 3 \cdot T_h$ に出力する。外界シミュレータ 2 0 は、時刻 $t = t_1 + 3 \cdot T_h$ から遅延時間 τ_2 だけ遅れた時刻 $t = t_2 + 1 \cdot T_e$ にて車両挙動シミュレータ 1 0 から入力された状態量 $\mu(t_1 + 3 \cdot T_h)$ を取得し、当該状態量 $\mu(t_1 + 3 \cdot T_h)$ に基づいた計算機シミュレーションを実行する。そして外界シミュレータ 2 0 は、時刻 $t = t_2 + 1 \cdot T_e$ から遅延時間 τ_2 だけ遅れた時刻 $t = t_2 + 2 \cdot T_e$ にてセンサ計測量 $(t_2 + 2 \cdot T_e)$ を制御シミュレータ 4 0 に出力する。その後、制御シミュレータ 4 0 は、時刻 $t = t_2 + 2 \cdot T_e$ から遅延時間 τ_2 だけ遅れた時刻に入力されたセンサ計測量 $(t_2 + 2 \cdot T_e)$ を取得する。

【 0 0 4 5 】

なお、図 5 の例では、遅延時間 τ_1 , τ_2 の各々は、外界シミュレータ 2 0 の演算周期 T_e と一致するが、これに限定されるものではない。遅延時間 τ_1 , τ_2 の各々は演算周期 T_e の正整数倍となりうる。

【 0 0 4 6 】

図 5 から分かるように、外界シミュレータ 2 0 は、時刻 $t = t_1$ における車両モデル 1 1 の状態量 $\mu(t_1)$ に基づいて指定された状態にある仮想車両 2 5 について計算機シミュレーションを実行することにより、時刻 $t = t_2 + 1 \cdot T_e$ におけるセンサ計測量 $(t_2 + 1 \cdot T_e)$ を算出する。時刻 t が t_1 から $t_2 + 1 \cdot T_e$ へ遷移する過程で車両モデル 1 1 の状態変化が生じていれば、センサ計測量 $(t_2 + 1 \cdot T_e)$ は、その状態変化を反映しない、精度の低い値となりうる。したがって、センサ計測量 $(t_2 + 1 \cdot T$

10

20

30

40

50

e) は、車両挙動シミュレータ 10 と外界シミュレータ 20 との間のデータ授受にかかる遅延時間 τ_1 に起因する誤差と、外界シミュレータ 20 の演算周期 T_e の粗さすなわち遅延時間 τ_1 に起因する誤差とを含みうる。同様に、外界シミュレータ 20 は、車両モデル 11 の状態量 $\mu(t_1 + 3 \cdot T_h)$ に基づいて指定された状態にある仮想車両 25 について、時刻 $t = t_2 + 2 \cdot T_e$ でのセンサ計測量 $s(t_2 + 2 \cdot T_e)$ を算出するので、時刻 t が $t_1 + 3 \cdot T_h$ から $t_2 + 2 \cdot T_e$ へ遷移する過程で車両モデル 11 の状態変化が生じていれば、センサ計測量 $s(t_2 + 2 \cdot T_e)$ は、その状態変化を反映しない、精度の低い値となりうる。したがって、センサ計測量 $s(t_2 + 2 \cdot T_e)$ は、車両挙動シミュレータ 10 と外界シミュレータ 20 との間のデータ授受にかかる遅延時間 τ_2 に起因する誤差と、外界シミュレータ 20 の演算周期 T_e の粗さすなわち遅延時間 τ_2 に起因する誤差とを含みうる。

10

【0047】

また、外界センサモデル 26 が、センサ計測範囲（計測レンジ）内に存在する対象物体 27（図 3）までの距離を計測する測距センサモデルを含む場合には、そのセンサ計測範囲は、車両モデル 11 の状態変化（位置変化や姿勢変化）に追従して変化することが望ましい。しかしながら、図 5 の例では、遅延時間 τ_1 、 τ_2 及び演算周期 T_e の粗さ（遅延時間 τ_1 、 τ_2 ）により、外界センサモデル 26 のセンサ計測範囲が車両モデル 11 の状態変化に追従することができず、センサ計測範囲内に存在すべき対象物体 27 の検出に失敗するおそれ、あるいは、本来であればセンサ計測範囲内に存在しない対象物体 27 を誤って検出するおそれがある。したがって、センサ計測範囲は、上述の遅延時間 τ_1 、 τ_2 に起因する誤差と、演算周期 T_e の粗さ（遅延時間 τ_1 、 τ_2 ）に起因する誤差とを含みうる。

20

【0048】

図 3 に示される協調制御器 30 は、車両挙動シミュレータ 10 及び外界シミュレータ 20 から供給された状態量 $\mu(t_1 + n \cdot T_h)$ 及びシミュレーションデータ $E(t_2 + m \cdot T_e)$ ($= \{ s(t_2 + m \cdot T_e), v(t_2 + m \cdot T_e) \}$) に基づく補間演算を行うことにより、車両挙動シミュレータ 10 と外界シミュレータ 20 との間のデータ授受にかかる遅延時間と演算周期 T_e の粗さとを補償するように補間センサ計測量 $s(t_3 + k \cdot T_c)$ ($k = \dots, -1, 0, 1, 2, 3, \dots$) を算出することができる。この補間演算について図 6 を参照しつつ以下に説明する。

30

【0049】

図 6 は、図 3 に示した車両挙動シミュレータ 10、外界シミュレータ 20、協調制御器 30 及び制御シミュレータ 40 の間のデータの流れを概略的に例示するタイミングチャートである。図 6 には、制御シミュレータ 40 の入力及び出力それぞれの時間軸、車両挙動シミュレータ 10 の入力及び出力それぞれの時間軸（演算周期： T_h ）、外界シミュレータ 20 の入力及び出力それぞれの時間軸（演算周期： T_e ）、並びに、協調制御器 30 の入力及び出力それぞれの時間軸（演算周期： T_c ）が示されている。ここで、 t は時刻（シミュレーション時刻）であり、演算周期 T_e 、 T_h 、 T_c の間には、 $T_e > T_c > T_h$ との制限が課せられている。

【0050】

40

図 6 に示されるように、車両挙動シミュレータ 10 は、制御シミュレータ 40 から制御指令が入力される度に、当該制御指令に応じた計算機シミュレーションを実行することにより状態量 $\mu(t_1 + n \cdot T_h)$ を算出する ($n = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, 3, \dots$)。車両挙動シミュレータ 10 は、時刻 $t = t_1 + n \cdot T_h$ に当該状態量 $\mu(t_1 + n \cdot T_h)$ を出力する。

【0051】

外界シミュレータ 20 は、車両挙動シミュレータ 10 の演算周期 T_h よりも粗い（長い）演算周期 T_e で演算するので、車両挙動シミュレータ 10 から演算周期 T_h で出力される状態量 $\mu(t_1 + n \cdot T_h)$ のすべてを取得（サンプリング）することはできない。図 6 の例では、外界シミュレータ 20 は、下記時刻 t にて車両挙動シミュレータ 10 から入

50

力された下記状態量 $\mu(\quad)$ を取得 (サンプリング) することができる。

【 0 0 5 2 】

- ・時刻 $t = t_2 + (-1) \cdot T_e$; 状態量 $\mu(t_1 - 2 \cdot T_h)$
- ・時刻 $t = t_2$; 状態量 $\mu(t_1)$
- ・時刻 $t = t_2 + (+1) \cdot T_e$; 状態量 $\mu(t_1 + 3 \cdot T_h)$
- ・時刻 $t = t_2 + (+2) \cdot T_e$; 状態量 $\mu(t_1 + 5 \cdot T_h)$

【 0 0 5 3 】

外界シミュレータ 20 は、状態量 $\mu(t_1 - 2 \cdot T_h)$, $\mu(t_1)$, $\mu(t_1 + 3 \cdot T_h)$, $\mu(t_1 + 5 \cdot T_h)$ に基づく計算機シミュレーションを実行することにより、状態量 $\mu(t_1 - 2 \cdot T_h)$, $\mu(t_1)$, $\mu(t_1 + 3 \cdot T_h)$, $\mu(t_1 + 5 \cdot T_h)$) にそれぞれ対応するセンサ計測量 $(t_2 - T_e)$, (t_2) , $(t_2 + T_e)$, $(t_2 + 2 \cdot T_e)$, $(t_2 + 3 \cdot T_e)$ を算出する。そして、外界シミュレータ 20 は、算出されたセンサ計測量 (\quad) と当該センサ計測量 (\quad) の算出に使用された仮想車両 25 の状態量 (\quad) との組からなるシミュレーションデータ $E(\quad)$ を出力する。協調制御器 30 は、下記時刻 t にて外界シミュレータ 20 から入力された下記シミュレーションデータ $E(\quad)$ を取得 (サンプリング) することができる。

【 0 0 5 4 】

- ・時刻 $t = t_3 + (-2) \cdot T_c$; シミュレーションデータ $E(t_2 - T_e)$
- ・時刻 $t = t_3 + (+1) \cdot T_c$; シミュレーションデータ $E(t_2)$
- ・時刻 $t = t_3 + (+3) \cdot T_c$; シミュレーションデータ $E(t_2 + T_e)$
- ・時刻 $t = t_3 + (+6) \cdot T_c$; シミュレーションデータ $E(t_2 + 2 \cdot T_e)$

【 0 0 5 5 】

協調制御器 30 は、外界シミュレータ 20 の演算周期 T_e よりも短い演算周期 T_c で演算するので、車両挙動シミュレータ 10 から演算周期 T_h で出力される状態量 $\mu(t_1 + n \cdot T_h)$ のうち数多くの状態量を取得することができる。図 6 の例では、協調制御器 30 は、車両挙動シミュレータ 10 の演算周期 T_h に近い演算周期 T_c で演算する。このため、協調制御器 30 は、下記時刻 t にて車両挙動シミュレータ 10 から入力された下記状態量 $\mu(\quad)$ を取得 (サンプリング) することができる。

【 0 0 5 6 】

- ・時刻 $t = t_3 + (-2) \cdot T_c$; 状態量 $\mu(t_1 - 2 \cdot T_h)$
- ・時刻 $t = t_3 + (-1) \cdot T_c$; 状態量 $\mu(t_1 - 1 \cdot T_h)$
- ・時刻 $t = t_3$; 状態量 $\mu(t_1)$
- ・時刻 $t = t_3 + (+1) \cdot T_c$; 状態量 $\mu(t_1 + 1 \cdot T_h)$
- ・時刻 $t = t_3 + (+2) \cdot T_c$; 状態量 $\mu(t_1 + 2 \cdot T_h)$
- ・時刻 $t = t_3 + (+3) \cdot T_c$; 状態量 $\mu(t_1 + 3 \cdot T_h)$
- ・時刻 $t = t_3 + (+4) \cdot T_c$; 状態量 $\mu(t_1 + 4 \cdot T_h)$
- ・時刻 $t = t_3 + (+5) \cdot T_c$; 状態量 $\mu(t_1 + 5 \cdot T_h)$
- ・時刻 $t = t_3 + (+6) \cdot T_c$; 状態量 $\mu(t_1 + 6 \cdot T_h)$

【 0 0 5 7 】

たとえばシミュレーションデータ $E(t_2)$ に含まれるセンサ計測量 (t_2) に着目すると、このセンサ計測量 (t_2) は、外界シミュレータ 20 により車両挙動シミュレータ 10 から直近に取得された車両モデル 11 の状態量 $\mu(t_1 - 2 \cdot T_h)$ に基づいて指定された状態にある仮想車両 25 について、演算周期 T_e で計算機シミュレーションを実行することにより算出された計測量である。このため、センサ計測量 (t_2) は、当該状態量 $\mu(t_1 - 2 \cdot T_h)$ が車両挙動シミュレータ 10 から外界シミュレータ 20 へ授受されるのにかかった遅延時間に起因する誤差と、外界シミュレータ 20 の演算周期 T_e の粗さに起因する誤差とを含みうる。当該誤差を補償するために補間センサ計測量 $s(t = t_3 + 2 \cdot T_c)$ を算出しようとする場合、協調制御器 30 は、時刻 $t = t_3 + 2 \cdot T_c$ に対して、外界シミュレータ 20 から直近に取得されたシミュレーションデータ $E(t_2)$ (すなわち、センサ計測量 (t_2) 及び仮想車両 25 の状態量 (t_2) の組)

10

20

30

40

50

と、車両挙動シミュレータ 10 から直近に取得された車両モデル 11 の状態量 $\mu(t_1 + T_h)$ とに基づいて補間センサ計測量 $s(t_3 + 2 \cdot T_c)$ を算出することができる。

【0058】

この場合、より具体的には、協調制御器 30 は、センサ計測量 (t_2) の算出に使用された状態量 (t_2) と直近に取得された状態量 $\mu(t_1 + T_h)$ との間の状態差分 μ を算出し、当該算出された状態差分 μ とセンサ計測量 (t_2) とに基づいて、補間センサ計測量 $s(t_3 + 2 \cdot T_c)$ を算出することができる。時刻 $t = t_a$ の状態量 (t_a) と時刻 $t = t_b$ の状態量 $\mu(t_b)$ との間の状態差分 μ は、たとえば、近似的に次式で表現されうるが、これに限定されるものではない。

【0059】

$$\mu = (t_a) - \mu(t_b)$$

【0060】

同様に、補間センサ計測量 $s(t = t_3 + 3 \cdot T_c)$ を算出しようとする場合には、協調制御器 30 は、時刻 $t = t_3 + 3 \cdot T_c$ に対して、外界シミュレータ 20 から直近に取得されたシミュレーションデータ $E(t_2)$ (すなわち、センサ計測量 (t_2) 及び仮想車両 25 の状態量 (t_2) の組) と、車両挙動シミュレータ 10 から直近に取得された車両モデル 11 の状態量 $\mu(t_1 + 2 \cdot T_h)$ とに基づいて、補間センサ計測量 $s(t_3 + 3 \cdot T_c)$ を算出することができる。次いで補間センサ計測量 $s(t = t_3 + 4 \cdot T_c)$ を算出しようとする場合には、協調制御器 30 は、時刻 $t = t_3 + 4 \cdot T_c$ に対して、外界シミュレータ 20 から直近に取得されたシミュレーションデータ $E(t_2 + T_e)$ (すなわち、センサ計測量 $(t_2 + T_e)$ 及び仮想車両 25 の状態量 $(t_2 + T_e)$ の組) と、車両挙動シミュレータ 10 から直近に取得された状態量 $\mu(t_1 + 3 \cdot T_h)$ とに基づいて、補間センサ計測量 $s(t_3 + 4 \cdot T_c)$ を算出することができる。さらに、補間センサ計測量 $s(t = t_3 + 5 \cdot T_c)$ を算出しようとする場合には、協調制御器 30 は、時刻 $t = t_3 + 5 \cdot T_c$ に対して、外界シミュレータ 20 から直近に取得されたシミュレーションデータ $E(t_2 + T_e)$ (すなわち、センサ計測量 $(t_2 + T_e)$ 及び仮想車両 25 の状態量 $(t_2 + T_e)$ の組) と、車両挙動シミュレータ 10 から直近に取得された状態量 $\mu(t_1 + 4 \cdot T_h)$ とに基づいて、補間センサ計測量 $s(t_3 + 5 \cdot T_c)$ を算出することができる。このように協調制御器 30 は、外界シミュレータ 20 の演算周期 T_e よりも短い演算周期 T_c で補間センサ計測量 $s(t_3 + k \cdot T_c)$ ($k = \dots, 2, 3, 4, 5, \dots$) を算出することが可能である。

【0061】

たとえば、センサ計測量 (t) 及び補間センサ計測量 $s(t)$ の各々が、外界センサモデル 26 から対象物体 27 (図 3) までの測距値及び方向(たとえば方位角及び仰角)の組合せ(対象物体 27 の相対位置)を表す計測ベクトルであるものとし、状態量 $\mu(t)$ 、 (t) の各々が車両モデル 11 の地図上の位置を示す絶対位置ベクトルであるものとする。このとき、補間センサ計測量 $s(t = t_3 + K \cdot T_c)$ (K は整数) を算出しようとする場合には、協調制御器 30 は、時刻 $t = t_3 + K \cdot T_c$ に対して、外界シミュレータ 20 から直近に取得された計測ベクトル $(t_2 + M \cdot T_e)$ 及び絶対位置ベクトル $(t_2 + M \cdot T_e)$ の組 (M は整数) と、車両挙動シミュレータ 10 から直近に取得された絶対位置ベクトル $\mu(t_1 + N \cdot T_h)$ (N は整数) とに基づいて、計測ベクトルの補間量である補間センサ計測量 $s(t_3 + K \cdot T_c)$ を算出することができる。具体的には、協調制御器 30 は、絶対位置ベクトル $(t_2 + M \cdot T_e)$ 、 $\mu(t_1 + N \cdot T_h)$ 間の状態差分 $\mu(= (t_2 + M \cdot T_e) - \mu(t_1 + N \cdot T_h))$ と、計測ベクトル $(t_2 + M \cdot T_e)$ とに基づいて、次式に従い、補間センサ計測量 $s(t_3 + K \cdot T_c)$ を算出できる。

【0062】

$$s(t_3 + K \cdot T_c) = \mu + (t_2 + M \cdot T_e)$$

【0063】

次に、図 7 を参照しつつ、協調制御器 30 による補間処理の手順について説明する。図

10

20

30

40

50

7は、協調制御器30による補間処理の手順の一例を概略的に示すフローチャートである。

【0064】

図7を参照すると、協調制御器30は、或る時刻 t に対して外界シミュレータ20から直近に取得されたシミュレーションデータ $E(t_b)$ (すなわち、センサ計測量 (t_b) 及び仮想車両25の状態量 (t_b) の組)と、当該時刻 t に対して車両挙動シミュレータ10から直近に取得された状態量 $\mu(t_a)$ とをメモリ(図示せず)から読み出す(ステップS1)。

【0065】

次に、協調制御器30は、センサ計測量 (t_b) 及び状態量 $\mu(t_a)$ 、 (t_b) に基づく補間演算を実行して補間センサ計測量 $s(t)$ を算出する(ステップS2~S3)。すなわち、協調制御器30は、状態量 $\mu(t_a)$ 、 (t_b) から状態差分 μ を算出し(ステップS2)、状態差分 μ とセンサ計測量 (t_b) とに基づいて補間センサ計測量 $s(t)$ を算出する(ステップS3)。そして、協調制御器30は、算出された補間センサ計測量 $s(t)$ を制御シミュレータ40に出力する(ステップS4)。

【0066】

その後、処理を続行するときは(ステップS5のYES)、協調制御器30は、時刻 t をインクリメントして(ステップS6)、ステップS1に処理を戻す。一方、処理を続行しないときは(ステップS5のNO)、協調制御器30は補間処理を終了する。

【0067】

次に、外界センサモデル26に含まれる測距センサモデルのセンサ計測範囲を補正する方法について説明する。

【0068】

上述のとおり、外界センサモデル26が、センサ計測範囲(計測レンジ)内に存在する対象物体27までの距離を計測する測距センサモデルを含む場合には、そのセンサ計測範囲は、車両挙動シミュレータ10と外界シミュレータ20との間のデータ授受にかかる遅延時間に起因する誤差と、外界シミュレータ20の演算周期 T_e の粗さに起因する誤差とを含みうる。図3に示される協調制御器30は、車両モデル11の状態量 $\mu(t_1 + n \cdot T_h)$ 、特に、車両モデル11の位置変化または姿勢変化を表す物理量(たとえば、車両モデル11の移動速度、加速度、姿勢角速度もしくは姿勢角加速度、またはこれらの組合せ)を用いて、外界センサモデル26のセンサ計測範囲を補正するための補正量 $r(t_3 + k \cdot T_c)$ ($k = \dots, -1, 0, 1, 2, 3, \dots$)を逐次算出することができる。また協調制御器30は、算出された補正量 $r(t_3 + k \cdot T_c)$ を外界シミュレータ20に供給してセンサ計測範囲を補正させることができる。

【0069】

図8A~図8F及び図9G~図9Jは、車両モデル11の状態量 $\mu(t_1 + n \cdot T_h)$ を用いて、仮想車両25に搭載された測距センサモデルのセンサ計測範囲SRを補正する様子を示す概略図である。

【0070】

図8Aに示されるように仮想車両25が前方へ移動する場合は、その移動速度に応じて、センサ計測範囲SRを前方のセンサ計測範囲SRaにシフトさせる補正量 $r(t_3 + k \cdot T_c)$ が生成される。図8Bに示されるように仮想車両25が後方へ移動する場合は、その移動速度に応じて、センサ計測範囲SRを後方のセンサ計測範囲SRbにシフトさせる補正量 $r(t_3 + k \cdot T_c)$ が生成される。図8Cに示されるように仮想車両25が車体の鉛直方向軸の周りに反時計方向へ回転(ヨーイング)する場合は、その姿勢角速度(ヨー角速度)に応じて、センサ計測範囲SRを左側のセンサ計測範囲SRcへ回転させる補正量 $r(t_3 + k \cdot T_c)$ が生成される。図8Dに示されるように仮想車両25が車体の鉛直方向軸の周りに時計方向へ回転(ヨーイング)する場合は、その姿勢角速度(ヨー角速度)に応じて、センサ計測範囲SRをセンサ計測範囲SRdへ回転させる補正量 $r(t_3 + k \cdot T_c)$ が生成される。図8Eに示されるように仮想車両25が左方向へ移動する場合は、その移動速度に応じて、センサ計測範囲SRを左方のセンサ計測範囲

S R e にシフトさせる補正量 $r(t_3 + k \cdot T_c)$ が生成される。図 8 F に示されるように仮想車両 2 5 が右方向へ移動する場合は、その移動速度に応じて、センサ計測範囲 S R を右方のセンサ計測範囲 S R f にシフトさせる補正量 $r(t_3 + k \cdot T_c)$ が生成される。

【 0 0 7 1 】

また図 9 G に示されるように仮想車両 2 5 が車幅方向軸の周りに反時計方向へ回転（ピッチング）する場合は、その姿勢角速度（ピッチ角速度）に応じて、センサ計測範囲 S R をセンサ計測範囲 S R g へ回転させる補正量 $r(t_3 + k \cdot T_c)$ が生成され、図 9 H に示されるように仮想車両 2 5 が車幅方向軸の周りに時計方向へ回転（ピッチング）する場合は、その姿勢角速度（ピッチ角速度）に応じて、センサ計測範囲 S R をセンサ計測範囲 S R h へ回転させる補正量 $r(t_3 + k \cdot T_c)$ が生成される。さらに図 9 I に示されるように仮想車両 2 5 が車体の長手方向軸の周りに時計方向へ回転（ローリング）する場合は、その姿勢角速度（ロール角速度）に応じて、センサ計測範囲 S R をセンサ計測範囲 S R i へ回転させる補正量 $r(t_3 + k \cdot T_c)$ が生成され、図 9 J に示されるように仮想車両 2 5 が車体の長手方向軸の周りに反時計方向へ回転（ローリング）する場合は、その姿勢角速度（ロール角速度）に応じて、センサ計測範囲 S R をセンサ計測範囲 S R j へ回転させる補正量 $r(t_3 + k \cdot T_c)$ が生成される。

10

【 0 0 7 2 】

次に、図 1 0 を参照しつつ、補正量 $r(t_3 + k \cdot T_c)$ の算出方法について説明する。図 1 0 は、車両挙動シミュレータ 1 0 , 外界シミュレータ 2 0 , 協調制御器 3 0 及び制御シミュレータ 4 0 の間のデータの流れを概略的に例示するタイミングチャートである。図 1 0 には、制御シミュレータ 4 0 の入力及び出力それぞれの時間軸、車両挙動シミュレータ 1 0 の入力及び出力それぞれの時間軸（演算周期： T_h ）、外界シミュレータ 2 0 の入力及び出力それぞれの時間軸（演算周期： T_e ）、並びに、協調制御器 3 0 の入力及び出力それぞれの時間軸（演算周期： T_c ）が示されている。ここで、 t は時刻（シミュレーション時刻）である。演算周期 T_e, T_h, T_c の間には、 $T_e > T_c > T_h$ との制限が課せられている。

20

【 0 0 7 3 】

図 1 0 に示されるように、車両挙動シミュレータ 1 0 は、制御シミュレータ 4 0 から制御指令が入力される度に、当該制御指令に応じた計算機シミュレーションを実行することにより状態量 $\mu(t_1 + n \cdot T_h)$ ($n = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, 3, \dots$) を算出する。車両挙動シミュレータ 1 0 は、時刻 $t = t_1 + n \cdot T_h$ に当該状態量 $\mu(t_1 + n \cdot T_h)$ を出力する。

30

【 0 0 7 4 】

協調制御器 3 0 は、車両挙動シミュレータ 1 0 の演算周期 T_h に近い演算周期 T_c で演算する。このため、協調制御器 3 0 は、時刻 $t = t_3 + k \cdot T_c$ にて車両挙動シミュレータ 1 0 から入力された状態量 $\mu(t_1 + n \cdot T_h)$ をそれぞれ取得（サンプリング）することができる。協調制御器 3 0 は、取得された状態量 $\mu(t_1 + n \cdot T_h)$ （たとえば、車両モデル 1 1 の移動速度，加速度，姿勢角速度もしくは姿勢角加速度，またはこれらの組合せ）を用いて補正量 $r(t_3 + k \cdot T_c)$ を生成し、当該補正量 $r(t_3 + k \cdot T_c)$ を外界シミュレータ 2 0 に出力する。

40

【 0 0 7 5 】

たとえば、補正量 $r(t_3 + k \cdot T_c)$ は、車両挙動シミュレータ 1 0 から直近に取得された移動速度ベクトル $v(t_1 + n \cdot T_h)$ と外界シミュレータ 2 0 の演算周期 T_e とに基づいて、次式に従って算出可能である。

【 0 0 7 6 】

$$r(t_3 + k \cdot T_c) = N_e \cdot T_e \cdot v(t_1 + n \cdot T_h)$$

ここで、 N_e は、遅延時間に応じて選択され得る 1 以上の正整数である。

【 0 0 7 7 】

外界シミュレータ 2 0 は、協調制御器 3 0 の演算周期 T_c よりも粗い演算周期 T_e で演

50

算するので、演算周期 T_c で出力される補正量 $r(t_3 + k \cdot T_c)$ のすべてを取得（サンプリング）することはできない。図 10 の例では、外界シミュレータ 20 は、下記時刻 t にて協調制御器 30 から入力された下記補正量 $r()$ を取得することができる。

【0078】

- ・時刻 $t = t_2 + (-1) \cdot T_e$; 補正量 $r(t_3 - 3 \cdot T_c)$
- ・時刻 $t = t_2$; 補正量 $r(t_3)$
- ・時刻 $t = t_2 + (+1) \cdot T_e$; 補正量 $r(t_3 + 2 \cdot T_c)$
- ・時刻 $t = t_2 + (+2) \cdot T_e$; 補正量 $r(t_3 + 5 \cdot T_c)$

【0079】

外界シミュレータ 20 は、取得された補正量 $r(t_3 + k \cdot T_c)$ だけセンサ計測範囲をシフトまたは回転させることにより、センサ計測範囲を補正することができる。

10

【0080】

次に、図 11 を参照しつつ、協調制御器 30 による補正処理の手順について説明する。図 11 は、協調制御器 30 による補正処理の手順の一例を概略的に示すフローチャートである。

【0081】

図 11 を参照すると、協調制御器 30 は、或る時刻 t に対して、車両挙動シミュレータ 10 から直近に取得された状態量 $\mu(t_b)$ をメモリ（図示せず）から読み出し（ステップ S10）、当該状態量 $\mu(t_b)$ と外界シミュレータ 20 の演算周期 T_c とを用いて補正量 $r(t)$ を算出する（ステップ S11）。次に、協調制御器 30 は、算出された補正量 $r(t)$ を外界シミュレータ 20 に出力する（ステップ S12）。

20

【0082】

その後、処理を続行するときは（ステップ S13 の YES）、協調制御器 30 は、時刻 t をインクリメントして（ステップ S14）、ステップ S10 に処理を戻す。一方、処理を続行しないときは（ステップ S13 の NO）、協調制御器 30 は補正処理を終了する。

【0083】

図 12 は、対象物体に向けて前方へ移動する車両の走行状態（走行パターン）の一例を示すグラフである。図 12 のグラフにおいて、横軸は時間（単位：秒）を示し、縦軸は走行距離（単位：メートル）を示している。図 13 及び図 14 は、図 12 に示した走行状態に対応する測距値の計算結果を示すグラフである。図 13 及び図 14 のグラフにおいて、横軸は時間（単位：秒）を示し、縦軸は距離（単位：メートル）を示している。図 13 及び図 14 の双方において、曲線 50 は、対象物体との実際の距離を示しており、曲線 51 は、測距センサモデルのセンサ計測範囲内で得られるべき理想的な測距値を示すものである。

30

【0084】

図 13 に示される測距値の曲線 52 は、図 4 に示したように協調制御器 30 をもたない協調シミュレーションシステム 100 により得られたものである。曲線 52 は、理想的な曲線 51 に対して誤差 D_{r1} 、 D_{t1} を有する。誤差 D_{r1} は、車両挙動シミュレータ 10 と外界シミュレータ 20 との間のデータ授受にかかる遅延時間と外界シミュレータ 20 の演算周期 T_e の粗さとに起因する、測距値の誤差を表している。誤差 D_{t1} は、レンジ計測範囲の誤差を表す。

40

【0085】

一方、図 14 に示される測距値の曲線 53 は、図 3 に示したように協調制御器 30 を備えた協調シミュレーションシステム 1 により得られたものである。曲線 53 は、理想的な曲線 51 に対して誤差 D_{r2} 、 D_{t2} を有する。誤差 D_{r2} は、車両挙動シミュレータ 10 と外界シミュレータ 20 との間のデータ授受にかかる遅延時間と、外界シミュレータ 20 の演算周期 T_e の粗さとに起因する測距値の誤差を表している。誤差 D_{t2} は、レンジ計測範囲の誤差を表す。図 13 に示した曲線 52 と比べると、図 14 に示した曲線 53 の方が、良好な結果を得ていることが分かる。

【0086】

50

以上に説明したように協調シミュレーションシステム1の協調制御器30は、外界シミュレータ20の演算周期 T_e よりも短い演算周期 T_c にて、車両挙動シミュレータ10により算出された状態量 $\mu(t_1 + n \cdot T_h)$ と外界シミュレータ20により算出されたセンサ計測量 $(t_2 + m \cdot T_e)$ とに基づいて、精度の高い補間センサ計測量 $s(t_3 + k \cdot T_c)$ を算出することができる。よって、たとえば図6に示したように、車両挙動シミュレータ10と外界シミュレータ20との間のデータの授受にかかる遅延時間と、外界シミュレータ20の演算周期 T_e の粗さとを補償することができる。これにより、外界センサモデル22と車両モデル11とが分散して配置されたシミュレーション環境下でも、精度の高い協調シミュレーションが可能となる。

【0087】

また、協調制御器30をもたない協調シミュレーションシステム100(図4)の場合は、図5に示されるように、制御シミュレータ40は、時間的に粗いセンサ計測量 $(t_2 + 1 \cdot T_e)$ 、 $(t_2 + 2 \cdot T_e)$ 、...しか利用することができない。これに対し、上記実施形態の協調シミュレーションシステム1では、図6に示されるように、協調制御器30は、時間的に細かい補間センサ計測量 $s(t_3 - 1 \cdot T_c)$ 、 $s(t_3)$ 、 $s(t_3 + 1 \cdot T_c)$ 、 $s(t_3 + 2 \cdot T_c)$ 、...を生成し、これら補間センサ計測量を制御シミュレータ40に逐次供給することができる。したがって、制御シミュレータ40は、短い演算周期で制御シミュレーションを実行することができる。

【0088】

さらに、協調制御器30は、車両モデル11(移動体モデル)の状態量 $\mu(t_1 + n \cdot T_h)$ 、特に車両モデル11の位置変化や姿勢変化を表す物理量(たとえば、車両モデル11の移動速度、加速度または姿勢角速度)を用いて、外界センサモデル22のセンサ計測範囲を補正するための補正量 $r(t_3 + k \cdot T_c)$ を算出し、当該補正量 $r(t_3 + k \cdot T_c)$ を外シミュレータ20に供給する。外界シミュレータ20は、当該補正量 $r(t_3 + k \cdot T_c)$ を用いてセンサ計測範囲を補正することができる。これにより、さらに精度の高い協調シミュレーションが可能となる。

【0089】

以上、本開示に係る種々の実施形態及びその変形例について説明したが、上記の実施形態及びその変形例は例示に過ぎず、本発明の範囲を限定するものではない。たとえば、上記実施形態は、主に自動車開発用の協調シミュレーションを実行するためのものであるが、これに限定されるものではない。自動車以外の実際の車両(たとえば鉄道車両)または航空機などの移動体を計算機上で仮想的に表現する仮想移動体の挙動を模擬するための移動体モデルと、当該移動体モデルに適合する外界環境モデル及び外界センサモデルとの組合せを使用するような形態へ上記実施形態を適宜変形することが可能である。

【0090】

また、本発明の趣旨及び範囲から逸脱することなく、上記実施形態の変更、追加及び改良を適宜行うことができることが理解されるべきである。本発明の範囲は、特許請求の範囲の記載に基づいて解釈されるべきであり、さらにその均等物を含むものと理解されるべきである。

【産業上の利用可能性】

【0091】

本開示に係る協調シミュレーションシステム、協調制御方法、協調制御器及びコンピュータプログラムは、複数のシミュレータを有する協調シミュレーション環境に利用可能であり、たとえば、MBDなどのモデリング手法に基づく設計開発、及び、モデルベースシステムズエンジニアリング(MBSE: Model-Based Systems Engineering)に適用可能である。

【符号の説明】

【0092】

1: 協調シミュレーションシステム、10: 車両挙動シミュレータ(第1のシミュレータ)、11: 車両モデル(移動体モデル)、20: 外界シミュレータ(第2のシミュレー

10

20

30

40

50

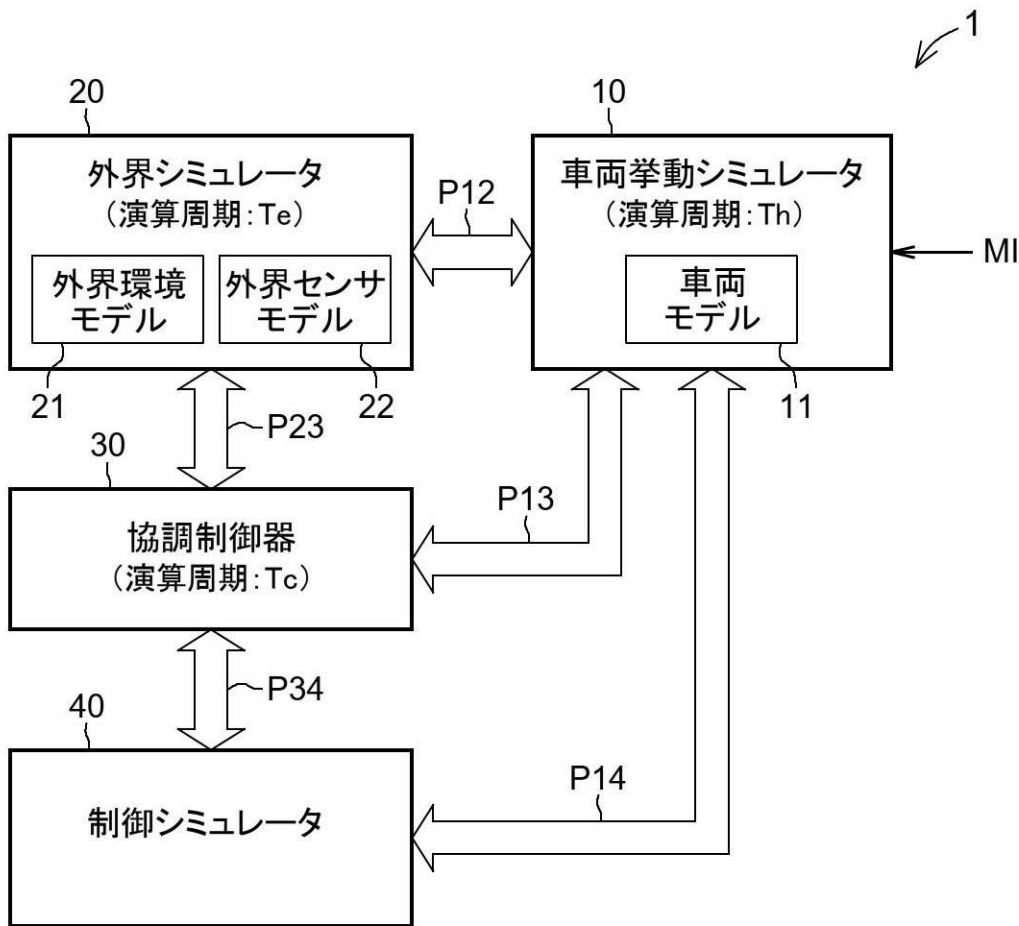
タ)、21:外界環境モデル、22:外界センサモデル、25:仮想車両(仮想移動体)、26:外界センサモデル、27:対象物体、30:協調制御器、40:制御シミュレータ。

【要約】

【課題】精度の高い協調シミュレーションを可能とする協調シミュレーションシステムを提供する。

【解決手段】協調シミュレーションシステムは、移動体モデルを用いた計算機シミュレーションを第1の演算周期にて実行することにより移動体モデルの状態量を算出する第1のシミュレータと、その状態量に基づいて、外界環境モデル及び外界センサモデルを用いた計算機シミュレーションを第1の演算周期よりも長い第2の演算周期にて実行することにより外界センサモデルのセンサ値を算出する第2のシミュレータと、制御シミュレーションを実行する制御シミュレータと、協調制御器とを備える。協調制御器は、第2の演算周期よりも短い第3の演算周期にて、状態量及びセンサ値に基づいて補間センサ値を算出する。制御シミュレータは、補間センサ値に基づいて制御シミュレーションを実行する。

【選択図】図1



10

20

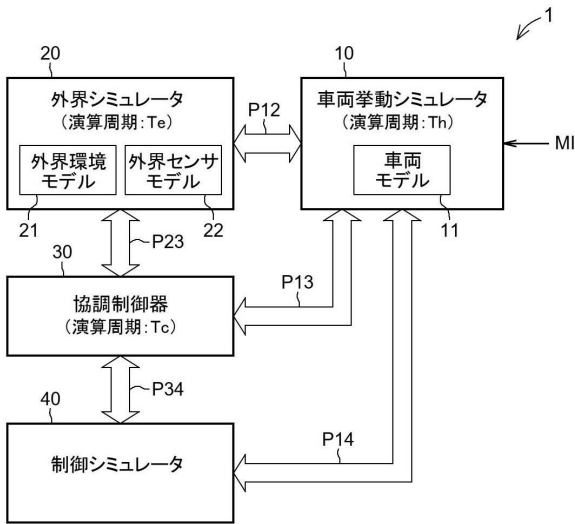
30

40

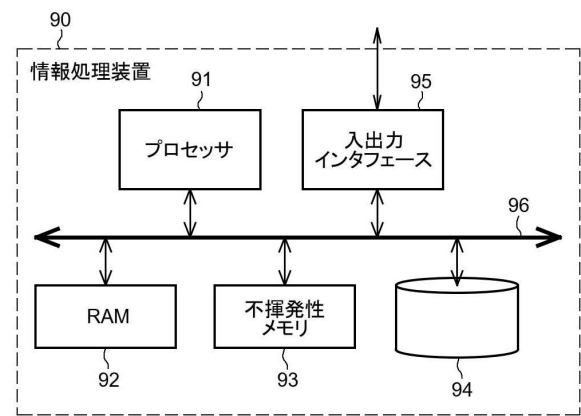
50

【図面】

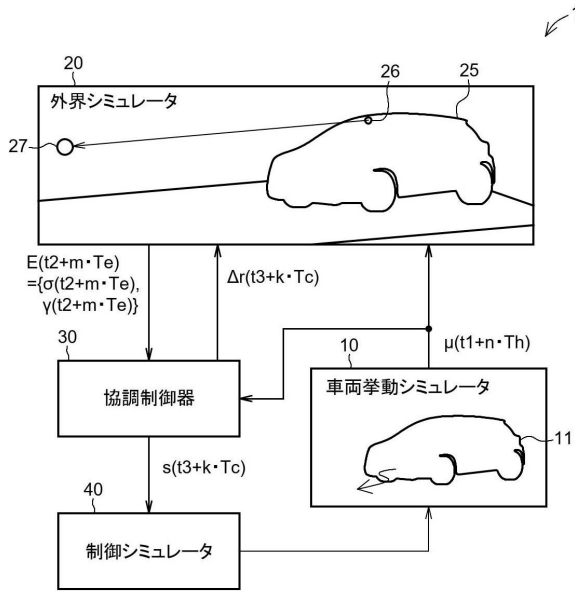
【図 1】



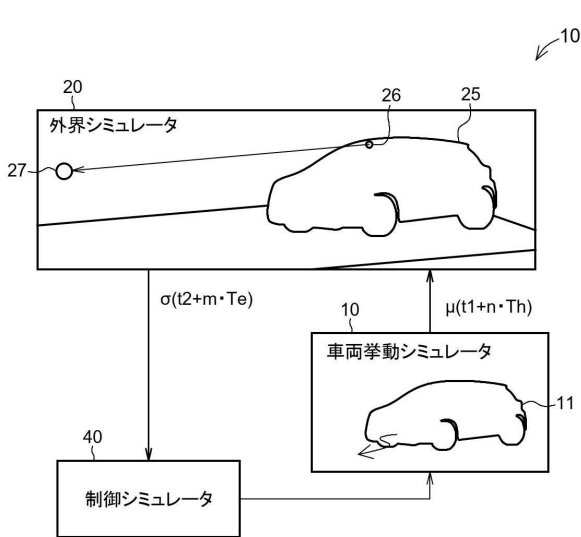
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

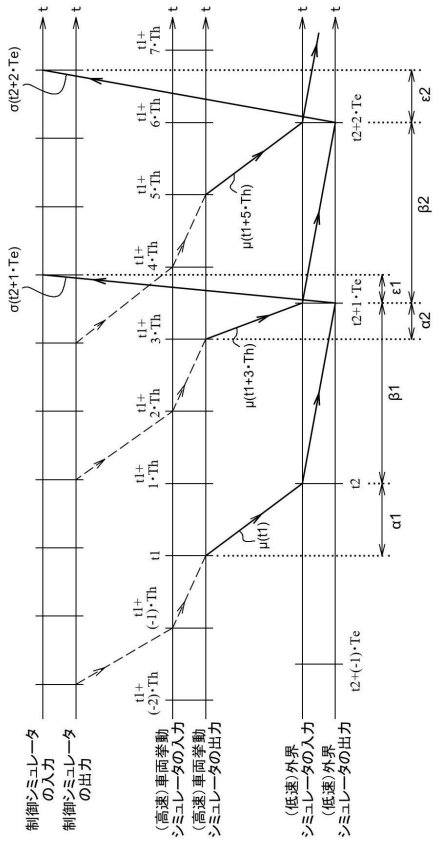
20

30

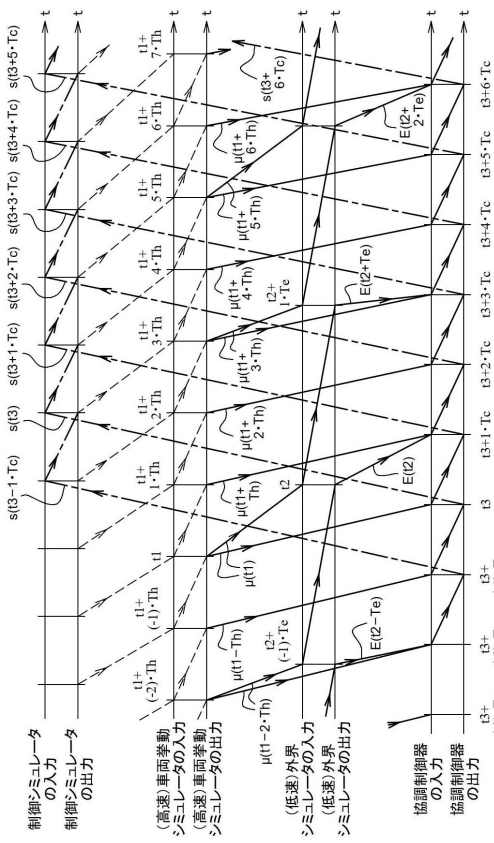
40

50

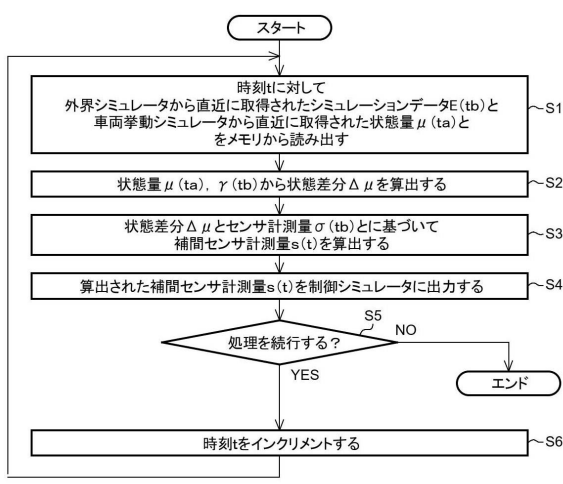
【図5】



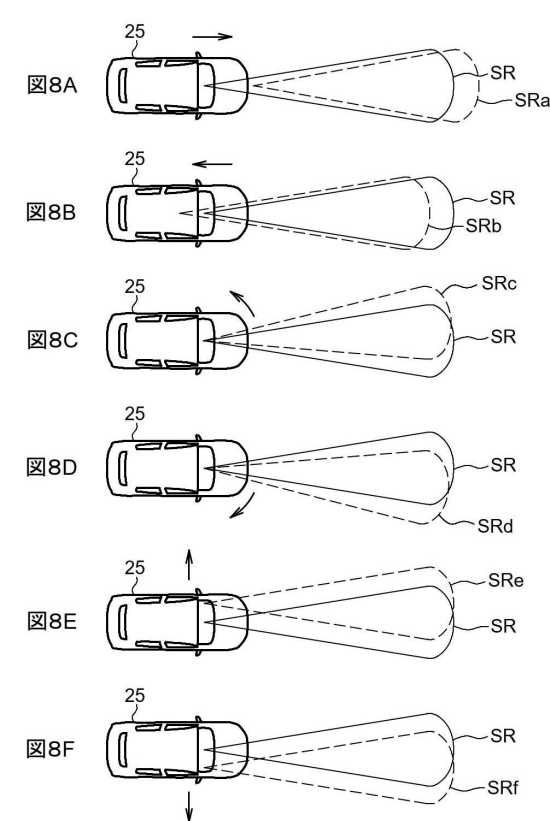
【図6】



【図7】



【図8】



10

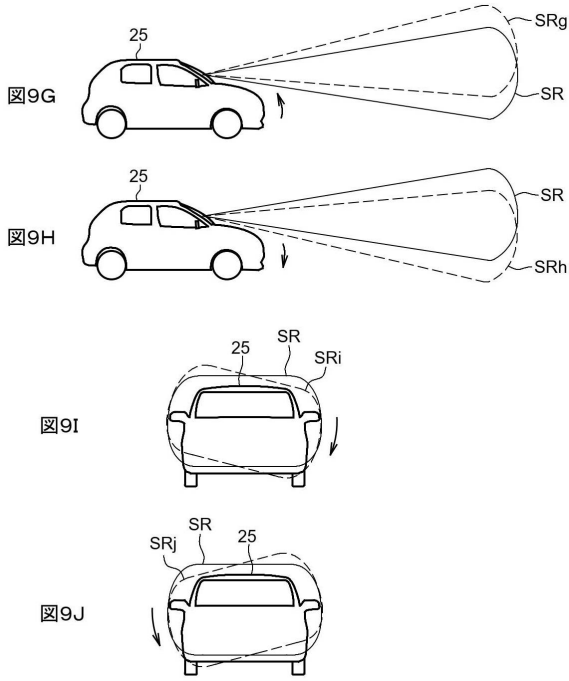
20

30

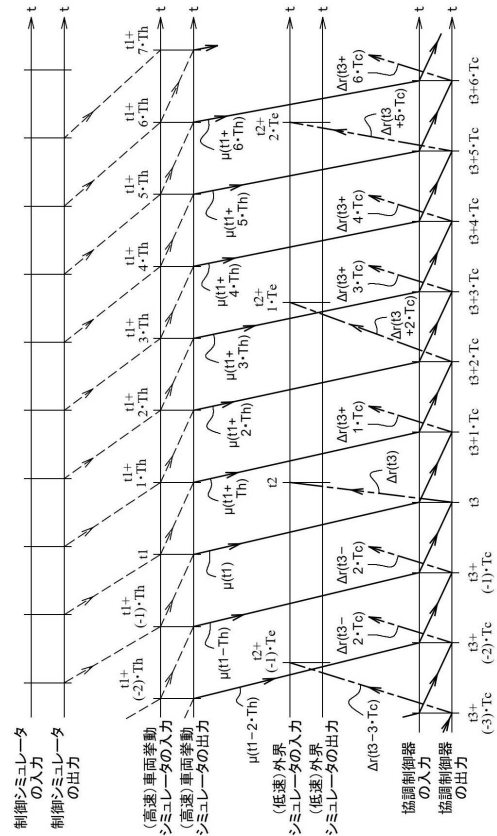
40

50

【 図 9 】



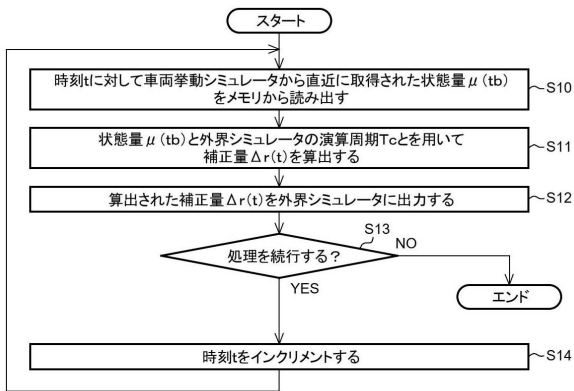
【 図 1 0 】



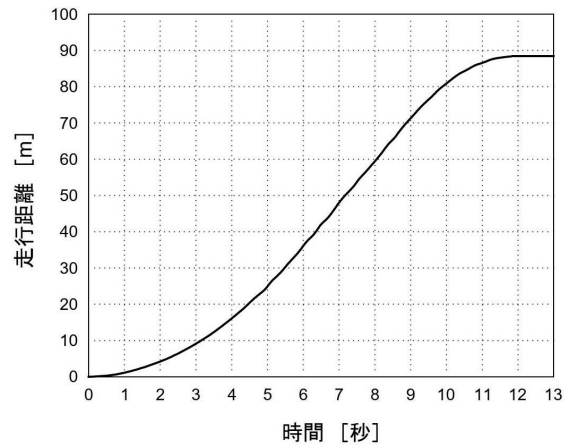
10

20

【 図 1 1 】



【 図 1 2 】

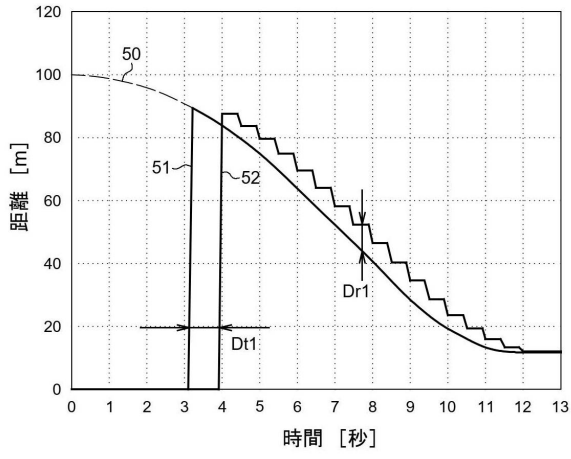


30

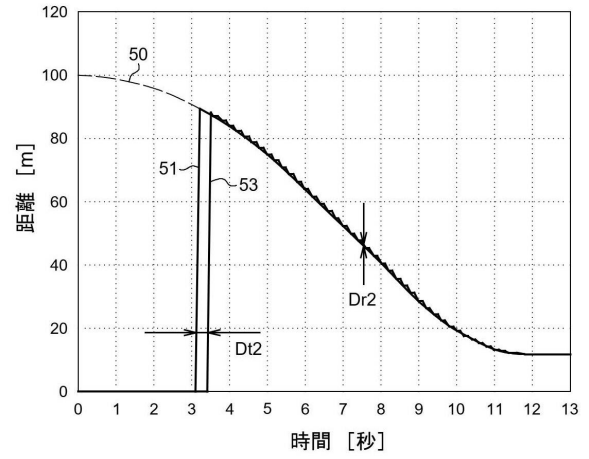
40

50

【図 13】



【図 14】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

東京都港区港南2 - 3 - 13 品川フロントビル 株式会社ネクスティエレクトロニクス内

審査官 真木 健彦

- (56)参考文献 特開2013 - 137658 (JP, A)
特開2006 - 133912 (JP, A)
特開2013 - 084163 (JP, A)
特開2016 - 004338 (JP, A)
特開2009 - 252113 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G06F 30/20
G06F 30/15