

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2010-512265

(P2010-512265A)

(43) 公表日 平成22年4月22日(2010.4.22)

(51) Int.Cl.
B61L 27/00 (2006.01)F1
B61L 27/00テーマコード (参考)
5H161

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 50 頁)

(21) 出願番号 特願2009-540341 (P2009-540341)
 (86) (22) 出願日 平成19年9月10日 (2007. 9. 10)
 (85) 翻訳文提出日 平成20年5月13日 (2008. 5. 13)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2007/078001
 (87) 国際公開番号 W02008/073545
 (87) 国際公開日 平成20年6月19日 (2008. 6. 19)
 (31) 優先権主張番号 11/608, 066
 (32) 優先日 平成18年12月7日 (2006. 12. 7)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390041542
 ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
 GENERAL ELECTRIC CO
 MPANY
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ
 クタデイ、リバーロード、1 番
 (74) 代理人 100093908
 弁理士 松本 研一
 (74) 代理人 100105588
 弁理士 小倉 博
 (74) 代理人 100129779
 弁理士 黒川 俊久
 (74) 代理人 100137545
 弁理士 荒川 聡志

最終頁に続く

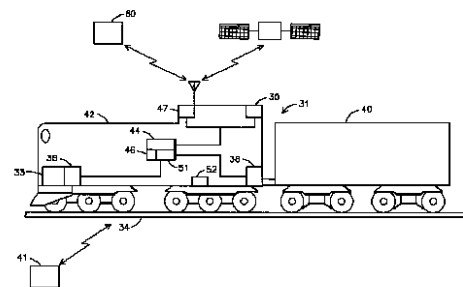
(54) 【発明の名称】 信号情報を使用して列車の運行を最適化するための方法および装置

(57) 【要約】

【課題】軌道のセグメント(401/412/420)に沿った運行中に第1の鉄道輸送手段(400)を含む鉄道網を運転するためのシステムを提供する。

【解決手段】システムは、第1の鉄道輸送手段(400)の走行パラメータを判定する第1の要素(65)と、運行中に第1の輸送手段によって横切られる軌道のセグメントに関する第2の鉄道輸送手段(418)の走行パラメータを判定する第2の要素(65)と、第1および第2の要素(65)から情報を受信し、第2の輸送手段(418)による軌道のセグメント(401/412/420)の占有と第1の輸送手段(400)による同じ軌道のセグメントの後の占有との間の関係を判定し、第1の輸送手段(400)に関する速度曲線を決定する運行計画を作成するプロセッサ(62)とを含み、速度曲線は当該関係に応じ、さらに第1の輸送手段(400)に関する1つまたは複数の運転基準に従う。

【選択図】図11A



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

軌道のセグメントに沿った運行中に第 1 の鉄道輸送手段を含む鉄道網を運転するためのシステムであって、

前記第 1 の鉄道輸送手段の走行パラメータを判定するための第 1 の要素と、

前記運行中に前記第 1 の輸送手段によって横切られる前記軌道のセグメントに関する第 2 の鉄道輸送手段の走行パラメータを判定するための第 2 の要素と、

前記第 1 の要素および前記第 2 の要素から情報を受信するための、ならびに前記第 2 の輸送手段による軌道のセグメントの占有と前記第 1 の輸送手段による同じ軌道のセグメントの後の占有との間の関係を判定するためのプロセッサと、

10

前記第 1 の輸送手段に関する速度曲線を決定する運行計画を作成するために前記情報にアクセスする前記プロセッサ内に具現化されたアルゴリズムとを含み、前記速度曲線は前記関係に応じ、さらに前記第 1 の輸送手段に関する 1 つまたは複数の運転基準に従う、システム。

【請求項 2】

前記関係は、前記第 1 の輸送手段が前記軌道のセグメントの入り口に到達するときに前記第 2 の輸送手段が前記軌道のセグメントを占有する確率を含む請求項 1 記載のシステム。

【請求項 3】

前記確率は、前記第 2 の輸送手段の軌道のセグメントの占有が前記運行計画に従う前記第 1 の輸送手段の同じ軌道のセグメントの占有に影響を与えるかどうかを示す請求項 2 記載のシステム。

20

【請求項 4】

前記確率は、前記第 2 の輸送手段による軌道のセグメントの占有と同時に同じ軌道のセグメントを占有することを避けるために前記第 1 の輸送手段の速度が削減される時間を決定する請求項 1 記載のシステム。

【請求項 5】

前記第 1 の輸送手段の速度が落とされるレートが、前記第 1 の輸送手段が後で所望の速度に到達することを可能にする請求項 4 記載のシステム。

【請求項 6】

前記速度曲線は速度の減少の時間および速度の減少のレートを含み、より後の速度の減少の時間またはより大きな速度の減少のレートはより低い確率を含む関係に対応し、より早い速度の減少の時間またはより小さな速度の減少のレートはより高い確率を含む関係に対応する請求項 1 記載のシステム。

30

【請求項 7】

前記関係は、前記第 2 の輸送手段による軌道のセグメントの占有と同時に同じ軌道のセグメントを占有することを避けるために前記第 1 の輸送手段の速度が落とされる軌道の場所を決定する請求項 1 記載のシステム。

【請求項 8】

前記第 1 の輸送手段の速度が落とされるレートが、前記第 1 の輸送手段が前記第 2 の輸送手段によって占有された前記軌道のセグメントの入り口で所望の速度に到達することを可能にする請求項 7 記載のシステム。

40

【請求項 9】

前記走行パラメータは、位置、速度、運行計画、種類、到着時間、走行の方向、および優先度のうちの 1 つまたは複数を含む請求項 1 記載のシステム。

【請求項 10】

前記関係は、前記第 1 の輸送手段が前記軌道のセグメントの入り口に到達するときに前記第 2 の輸送手段が前記軌道のセグメントを占有する確率を含み、所定の確率の閾値よりも低い確率に対して、前記第 2 の輸送手段による軌道のセグメントの占有が前記第 1 の輸送手段による同じセグメントの占有を妨げないかのように前記速度曲線が決定される請求項 1 記載のシステム。

50

【請求項 1 1】

前記プロセッサは前記第 1 の輸送手段に搭載されており、前記第 2 の要素は有線、無線、無線位置、無線周波数、音響、電力線搬送、光、および手動プロセスによって前記第 2 の輸送手段の前記走行パラメータを供給する請求項 1 記載のシステム。

【請求項 1 2】

前記速度曲線は、前記第 2 の輸送手段によって現在占有されている軌道のセグメントの直後の軌道のセグメントに関する速度曲線を含む請求項 1 記載のシステム。

【請求項 1 3】

前記速度曲線は、前記関係の時間によって変わる変化に応じて時間と共に修正される請求項 1 記載のシステム。

10

【請求項 1 4】

前記関係は、前記軌道のセグメント上の輸送手段の以前の運転にさらに対応する請求項 1 記載のシステム。

【請求項 1 5】

前記関係は、軌道の状態と、前記第 1 の輸送手段および前記第 2 の輸送手段のそれぞれの運転条件とにさらに対応する請求項 1 記載のシステム。

【請求項 1 6】

前記関係は、輸送手段の軌道のセグメントの占有を示す軌道信号にさらに対応する請求項 1 記載のシステム。

【請求項 1 7】

前記確率は、前記軌道信号に関する最も確率の高い指示にさらに対応する請求項 1 6 記載のシステム。

20

【請求項 1 8】

前記速度曲線は、前記第 1 の輸送手段と前記第 2 の輸送手段の間の相対的な優先度にさらに対応する請求項 1 記載のシステム。

【請求項 1 9】

前記第 2 の要素は、前記軌道のセグメントに対する前記第 2 の輸送手段のリアルタイムの位置を判定し、前記プロセッサは、前記第 2 の輸送手段のリアルタイムの位置および走行パラメータに応じて前記第 2 の輸送手段の予測位置を決定する請求項 1 記載のシステム。

【請求項 2 0】

前記輸送手段に前記速度曲線に従うように自律的に指示するためのコントローラ要素をさらに含む請求項 1 記載のシステム。

30

【請求項 2 1】

オペレータが前記速度曲線に従って前記輸送手段を指揮する請求項 1 記載のシステム。

【請求項 2 2】

前記アルゴリズムは前記確率を自律的に判定し、前記第 1 の要素および前記第 2 の要素から受信された前記情報に応じて前記速度曲線を更新する請求項 1 記載のシステム。

【請求項 2 3】

前記軌道のセグメントはより多くの軌道の閉そく区間のうちの 1 つを含み、前記第 2 の要素は前記軌道の閉そく区間に対する前記第 2 の輸送手段の位置を判定し、前記アルゴリズムは前記第 1 の輸送手段の運行の軌道のセグメントを含む軌道の閉そく区間における前記第 2 の輸送手段の存在に応じて前記第 1 の輸送手段の性能を最適化する請求項 1 記載のシステム。

40

【請求項 2 4】

前記アルゴリズムは、前記第 1 の輸送手段の運行の軌道のセグメントを含む前記軌道の閉そく区間に対する前記第 2 の輸送手段の予測される将来の位置に応じて前記第 1 の輸送手段の性能を最適化する請求項 2 3 記載のシステム。

【請求項 2 5】

前記アルゴリズムは、前記第 2 の輸送手段の予測される将来の位置に関連する確率に応じて前記第 1 の輸送手段の性能を最適化する請求項 2 4 記載のシステム。

50

【請求項 2 6】

前記速度曲線は、前記第 2 の輸送手段の実際の将来の位置が予測と異なる場合に前記第 1 の輸送手段の適切な制御を提供する請求項 2 4 記載のシステム。

【請求項 2 7】

前記予測される将来の位置は、前記軌道のセグメント上の以前の運行中の前記第 2 の輸送手段の過去の位置に対応する請求項 2 4 記載のシステム。

【請求項 2 8】

前記第 2 の輸送手段の前記予測される将来の位置は、現在のおよび将来の軌道の状態ならびに前記第 2 の輸送手段の現在のおよび将来の運転パラメータのうちの 1 つまたは複数に対応する請求項 2 4 記載のシステム。

10

【請求項 2 9】

前記速度曲線は、それぞれの軌道のセグメントを抜けるための前記第 1 の輸送手段の出口速度を含む請求項 1 記載のシステム。

【請求項 3 0】

前記第 2 の要素は、リモートの場所から、または沿線の機器から提供された位置情報に応じて前記第 2 の輸送手段の位置を判定する請求項 1 記載のシステム。

【請求項 3 1】

前記第 1 の鉄道輸送手段および前記第 2 の鉄道輸送手段は、第 1 の機関車および第 1 の鉄道車両をさらに含む第 1 の列車と、第 2 の機関車および第 2 の鉄道車両にさらに含む第 2 の列車とをそれぞれ含む請求項 1 記載のシステム。

20

【請求項 3 2】

軌道のセグメントに対するその他の輸送手段の位置に応じて、前記軌道のセグメントに沿った鉄道輸送手段による運行中の前記輸送手段を含む鉄道網を運転するためのシステムであって、

前記輸送手段の走行パラメータを判定するための第 1 の要素と、

前記その他の輸送手段の走行パラメータを判定するための第 2 の要素と、

前記第 1 の要素および前記第 2 の要素から情報を受信するように動作可能なプロセッサと、

前記輸送手段の前記走行パラメータおよび前記その他の輸送手段の前記走行パラメータに対応し、前記輸送手段に関する 1 つまたは複数の運転基準に従って前記輸送手段の性能を最適化する運転計画を生成するために前記情報にアクセスする前記プロセッサ内に具現化されたアルゴリズムとを含む、システム。

30

【請求項 3 3】

前記その他の輸送手段の前記走行パラメータのうちの 1 つは前記その他の輸送手段の位置を含み、前記システムは前記軌道のセグメントに対する前記その他の輸送手段の前記位置に応じて前記軌道のセグメントの占有状態を指示する信号をさらに含み、前記第 2 の要素は前記信号に応じて前記その他の輸送手段の前記位置を判定する請求項 3 2 記載のシステム。

【請求項 3 4】

前記輸送手段の前記走行パラメータは前記輸送手段の位置、または前記輸送手段が前記運行を開始してから時間を含み、前記その他の輸送手段の走行パラメータは速度、位置、走行の方向、および相対的な優先度を含む請求項 3 2 記載のシステム。

40

【請求項 3 5】

前記プロセッサは、前記その他の輸送手段のうちの 1 つまたは複数が軌道のセグメントを占有し、前記運行計画に従った前記輸送手段の同じ軌道のセグメントの占有に影響を与える確率を判定する請求項 3 2 記載のシステム。

【請求項 3 6】

前記プロセッサは、前記その他の輸送手段のうちの 1 つによる軌道のセグメントの占有と同時に同じ軌道のセグメントを占有することを避けるために前記輸送手段の速度が削減される時間を決定する請求項 3 2 記載のシステム。

50

【請求項 37】

前記プロセッサは、前記輸送手段が後で所望の速度に到達することを可能にするように前記輸送手段の速度が落とされるレートを決定する請求項 32 記載のシステム。

【請求項 38】

前記運行計画は、速度の減少が始まる時間または軌道の位置と、前記輸送手段に関する速度の減少のレートとを含む請求項 32 記載のシステム。

【請求項 39】

前記プロセッサは、前記その他の輸送手段のうちの 1 つが軌道のセグメントを占有し、前記運行計画に従った前記輸送手段の同じ軌道のセグメントの占有に影響を与える確率を判定し、前記プロセッサは前記確率に応じて前記運行計画を修正する請求項 32 記載のシステム。

10

【請求項 40】

前記運行計画は前記輸送手段が速度の減少を開始すべき時間と前記速度の減少のレートとを含み、前記速度の減少が始まるより後の時間またはより大きな速度の減少のレートは第 1 の確率に対応し、前記速度の減少が始まるより早い時間またはより小さな速度の減少のレートは前記第 1 の確率よりも小さな第 2 の確率に対応する請求項 39 記載のシステム。

【請求項 41】

前記プロセッサは、前記その他の輸送手段のうちの 1 つによって占有された軌道のセグメントに進入することを避けるために前記輸送手段の速度が落とされる軌道の位置または時間を決定する請求項 32 記載のシステム。

20

【請求項 42】

前記輸送手段の速度が落とされるレートが、前記輸送手段が前記その他の輸送手段のうちの 1 つによって占有された軌道のセグメントの入り口で所望の速度に到達することを可能にする請求項 41 記載のシステム。

【請求項 43】

前記プロセッサは前記輸送手段に搭載されており、前記第 2 の要素は有線、無線、無線位置、無線周波数、音響、電力線搬送、光、および手動プロセスによって前記その他の輸送手段の前記走行パラメータを供給する請求項 32 記載のシステム。

【請求項 44】

前記プロセッサは、前記その他の輸送手段の時間によって変わる走行パラメータに応じて時間と共に前記運行計画を修正する請求項 32 記載のシステム。

30

【請求項 45】

前記輸送手段の前記走行パラメータおよび前記その他の輸送手段の前記走行パラメータは、前記輸送手段と前記その他の輸送手段の間の相対的な優先度を含む請求項 32 記載のシステム。

【請求項 46】

前記第 2 の要素は前記その他の輸送手段の前記走行パラメータに応じて前記その他の輸送手段のリアルタイムの位置を判定し、前記プロセッサは前記その他の輸送手段の走行パラメータに応じて前記その他の輸送手段の予測位置を決定する請求項 32 記載のシステム。

【請求項 47】

前記輸送手段は第 1 の機関車および第 1 の鉄道車両をさらに含む列車を含み、その他の輸送手段のそれぞれは機関車を含む請求項 32 記載のシステム。

40

【請求項 48】

鉄道網の軌道のセグメントに沿った運行中に鉄道輸送手段を運転するための方法であって、

前記輸送手段の走行パラメータを判定することと、

前記鉄道網を横切るその他の輸送手段の走行パラメータを判定することと、

前記輸送手段に関する 1 つまたは複数の運転基準に従って前記輸送手段の性能を最適化するために前記輸送手段の前記走行パラメータおよび前記その他の輸送手段の前記走行パラメータに応じたアルゴリズムを実行することを含む、方法。

50

【請求項 49】

前記輸送手段の前記走行パラメータは前記輸送手段の位置、または前記輸送手段が前記運行を開始してから時間を含み、前記その他の輸送手段の前記走行パラメータは軌道のセグメントに対する位置、速度、運行計画、種類、到着時間、走行の方向、および優先度のうちの1つまたは複数を含む請求項48記載の方法。

【請求項 50】

前記鉄道網は、前記軌道のセグメントに対する前記その他の輸送手段の位置に応じて軌道のセグメントの状態を示す信号をさらに含み、前記その他の輸送手段の走行パラメータを判定する前記ステップは、前記その他の輸送手段の位置を判定するために前記信号の状態を判定することをさらに含む請求項48記載の方法。

10

【請求項 51】

前記実行するステップは、前記その他の輸送手段のうちの1つによる軌道のセグメントの占有が前記輸送手段による同じ軌道のセグメントの占有に影響を与える確率を判定し、さらに前記確率に従って前記輸送手段の性能を最適化する請求項48記載の方法。

【請求項 52】

前記輸送手段の速度、前記輸送手段の速度が落とされる時間または軌道の位置、および速度の減少のレートのうちの1つまたは複数が前記確率に対応する請求項51記載の方法。

【請求項 53】

前記実行するステップは、前記その他の輸送手段の前記走行パラメータに応じて前記輸送手段に関する速度曲線を決定することをさらに含む請求項48記載の方法。

20

【請求項 54】

前記実行するステップは前記その他の輸送手段の予測される将来の位置を判定することをさらに含み、前記輸送手段に関する前記速度曲線は前記予測される将来の位置に対応する請求項53記載の方法。

【請求項 55】

前記実行するステップは、前記その他の輸送手段のリアルタイムの位置を判定することと、前記リアルタイムの位置が前記予測位置と異なる場合に前記速度曲線を修正することとをさらに含む請求項54記載の方法。

【請求項 56】

前記実行するステップは、前記その他の輸送手段の予測される将来の位置を判定することと、軌道のセグメントに対する前記その他の輸送手段の予測される将来の位置が前記輸送手段による同じ軌道のセグメントの占有に影響を与える確率を判定することと、前記確率に従って前記輸送手段の性能を最適化することとをさらに含む請求項48記載の方法。

30

【請求項 57】

前記その他の輸送手段の前記予測される将来の位置は、前記軌道のセグメント上の以前の運行中の前記その他の輸送手段の過去の位置に対応する請求項56記載の方法。

【請求項 58】

前記輸送手段は機関車および鉄道車両をさらに含む列車を含む請求項48記載の方法。

【請求項 59】

鉄道網の軌道のセグメントに沿った運行中に鉄道輸送手段を運転するためのコンピュータソフトウェアコードであって、

40

前記輸送手段の走行パラメータを判定するためのソフトウェアモジュールと、

前記鉄道網を横切るその他の輸送手段の走行パラメータを判定するためのソフトウェアモジュールと、

前記輸送手段に関する1つまたは複数の運転基準に従って前記輸送手段の性能を最適化するために前記輸送手段の前記走行パラメータおよび前記その他の輸送手段の前記走行パラメータに応じたアルゴリズムを実行するためのソフトウェアモジュールとを含む、コンピュータソフトウェアコード。

【請求項 60】

前記その他の輸送手段のうちの1つによる軌道のセグメントの占有が前記運行中の前記輸

50

送手段による軌道のセグメントの占有に影響を与える確率を判定するための、およびさらに前記確率に従って前記輸送手段の性能を最適化するためのソフトウェアモジュールをさらに含む請求項 59 記載のコンピュータソフトウェアコード。

【請求項 61】

前記確率に応じて前記列車の速度曲線を決定するソフトウェアモジュールをさらに含む請求項 60 記載のコンピュータソフトウェアコード。

【請求項 62】

前記速度曲線のパラメータは、速度の減少のレートと、前記速度の減少が始まる時間または軌道の位置とを含む請求項 61 記載のコンピュータソフトウェアコード。

【請求項 63】

前記アルゴリズムを実行するための前記ソフトウェアモジュールはさらに前記その他の輸送手段の将来の位置を予測し、前記将来の位置に応じて前記輸送手段に関する運行計画を作成する請求項 61 記載のコンピュータソフトウェアコード。

【請求項 64】

前記アルゴリズムを実行するための前記ソフトウェアモジュールは前記その他の輸送手段のリアルタイムの位置を判定し、前記将来の位置と前記リアルタイムの位置の間の任意の差を判定し、それに応じて前記運行計画を修正する請求項 63 記載のコンピュータソフトウェアコード。

【請求項 65】

前記運行計画は前記輸送手段に関する速度曲線を含む請求項 63 記載のコンピュータソフトウェアコード。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、列車の運転を最適化することに関し、より具体的にはスケジュールの制約を満足しながら効率を向上するように列車の運転を監視および制御すると共に軌道およびポイントの信号を使用することに関する。

【背景技術】

【0002】

本願は、参照により本明細書に援用される 2006 年 3 月 20 日に出願され、出願番号 11/385,354 を割り当てられた「Trip Optimization System and Method for a Train」と題された米国特許出願の利益を主張する一部継続出願である。

【0003】

機関車は各サブシステムがその他のサブシステムと相互に依存している多数のサブシステムを用いた複雑なシステムである。機関車に乗車しているオペレータは、所望の目的地への安全なおよび適時の到着を保証するために、牽引力および制動力をかけて機関車の速度およびその機関車の鉄道車両の荷重を制御する。速度の制御は、列車内の力を許容限界内に維持し、それによって過大な自連力および列車破損の可能性を防止するためにも実行されなければならない。この機能を実行し、軌道上の列車の位置と共に変わる可能性がある定められた運転速度に従うために、概して、オペレータは、様々な鉄道車両のコンシスト、すなわち、様々な種類および数の鉄道車両を用いて特定の地形上で機関車を運転することの幅広い経験を持っていなければならない。

【0004】

しかし、たとえ安全な運転を保証するのに十分な知識および経験を持っていたとしても、概して、オペレータは運行中に燃料消費（またはその他の運転特性、例えば排気）を最小化するように機関車を運転することはできない。例えば、排気の制限、機関車の燃料/排気の特性、鉄道車両の大きさおよび荷重、天候、交通の状態、ならびに機関車の運転パラメータを含む複数の運転の要素が燃料消費に影響を与える。オペレータは、性能に影響を与える多数の変動する要素にかかわらず要求されたスケジュール（到着時間）を守り、

10

20

30

40

50

最小の燃料の量を使用（または別の運転パラメータを最適化）しながら運行中に性能を最適化する制御情報を与えられる場合、（牽引力および制動力の適用を通じて）列車をより効果的および効率的に運転することができる。

【特許文献 1】米国特許第 6, 691, 957 号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

したがって、1つまたは複数の運転パラメータを最適化するために牽引力および制動力の適用をアドバイスする装置またはプロセスの指導（または制御）の下でオペレータが列車を運転することが望ましい。

【課題を解決するための手段】

【0006】

一実施形態によれば、本発明は、軌道のセグメントに沿った運行中に第 1 の鉄道輸送手段を含む鉄道網を運転するためのシステムを含む。システムは、第 1 の鉄道輸送手段の走行パラメータを判定するための第 1 の要素と、運行中に第 1 の輸送手段によって横切られる軌道のセグメントに関する第 2 の鉄道輸送手段の走行パラメータを判定するための第 2 の要素と、第 1 のおよび第 2 の要素から情報を受信するための、ならびに第 2 の輸送手段による軌道のセグメントの占有と第 1 の輸送手段による同じ軌道のセグメントの後の占有との間の関係を判定するためのプロセッサと、第 1 の輸送手段に関する速度曲線を決定する運行計画を作成するために当該情報にアクセスするプロセッサ内に具現化されたアルゴリズムとを含み、速度曲線は当該関係に応じ、さらに第 1 の輸送手段に関する 1 つまたは複数の運転基準に従う。

【0007】

別の実施形態によれば、本発明は、鉄道網の軌道のセグメントに沿った運行中に鉄道輸送手段を運転するための方法を含む。方法は、輸送手段の走行パラメータを判定することと、鉄道網を横切るその他の輸送手段の走行パラメータを判定することと、当該輸送手段に関する 1 つまたは複数の運転基準に従って当該輸送手段の性能を最適化するために当該輸送手段の走行パラメータおよびその他の輸送手段の走行パラメータに応じたアルゴリズムを実行することとを含む。

【0008】

さらに別の実施形態は、鉄道網の軌道のセグメントに沿った運行中に鉄道輸送手段を運転するためのコンピュータソフトウェアコードを含む。ソフトウェアコードは、輸送手段の走行パラメータを判定するためのソフトウェアモジュールと、鉄道網を横切るその他の輸送手段の走行パラメータを判定するためのソフトウェアモジュールと、当該輸送手段に関する 1 つまたは複数の運転基準に従って当該輸送手段の性能を最適化するために当該輸送手段の走行パラメータおよびその他の輸送手段の走行パラメータに応じたアルゴリズムを実行するためのソフトウェアモジュールとを含む。

【0009】

本明細書で説明された本発明の態様のより具体的な説明が、添付の図面において図示される本発明の特定の実施形態を参照することによってなされる。これらの図面は本発明の典型的な実施形態のみを示し、したがって本発明の範囲の限定とみなされてはならないという理解の下で、実施形態が添付の図面の使用を通じてさらなる具体性および詳細によって示され、説明される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

ここで、本発明の態様に合致する実施形態に対する参照が詳細になされ、本発明の例が添付の図面に図示される。可能なときはいつでも、図面を通じて使用される同じ参照番号は同一のまたは同様の部分を指す。

【0011】

本発明の実施形態は、スケジュールおよび速度の制約を満足しながら特定の目的の運転

10

20

30

40

50

パラメータを改善するために列車の運転を（直接的にか、または提案されたオペレータの処置を通じてかのいずれかで）監視および制御することによって、機関車のコンシストおよび複数の鉄道車両を含む列車の運転方針を決定および実行するためのシステム、方法、およびコンピュータで実装された方法を提供することによって当技術分野におけるいくつかの不都合を克服するように試みる。本発明は、本務機関車のコンシストから間隔を空けられ、列車のオペレータによって制御可能である複数の機関車のコンシストを含む列車（動力分散方式の列車と呼ばれる）にも適用可能である。

【0012】

当業者は、CPU、メモリ、I/O、プログラム記憶装置、接続バス、およびその他の適切なコンポーネントを含むデータ処理システムなどの装置が本発明の方法の実施形態の実施を容易にするようにプログラムされるか、またはそうでなければ設計されることができることを認識するであろう。そのようなシステムは、これらの実施形態の方法を実行するための適切なプログラム手段を含む。

【0013】

別の実施形態において、データ処理システムと共に使用するための事前記録ディスクまたはその他の同様のコンピュータプログラム製品などの製品が、本発明の方法の実施を容易にするようにデータ処理システムに指示するための記憶媒体およびその記憶媒体上に記録されたプログラムを含む。そのような装置および製品も本発明の精神および範囲の内に入る。

【0014】

大まかに言って、本発明の態様は、スケジュールおよび速度の制約を満足しながら特定の目的の運転パラメータを改善するために列車の運転方針を決定および実行するための方法、装置、およびプログラムを教示する。本発明の理解を容易にするために、以降、本発明が本発明の特定の実装を参照して説明される。

【0015】

本発明が、コンピュータによって実行されるプログラムモジュールなどのコンピュータが実行可能な命令との全般的な関連で説明される。概して、プログラムモジュールは、特定のタスクを実行するか、または特定の抽象データ型を実装するルーチン、プログラム、オブジェクト、コンポーネント、データ構造などを含む。例えば、本発明の基礎をなすソフトウェアプログラムは、様々な処理プラットフォームと共に使用するために様々な言語でコーディングされることができる。以下に続く説明において、本発明の例が、ウェブブラウザを使用するウェブポータルとの関連で説明される。しかし、本発明の基礎をなす原理はその他の種類のコンピュータソフトウェア技術を用いて実装されることもできることが理解されるであろう。

【0016】

さらに、当業者は、本発明実施形態がハンドヘルドデバイス、マルチプロセッサシステム、マイクロプロセッサベースのまたはプログラム可能な家庭用電化製品、ミニコンピュータ、メインフレームコンピュータなどを含むその他のコンピュータシステム構成を用いて実施されることができることを理解するであろう。実施形態は、通信ネットワークを介して接続されたりリモートの処理デバイスによってタスクが実行される分散コンピューティング環境において実施されることもできる。分散コンピューティング環境においては、プログラムモジュールは、メモリ記憶装置を含むローカルのコンピュータ記憶媒体およびリモートのコンピュータ記憶媒体の両方に配置されることができる。これらのローカルおよびリモートのコンピューティング環境は、機関車内、もしくはコンシスト内の隣接する機関車内に完全に含まれることができるか、またはコンピューティング環境間の無線通信が提供される車外の沿線もしくは中央オフィスにあることができる。

【0017】

用語「機関車のコンシスト」は、機関車の間に鉄道車両を持たない、モータリングおよび/または制動能力を提供するために一緒に接続された連続する1両または複数の機関車を意味する。列車は1つまたは複数の機関車のコンシストを含むことができる。具体的に

10

20

30

40

50

は、本務コンシストと、一連の鉄道車両に沿った中間にある第1のリモートのコンシスト、および列車の末尾の位置にある別のリモートのコンシストなどの1つまたは複数のリモートのコンシストとが存在する可能性がある。それぞれの機関車のコンシストは、第1のまたは本務機関車と、1両または複数の補助機関車とを有することができる。コンシストは通常接続された連続する機関車とみなされるが、当業者は、スロットルおよび制動命令が無線リンクまたは物理的ケーブルによって本務機関車からリモートの機関車に中継される動力分散運転用にコンシストが構成されるときのように、たとえ少なくとも1両の鉄道車両がそれらの機関車を分けても機関車の一群がやはりコンシストとして認識され得ることを容易に認識するであろう。この目的のために、用語「機関車のコンシスト」は、同じ列車内の複数の機関車を検討するときに限定的な要素とみなされるべきでない。

10

【0018】

ここで図面を参照して本発明実施形態の実施形態が説明される。本発明実施形態は、システム（コンピュータ処理システムを含む）、方法（コンピュータ化された方法を含む）、装置、コンピュータ可読媒体、コンピュータプログラム製品、ウェブポータルを含むグラフィカルユーザインターフェース、またはコンピュータ可読メモリ内に実在するように定着されたデータ構造を含む多数のやり方で実装されることができる。本発明のいくつかの実施形態が以下で検討される。

【0019】

図1は、本発明の例示的なフローチャートの図を示す。示されるように、命令は、車内での、または指令センタ10などのリモートの場所からのいずれかの運行を計画すること

20

【0020】

このデータは、車載のディスプレイを介した機関車42への手動オペレータ入力、ハードカード、ハードドライブ、および/もしくはUSBドライブなどのデータ記憶装置に接続すること、または軌道信号デバイスおよび/もしくは沿線のデバイスなどの中央のおよび沿線の場所41から機関車42に無線通信チャネルを介して情報を送信することなどであるがこれらに限定されない種々の技術およびプロセスに従って機関車42に提供されることができる。機関車42および列車31の負荷特性（例えば、抵抗）も（例えば、高度、外気温度、ならびにレールおよび鉄道車両の状態によって）経路上で変わる可能性があり、上で検討された方法のうちのいずれかに従ってそのような変化を反映するために計画の更新を引き起こすことができる。運行最適化プロセスに影響を与える更新データは、上述の方法および技術のうちのいずれかによって、ならびに/または機関車/列車の状態のリアルタイムの自律的な収集によって供給されることができる。そのような更新は、例え

30

40

【0021】

軌道信号システムは特定の軌道の状態を示し、信号に接近する列車のオペレータに指示を与える。以下でより詳細に説明される信号システムは、例えば軌道のセグメント上の許容列車速度を示し、列車のオペレータに停車および走行指示を与える。信号の位置と様々な信号に関連する規則とを含む信号システムの詳細は、車載のデータベース63に記憶される。

【0022】

50

本発明の実施形態に入力された詳細データに基づいて、速度制限の制約と所望の出発および到着時間とに従って燃料の使用および／または生成される排気を最小化する最適な運行計画が、運行プロフィール１２を生成するために計算される。プロフィールは、距離および／または運行の開始からの時間の関数として表された列車が従うための最適な速度および動力（ノッチ）設定と、最大ノッチ動力およびブレーキ設定、位置の関数としての速度制限を含むがこれらに限定されない列車の運転の制限と、予想される使用燃料および生成される排気とを含む。例示的实施形態において、ノッチ設定に関する値は、１０から３０秒毎に１回程度スロットル変更判断を得るために選択される。当業者は、最適な速度プロフィールに従うために必要とされるおよび／または望まれる場合にスロットル変更判断がより長いまたはより短い間隔で行われることができることを容易に認識するであろう。より広い意味で、プロフィールは列車レベル、コンシストレベル、および／または個々の機関車レベルのいずれかで動力設定を列車に提供することが当業者には明らかであるに違いない。本明細書で使用されるように、動力は、制動動力、モータリング動力、および空気ブレーキ動力を含む。別の好ましい実施形態において、従来の離散的なノッチ動力設定で運転する代わりに、本発明は、速度プロフィールを最適化するために動力設定の連続的な範囲から所望の動力設定を決定する。したがって、例えば、最適なプロフィールがノッチ設定６．８を指定する場合、ノッチ設定７の代わりに機関車４２は６．８で運転する。そのような中間的な動力設定を可能にすることは、以下で説明されるようにさらなる効率の利益をもたらすことができる。

10

20

【００２３】

最適なプロフィールを計算するための手順は、以下で要約されるように機関車の運転およびスケジュールの制約に従って燃料および／または排気を最小化するように列車３１を運転する動力シーケンスを計算するための任意の数の方法を含むことができる。いくつかの場合、最適なプロフィールは、列車の構成、経路、および環境条件の類似性のために、前に決定されたプロフィールに十分に近い可能性がある。これらの場合、前に決定された運転経路をデータベース６３から取り出し、それに従って列車を運転すれば十分である可能性がある。

【００２４】

前の計画が利用できないとき、新しい計画を計算するための方法は、列車の動きの物理的過程を近似する微分方程式モデルを使用する最適なプロフィールの直接的な計算を含むがこれに限定されない。このプロセスによって、定量的目的関数が決定され、通常、この関数は、燃料消費率および生成される排気に対応するモデル変数の加重和（積分）に過度のスロットルの変動にペナルティを課すための項を足したもので成る。

30

【００２５】

最適な制御の定式化は、速度制限ならびに最大および最小動力（スロットル）設定を含むがこれらに限定されない制約に従って定量的目的関数を最小化するように構成される。いつでも計画の目的に応じて、問題は、排気および速度の制限に関する制約に従って燃料を最小化するように、または燃料の使用および到着時間に関する制約に従って排気を最小化するように確定されることができる。例えば、制約の緩和がミッションのために許可または要求される場合に総排気または燃料の使用に関する制約なしに総走行時間を最小化するという目的を設定することも可能である。

40

【００２６】

この文書を通して、例示的方程式および目的関数が、機関車の燃料消費を最小化するために示される。異なる目的関数に従って燃料消費を最適化するために、またはその他の機関車／列車の運転パラメータを最適化するためにその他の方程式および目的関数が使用されることができるので、これらの方程式および関数は例示のみを目的とする。

【００２７】

数学的に、解かれるべき問題はより正確に表されることができる。基本的な物理的過程は以下によって表される。

【００２８】

50

【数 1】

$$\frac{dx}{dt} = v, x(0) = 0.0; x(T_f) = D$$

$$\frac{dv}{dt} = T_e(u, v) - G_a(x) - R(v); v(0) = 0.0; v(T_f) = 0.0$$

ここで、 x は列車の位置であり、 v は列車速度であり、 t は時間であり（必要に応じて、マイル、マイル時速、および分または時間で表される）、 u はノッチ（スロットル）命令入力である。さらに、 D は走行予定距離を表し、 T_f は軌道に沿った距離 D への所望の到着時間であり、 T_e は機関車のコンシストによって生成される牽引力であり、 G_a は（列車の長さ、列車の構造、および走行地形に依存する）重力抵抗であり、 R は機関車のコンシストおよび列車の組合せの実速度に依存する抵抗である。初速度および最終速度も指定されることができ、一般性を失うことなくここでは 0 であると（列車は運行の始めと終わりに停車していると）みなされる。モデルは、スロットルの変化 u と結果として起こる牽引力または制動力との間の時間のずれのようなその他の力学係数を含むように容易に修正される。

10

【0 0 2 9】

全てのこれらの性能の尺度は、以下のうちの任意のものの 1 次結合として表されることができる。

1 .

20

【0 0 3 0】

【数 2】

$$\min_{u(t)} \int_0^{T_f} F(u(t)) dt$$

- 総燃料消費を最小化する。

2 .

【0 0 3 1】

【数 3】

$$\min_{u(t)} T_f$$

30

- 走行時間を最小化する

3 .

【0 0 3 2】

【数 4】

$$\min_{u_i} \sum_{i=2}^{n_d} (u_i - u_{i-1})^2$$

- ノッチの操作を最小化する（区分的に一定な入力）

40

4 .

【0 0 3 3】

【数 5】

$$\min_{u(t)} \int_0^{T_f} (du/dt)^2 dt$$

- ノッチの操作を最小化する（連続的な入力）

5 . (1) の燃料の項 $F(\cdot)$ を排気の生成に対応する項で置き換える。したがって、よく使用される代表的な目的関数は、

【0 0 3 4】

50

【数 6】

$$\min_{u(t)} \alpha_1 \int_0^{T_f} F(u(t)) dt + \alpha_3 T_f + \alpha_2 \int_0^{T_f} (du/dt)^2 dt \quad (\text{OP})$$

である。

この 1 次結合の係数は、項のそれぞれに対して与えられる重要度（重み）によって決まる。方程式（OP）において、 $u(t)$ は連続的なノッチ位置である最適化変数であることに留意されたい。例えば旧式の機関車のために離散的なノッチが必要とされる場合、方程式（OP）に対する解は離散化され、このことはより少ない燃料の節約をもたらす可能性がある。最小時間の解を見つけること（ α_1 は 0 に設定され、 α_2 は 0 または比較的小さな値に設定される）が、達成可能な走行時間に関する下限（ $T_f = T_{f \text{ min}}$ ）を見つけるために使用される。この場合、 $u(t)$ および T_f の両方が最適化変数である。好ましい実施形態は、 α_3 を 0 として $T_f > T_{f \text{ min}}$ である T_f の様々な値に対して方程式（OP）を解く。この後者の場合、 T_f は定数として扱われる。

10

【0035】

そのような最適化問題の解法に精通している人のために、制約、例えば経路に沿った速度制限

【0036】

【数 7】

20

$$0 \leq v \leq SL(x)$$

を追加することが必要である可能性があるか、または、最小時間を目的として使用するときは、追加の制約は、終点の制約が保たれなければならない、例えば、総消費燃料が例えば

【0037】

【数 8】

$$0 < \int_0^{T_f} F(u(t)) dt \leq W_F$$

（ここで W_F は T_f においてタンク内に残っている燃料である）によってタンク内にある燃料より少なくなければならないことである可能性がある。当業者は、方程式（OP）がその他の形態で示されることができると、上記の形態が本発明の一実施形態において使用するための例示的な方程式であることとを容易に認識するであろう。

30

【0038】

本発明に関連した排気についての言及は、概して窒素酸化物（ NO_x ）、未燃炭化水素、および微粒子の形態で生成される累積的な排気を対象とする。設計によって、どの機関車も EPA の排出基準に従わなければならない、したがって排気を最適化する本発明の実施形態において、この排気は現在 EPA の規定が存在しないミッション全体の排気を指す可能性がある。最適化された運行計画に従った機関車の運転は、常に EPA の排出基準に従う。

40

【0039】

運行中の重要な目的が排気を削減することである場合、最適な制御の定式化、方程式（OP）は、この運行の目的を考慮するために修正される。最適化プロセスにおける重要な柔軟性は、運行の目的のうちのいずれかまたは全てが地理的領域またはミッションによって変わることができることである。例えば、優先度の高い列車に関しては、その列車の優先度のために 1 つの経路上で最小の時間が唯一の目的である可能性がある。別の例において、排気の排出は、計画された列車の経路に沿った州毎に変わることができる。

【0040】

結果として得られる最適化問題を解くために、例示的实施形態において、本発明は、時間領域の動的な最適制御問題を N 個の決定変数を有する等価で静的な数理計画問題に書き

50

換え、ここで、数「N」はスロットルおよび制動の調整がなされる頻度と運行の継続時間とによって決まる。典型的な問題に関して、このNは数千にもなる可能性がある。例示の実施形態において、列車が、米国南西部の172マイルに渡って伸びた軌道を走行している。本発明を利用して、本発明の態様によって決定され、遵守される運行を、スロットル/速度が標準的なやり方に従ってオペレータによって決定される運行と比較するとき、例示的に7.6%の燃料消費が実現されることができると言える。改善された節約は、本発明によって提供される最適化が、オペレータ制御の運行と比較してより少ない抵抗損失とわずかなまたは全くない制動損失との両方を有する運転方針をもたらすので実現される。

【0041】

上述の最適化を計算し易くするために、図2に示され、上で検討された方程式に記載されたような列車の簡素化されたモデルが使用されることができると言える。最適なプロフィールに対する重要な改善が、熱的、電氣的、および機械的制約が破られるかどうかをテストするために、生成された最適な動力シーケンスを用いるより詳細なモデルを引き出すことによって生成され、機関車または列車の機器を損傷することなしに達成されることができると言える、すなわち機関車に関する熱的および電氣的制限ならびに列車間の力などのさらなる暗黙的な制約を満足することができる走行にもっと近い速度対距離を有する修正されたプロフィールをもたらす。

【0042】

再び図1を参照すると、運行が開始される(12)と、計画を発動するために動力命令が生成される(14)。本発明の実施形態の運転の設定に応じて、1つの命令は、最適な速度を達成するために機関車を最適化された動力命令に従わせる(16)。一実施形態は、列車の機関車のコンシストから実際の速度および動力の情報を取得する(18)。最適化のために使用されるモデルにおける共通の近似のおかげで、最適化された動力に対する修正の閉ループの計算が、所望の最適な速度を追跡するために取得される。列車の運転の制限のそのような修正は、自動的に、または列車の根本的な制御をいつも行っているオペレータによってなされることができると言える。

【0043】

いくつかの場合、最適化において使用されるモデルは実際の列車と大きく異なる可能性がある。これは、特別な貨物の追加または切り離し、経路内の故障した機関車、および初期データベース63内の誤りおよびオペレータによるデータ入力 of 誤りを含むがこれらに限定されない多くの理由で発生する可能性がある。これらの理由のために、監視システムはリアルタイムの列車のデータを使用してリアルタイムで機関車および/または列車のパラメータを推定する(20)。次に、推定パラメータが、運行が最初に作成されたときに仮定のパラメータと比較される(22)。仮定のパラメータと推定パラメータの任意の差に基づいて、運行が再計画されることができると言える(24)。概して、運行は、新しい計画をもとに著しい節約が実現されることができると言える場合に再計画される。

【0044】

運行が再計画される可能性があるその他の理由は、大域的な移動計画の目的に合致するための目的の変更の、指令などのリモートの場所からの命令および/またはオペレータの要求を含む。そのような大域的な移動計画の目的は、その他の列車のスケジュール、排気をトンネルから消散させるために必要な時間、保守作業などを含む可能性があるがこれらに限定されない。別の理由は、車内でのコンポーネントの故障が原因である可能性がある。再計画に関する方針は、以下でさらに詳細に検討されるように障害の重大性に応じて付加的な調整および大幅な調整にグループ化されることができると言える。概して、「新しい」計画は、上述の最適化問題の方程式(OP)に対する解から導出されなければならないが、本明細書において説明されるようにより速い近似解が発見されることができると言えることが多い。

【0045】

運転中、機関車42はシステム効率を継続的に監視し、更新が運行性能を向上することができるときにはいつでも実際の測定された効率に基づいて運行計画を継続的に更新する。再計画の計算は、(1つまたは複数の)機関車内で全て実行されることができると言えるか、ま

10

20

30

40

50

たは無線技術が新しい計画を機関車 4 2 に伝達することができる指令または沿線の処理設備などのリモートの場所で全てもしくは部分的に実行されることができる。本発明の一実施形態は、効率伝達関数に関する機関車の一団のデータを作成するための効率の傾向を生成することもできる。機関車の一団全体のデータは、最初の運行計画を決定するとき时使用されることができ、複数の列車の位置を考慮するときに鉄道網全体の最適化の折り合いをつけるために使用されることができる。例えば、図 4 に示される走行時間と燃料の使用のトレードオフ曲線は、特定の経路上の多くの同様の列車に関して収集されたアンサンプル平均をもとに更新された現時点の同じ経路上の列車の能力を反映する。したがって、多くの機関車から図 4 と同様の曲線を収集する中央指令機関は、列車の全体的な動きをよりうまく調整して燃料の使用またはスループットにおけるシステム全体の利益を達成するためにその情報を使用することができる。

10

【0046】

例えば列車が別の列車との計画された待ち合わせまたは追い越しに関して予定に遅れており、したがって遅れた時間を取り戻さなければならないとき、日常的な運転中の多くの事象が、同じ運行目的を維持する新しいまたは修正された運行計画を含む新しいまたは修正された計画の生成を動機付ける可能性がある。機関車の実際の速度、動力、および位置を使用して、計画された到着時間が現在推定（予測）される到着時間と比較される（25）。これらの時間の差と（ならびに指令またはオペレータによって検出または変更された）パラメータの差とに基づいて計画が調整される（26）。この調整は、計画からの逸脱を処理するための鉄道会社の方針に応じて自動的に行われることができるか、または車上のオペレータおよび指令が計画を戻すための最良のアプローチを連帯して決定するときに手動で行われることができる。計画が更新されるが、到着時間などであるがこれに限定されない当初の目的が同じままであるときにはいつでも、追加的変更、例えば当初の計画に復帰することの実現可能性に影響を与える可能性がある新しい将来の速度制限の変更が同時に考慮されることができる。そのような場合、元の運行計画が維持されることができない、または換言すると列車が元の運行計画の目的を達成することができない場合、本明細書において検討されるように（1つまたは複数の）その他の運行計画がオペレータ、リモートの設備、および/または指令に提示されることができる。

20

【0047】

再計画は、当初の目的を変更することが望ましいときにもなされることができる。そのような再計画は、決まった予め計画されたときに行われることができるか、オペレータもしくは指令の裁量で手動で行われることができるか、またはそのような列車の運転の制限などの既定の制限が超えられるときに自動的に行われることができるかのいずれかである。例えば、現在の計画の実行が30分などの指定された閾値を超えるだけ遅れている場合、本発明の一実施形態は運行を再計画して、上述のようにより多くの燃料消費と引き換えに遅れに対処することができるか、またはできるとしたときに遅れた時間を取り戻されることができる程度（すなわち、残りの最小時間は何か、もしくは時間の制約内で節約されることができる最大の燃料）についてオペレータおよび指令に知らせることができる。再計画に関するその他の誘因は、消費燃料、あるいは到着時間、機器の故障および/もしくは機器の一時的な不調（過度に高い温度、もしくは過度に低い温度での運転など）による馬力の損失、ならびに/または想定された列車の荷重におけるような全体の設定の誤りの検出を含むがこれらに限定されない動力コンシストの調子に基づいて想定されることもできる。すなわち、変化が現在の運行に関する機関車の性能の低下を反映する場合、これらは、最適化プロセスに使用されるモデルおよび/または方程式に盛り込まれることができる。

30

40

【0048】

計画の目的の変更は、1つの列車に関する計画が別の列車の能力を損なう事象を調整して目的を達成する必要性から生じる可能性もあり、異なるレベル、例えば指令オフィスでの調整が必要とされる。例えば、待ち合わせおよび追い越しの調整が、列車同士の通信を通じてさらに最適化されることができる。したがって、例として、オペレータがそのオペ

50

レータが待ち合わせおよび／または追い越しのための場所への到着がスケジュールよりも遅れていることを知っている場合、もう一方の列車からの通信が遅れている列車のオペレータ（および／または指令）に助言することができる。オペレータは、列車の運行計画を再計算するために予測される遅れた到着に関する情報を入力することができる。一実施形態において、本発明は、万一スケジュールリングされた待ち合わせおよび／または追い越し時間の制約が満たされない可能性がありそうな場合にどの列車が速度を落とすべきか、または速度を上げるべきかを指令が決定することを可能にするために高レベルまたは鉄道網レベルで使用される。本明細書において検討されるように、これは、各列車がその列車の計画の目的をどのように変更すべきかを優先順位付けするために列車がデータを指令に送信することによって遂行される。選択は、状況に応じてスケジュールまたは燃料の節約の利点のいずれかに基づいてなされることができる。

10

【 0 0 4 9 】

手動または自動で開始された再計画のいずれに関しても、本発明の実施形態は、2つ以上の運行計画をオペレータに提示することができる。例示的实施形態において、本発明はオペレータに異なるプロフィールを提示し、オペレータが到着時間を選択し、さらに対応する燃料および／または排気の影響を理解することを可能にする。そのような情報は、同様の検討のために指令に単なる選択肢のリストとしてか、または図4に示されたような複数のトレードオフ曲線としてかのいずれかで提供されることもできる。

【 0 0 5 0 】

一実施形態において、本発明は、現在の計画におよび／または将来の計画のためにのいずれかで組み込まれることができる列車および動力コンシストの重要な変更を学習し、それらの重要な変更に適応する能力を含む。例えば、上で検討された誘因のうちの1つは馬力の損失である。馬力の損失の後か、運行を開始するときのいずれかに時間の経過と共に馬力を上げるとき、いつ所望の馬力が達成されるのかを決定するために遷移ロジックが利用される。この情報は、万一馬力の損失が後で再び起こった場合に将来の運行かまたは現在の運行のいずれかを最適化するのに使用するために機関車のデータベース61に保存されることができる。

20

【 0 0 5 1 】

図3は本発明の要素の例示的实施形態を示す。ロケータ要素30は列車31の位置を判定する。ロケータ要素30は、列車31の位置を判定するGPSセンサ、またはセンサシステムを含む。そのようなその他のシステムの例は、無線周波数積載物自動認識（RF AEI）タグなどの沿線のデバイス、指令、および／または映像に基づく判定を含むことができるがこれらに限定されない。別のシステムは、機関車に搭載された（1つまたは複数の）タコメータ、および基準点からの距離計算を使用することができる。既に検討されたように、無線通信システム47が、列車間の、および／または指令などのリモートの場所との通信を可能にするために提供されることもできる。走行場所についての情報がその他の列車から通信システムを介して転送されることもできる。

30

【 0 0 5 2 】

軌道特徴付け要素33は軌道についての情報、主として勾配および高度および曲率の情報を提供する。軌道特徴付け要素33は、車載の軌道完全性データベース36を含むことができる。センサ38は、機関車のコンシスト42によって加えられる牽引力40、機関車のコンシスト42のスロットの設定、機関車のコンシスト42の構成情報、機関車のコンシスト42の速度、個々の機関車の構成情報、個々の機関車の能力などを測定する。例示的实施形態において、機関車のコンシスト42の構成情報はセンサ38を使用せずに取り込まれることができるが、上で検討されたようにその他のアプローチによって入力される。さらに、コンシスト内の機関車の調子が考慮されることもできる。例えば、コンシスト内の1両の機関車が動力ノッチレベル5を超えて運転することができない場合、この情報は運行計画を最適化するときに使用される。

40

【 0 0 5 3 】

ロケータ要素からの情報は、列車31の適切な到着時間を決定するために使用されるこ

50

ともできる。例えば、軌道 3 4 に沿って目的地に向かって移動している列車 3 1 があり、その列車 3 1 の後ろに続く列車がなく、当該列車が満足すべき決まった到着期限を持たない場合、無線周波数積載物自動認識 (RF AEI) タグ、指令、および / または映像ベース判定を含むがこれらに限定されないロケータ要素が、列車 3 1 の正確な位置を判定するために使用されることができる。さらに、これらの信号システムからの入力、列車の速度を調整するために使用されることができる。以下で検討される車載の軌道データベースと、GPS などのロケータ要素とを使用して、本発明の一実施形態は、所与の機関車の位置における信号システムの状態を反映するためにオペレータのインターフェースを調整する。信号の状態が前もって制限速度を示す状況において、プランナは、燃料消費を節約するために列車を減速させることを選択することができる。

10

【0054】

ロケータ要素 3 0 からの情報は、計画の目的を目的地への距離の関数として変更するために使用されることができる。例えば、経路に沿った混雑についての避けがたい不確実性のために、経路の初めの方の部分における「より速い」時間の目的が、統計的に後で発生する遅延に対する防護措置として使用されることができる。特定の運行に関してそのような遅延が発生しない場合、行程の後の方の部分における目的は、前に蓄えられた組み込まれた余分な時間を利用し、それによっていくらかの燃料効率を回復するために修正されることができる。同様の方針が、排気制限の目的、例えば都市部に接近するときに適用される排気の制約に関して実施されることができる。

20

【0055】

防護方針の一例として、運行がニューヨークからシカゴまで計画される場合、システムは、運行の初めか、運行の中間か、または運行の終わりのいずれかにおいて列車を遅く運転するオプションを提供することができる。本発明の一実施形態は、天候条件、軌道の保守などであるがこれらに限定されない未知の制約が運行中に発生し、明らかになる可能性があるので運行の終わりにより遅い運転を可能にするように運行計画を最適化する。別の考えとして、以前から混雑している地域が知られている場合、計画は、そのような地域の周辺での運転の柔軟性を増加させるためのオプションを用いて作成される。したがって、本発明の実施形態は、時間 / 距離の関数としての重み付け / ペナルティを課すことを将来の考慮に入れることもでき、および / または知られている / 過去の経験に基づいて考慮することもできる。当業者は、天候条件、軌道の条件、軌道上のその他の列車などを考慮に入れるためのそのような計画および再計画が運行中いつでも考慮に入れられることができ、運行計画がそれに従って調整されることを容易に認識するであろう。

30

【0056】

図 3 は、本発明の実施形態の一部であることができるその他の要素をさらに開示する。プロセッサ 4 4 は、ロケータ要素 3 0、軌道特徴付け要素 3 3、およびセンサ 3 8 から情報を受信するように動作する。アルゴリズム 4 6 がプロセッサ 4 4 内で動作する。アルゴリズム 4 6 は、本明細書において説明されるように機関車 4 2、列車 3 1、軌道 3 4、およびミッションの目的を含むパラメータに基づいて最適化された運行計画を計算する。例示的实施形態において、運行計画は、アルゴリズムに提供されている簡素化の仮定を用いて適用可能な物理的過程から導出された非線形微分方程式の解として、列車 3 1 が軌道 3 4 に沿って移動するときの列車の振る舞いに関するモデルに基づいて確立される。アルゴリズム 4 6 は、ロケータ要素 3 0、軌道特徴付け要素 3 3、および / またはセンサ 3 8 からの情報にアクセスして、機関車のコンシスト 4 2 の燃料消費を最小化し、機関車のコンシスト 4 2 の排気を最小化し、所望の運行時間を定め、および / または機関車のコンシスト 4 2 上での適切な乗務員の稼働時間を保証する運行計画を生成する。例示的实施形態において、運転士、またはコントローラ要素 5 1 も提供される。本明細書において検討されるように、コントローラ要素 5 1 は、列車が運行計画に従うときに列車を制御することができる。本明細書でさらに検討される例示的实施形態において、コントローラ要素 5 1 は、自律的に列車運転の判断を行う。別の例示的实施形態において、オペレータは、そのオペレータの裁量で列車に運行計画に従うように、または運行計画から逸脱するように指示

40

50

することに関与する可能性がある。

【 0 0 5 7 】

本発明の一実施形態において、運行計画は、当該計画が実行されているときにリアルタイムで修正可能である。これは、計画最適化アルゴリズムの複雑性のために、長距離の運行のための最初の計画を生成することを含む。運行プロファイルの全長が所与の距離を超えるとき、アルゴリズム 46 が、ミッションを中間地点に分割することによってミッションを分割するために使用されることができる。単一のアルゴリズム 46 のみが検討されるが、当業者は、2 つ以上のアルゴリズムが使用されることができると、そのような複数のアルゴリズムが運行計画を生成するために結びつけられることを容易に認識するであろう。

10

【 0 0 5 8 】

運行の中間地点は、対向する交通との待ち合わせのための、もしくは現在の列車の後ろの列車による追い越しのための単線の側線、操車場の側線、車両が追加および切り離される引込線、ならびに計画された保守作業の場所などであるがこれらに限定されない列車 31 が停車する理に適った場所を含むことができる。そのような中間地点において、列車 31 は、スケジューリングされた時間にその場所にいるか、停車されているか、または指定範囲内の速度で移動しているように要求されることができる。中間地点における到着から出発までの期間は停車時間と呼ばれる。

【 0 0 5 9 】

例示的实施形態において、本発明は、長い運行を体系的なプロセスに従ってより小さなセグメントに分けることができる。各セグメントは、長さが幾分任意的であることができるが、概して、停車もしくは著しい速度制限などの理に適った場所において、またはその他の経路との合流点を規定する重要な中間地点もしくは距離標において選択される。このようにして選択された部分またはセグメントが与えられると、運転プロファイルが、図 4 に示されたような独立変数とみなされる走行時間の関数として軌道の各セグメントに対して生成される。各セグメントに関連する使用燃料 / 走行時間のトレードオフが、列車 31 が軌道のそのセグメントに到達する前に計算されることができる。したがって、全体的な運行計画が、各セグメントに対して生成された運転プロファイルから生成されることができる。本発明の一実施形態は、必要とされる総運行時間が満足され、全てのセグメントに渡る総消費燃料が最小化されるように運行の全てのセグメントに走行時間を最適に分散する。例示的な 3 つのセグメントの運行が図 6 に開示され、以下で検討される。しかし、当業者は、複数のセグメントが検討されるが、運行計画が完全な運行を表す単一のセグメントから成ることができることを認識するであろう。

20

30

【 0 0 6 0 】

図 4 は、燃料使用 / 走行時間曲線の例示的实施形態を示す。上述のように、そのような曲線 50 は、各セグメントに対して様々な走行時間に関する最適な運行プロファイルを計算するときに生成される。すなわち、所与の走行時間 51 に対して、使用燃料 52 は、上述のように計算された詳細な運転プロファイルの結果である。各セグメントに対する走行時間が割り当てられると、動力 / 速度計画が、既に計算された解から各セグメントに対して決定される。速度制限の変更などであるがこれに限定されないセグメント間の任意の中間地点の速度の制約が存在する場合、それらは最適な運行プロファイルの生成中に調和させられる。速度の制約が単一のセグメント内でのみ変わる場合、燃料使用 / 走行時間曲線 50 は、変更されるセグメントのみに対して再計算される必要がある。このプロセスは、運行のより多くの部分またはセグメントを再計算するために必要とされる時間を削減する。機関車のコンシストまたは列車が経路に沿って大きく変わる（例えば機関車を失うこと、または鉄道車両の追加もしくは切り離し）場合、全ての後続のセグメントに対する運転プロファイルは再計算され、曲線 50 の新しい場合を生成しなければならない。そのとき、これらの新しい曲線 50 は、残りの運行を計画するための新しいスケジュールの目的と共に使用される。

40

【 0 0 6 1 】

50

運行計画が上で検討されたように生成されると、速度および動力対距離の曲線が、列車が要求される運行時間で最小の燃料および／または排気で目的地に到着することを可能にする。運行計画を実行するためのいくつかの技術が存在する。以下により詳細に提供されるように、指導モードの１つの例示的实施形態において、本発明はオペレータに制御情報を表示する。オペレータは当該情報に従って、最適な運行計画により決定されたように要求される動力および速度を達成する。したがって、このモードにおいて、オペレータは列車の運転に使用するための運転の提案を提供される。別の例示的实施形態において、列車を加速するための、または一定速度を維持するための制御動作が本発明によって実行される。しかし、列車３１が減速されなければならないとき、オペレータはブレーキシステム５２を制御することによってブレーキをかける責任を負う。別の例示的实施形態において、本発明は、所望の速度・距離の経路に従うために必要とされるように動力および制動動作を命じる。

10

20

30

40

50

【００６２】

変動する向かい風および／または追い風によって引き起こされる列車の荷重の変動などであるがこれに限定されない事象を説明するためにプロフィール内の動力制御シーケンスを修正するためにフィードバック制御方針が使用される。別のそのような誤差は、最適化された運行計画における想定と比較されたときの列車の質量および／または抵抗などであるがこれらに限定されない列車のパラメータの誤差によって引き起こされる可能性がある。第３の種類の誤差は、軌道データベース３６内の不正確な情報によって起こる可能性がある。別の起こりうる誤差は、機関車のエンジン、主電動機のサーマルディレーション（thermal deration）、および／またはその他の要素によるモデリングされていない性能の差異を含む可能性がある。フィードバック制御方針は、位置の関数としての実際の速度を所望の最適なプロフィールの速度と比較する。この差に基づいて、最適な動力プロフィールに対する修正が、実際の速度を最適なプロフィールに近付けるために加えられる。安定した統制を保証するために、閉ループの性能安定性を保証するためにフィードバック速度をフィルタリングして動力の修正にする補償アルゴリズムが提供されることができる。補償は、性能目標を達成するために制御システム設計の分野に精通した者によって使用される標準的な動的補償を含むことができる。

【００６３】

種々の態様によって、本発明は、鉄道の運転における例外ではなく規則である、運行の目的の変更に対処するための最も単純な、ひいては最も高速な手段を可能にする。経路に沿って停車場が存在する地点Ａから地点Ｂへの燃料が最適な運行を決定するための、およびいったん運行が始まったときに運行の残りの部分のために運行を更新するための例示的实施形態において、準最適な分解方法が最適な運行プロフィールを発見するために使用されることができる。モデリング方法を使用して、計算方法は、停車場があるときに全ての速度制限および機関車の能力の制約を満たすために特定の走行時間ならびに初期および最終速度を有する運行計画を発見することができる。以下の検討は燃料の使用を最適化することを対象とするが、以下の検討は、排気、スケジュール、乗務員の快適さ、および荷重の影響などであるがこれらに限定されないその他の要素を最適化するために適用されることもできる。方法は、最初に運行計画を作成することに使用されることができ、より重要なことに、運行を開始した後で目的の変更に適合することに使用されることができる。

【００６４】

本明細書において検討されるように、本発明の一実施形態は、図５に示される例示的なフローチャートに示されるような、および図６に詳細に示される例示的３セグメントの例のような設定を使用する。示されるように、運行は、２つ以上のセグメントＴ１、Ｔ２、およびＴ３に分けられることができる。しかし、本明細書において検討されるように、運行を単一のセグメントとみなすことが可能である。本明細書において検討されるように、セグメントの境界は等しい長さのセグメントをもたらさない可能性がある。その代わりに、セグメントはふさわしいまたはミッションに固有の境界を使用する。最適な運行計画が各セグメントに対して予め計算される。燃料の使用対運行時間が満たされるべき運行の目

的である場合、燃料対運行時間曲線が各セグメントに対して生成される。本明細書において検討されるように、曲線はその他の要素に基づくことができ、それらの要素は運行計画を用いて満たされるべき目的である。運行時間が決定されているパラメータであるとき、全体的な運行時間の制約を満たしながら各セグメントに対する運行時間が計算される。

【 0 0 6 5 】

図 6 は、例示的 3 セグメントの 2 0 0 マイルの運行に対する速度制限 9 7 を示す。さらに示されているのは、2 0 0 マイルの運行に渡る勾配の変化 9 8 である。走行時間に渡って運行の各セグメントに対する使用された燃料の曲線を示す組み合わせされたグラフ 9 9 も示される。

【 0 0 6 6 】

上述の最適な制御の設定を使用して、この計算方法は、駐車場があるときに全ての速度制限および機関車の能力の制約を満たすために特定の走行時間ならびに初期および最終速度を有する運行計画を発見することができる。以下の詳細な検討は燃料の使用を最適化することを対象とするが、以下の詳細な検討は、排気などであるがこれに限定されない、本明細書において検討されるその他の要素を最適化するために適用されることもできる。本方法は、駐車場での所望の停車時間に対応することができ、例えば、側線に入る、または側線を通過するための時間が重要である単線の運転において必要とされ得る場所への最も早い到着および場所からの最も早い出発に関する制約を考慮する。

【 0 0 6 7 】

一実施形態によれば、本発明は時間 T 内に走行される距離 D_0 から D_M までの燃料が最適な運行を発見し、ここで $M - 1$ 個の中間の駐車場が D_1, \dots, D_{M-1} にあり、これらの駐車場の到着および出発時間が以下の式によって制約される。

【 0 0 6 8 】

【 数 9 】

$$t_{\min}(i) \leq t_{\text{arr}}(D_i) \leq t_{\max}(i) - \Delta t_i$$

$$t_{\text{arr}}(D_i) + \Delta t_i \leq t_{\text{dep}}(D_i) \leq t_{\max}(i) \quad i = 1, \dots, M-1$$

ここで、

【 0 0 6 9 】

【 数 1 0 】

$$t_{\text{arr}}(D_i), t_{\text{dep}}(D_i)$$

、および

【 0 0 7 0 】

【 数 1 1 】

$$\Delta t_i$$

は、それぞれ i 番目の駐車場における出発、到着、および最小停車時間である。燃料の最適性が停車時間を最小化することを含み、したがって、上の第 2 の不等式を消去する

【 0 0 7 1 】

【 数 1 2 】

$$t_{\text{dep}}(D_i) = t_{\text{arr}}(D_i) + \Delta t_i$$

であると仮定する。それぞれの $i = 1, \dots, M$ に対して、走行時間 t (

【 0 0 7 2 】

【 数 1 3 】

$$T_{\min}(i) \leq t \leq T_{\max}(i)$$

) の間の D_{i-1} から D_i までの燃料が最適な運行が分かると仮定する。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 3 】

【 数 1 4 】

$$F_i(t)$$

はこの運行に対応する燃料の使用であるとする。 D_{j-1} から D_j までの走行時間が T_j と表される場合、 D_i への到着時間は以下の式によって与えられる。

【 0 0 7 4 】

【 数 1 5 】

$$t_{arr}(D_i) = \sum_{j=1}^i (T_j + \Delta t_{j-1}) \quad 10$$

ここで、

【 0 0 7 5 】

【 数 1 6 】

$$\Delta t_0$$

は 0 と定められる。そのとき、走行時間 T の間の D_0 から D_M までの燃料が最適な運行は、

【 0 0 7 6 】

20

【 数 1 7 】

$$\sum_{i=1}^M F_i(T_i) \quad T_{\min}(i) \leq T_i \leq T_{\max}(i)$$

を制約条件

【 0 0 7 7 】

【 数 1 8 】

$$t_{\min}(i) \leq \sum_{j=1}^i (T_j + \Delta t_{j-1}) \leq t_{\max}(i) - \Delta t_i \quad i = 1, \dots, M-1 \quad 30$$

$$\sum_{j=1}^M (T_j + \Delta t_{j-1}) = T$$

の下で最小化する T_i ($i = 1, \dots, M$) を発見することによって得られる。

【 0 0 7 8 】

いったん運行が実施中になると、問題は、運行が進むが、しかし燃料が最適な解に従うことを変動が妨げるときに、(元は時間 T 内の D_0 から D_M までの) 運行の残りの部分に関する燃料が最適な解を再決定することである。現在の距離および速度をそれぞれ x および v とし、ここで

【 0 0 7 9 】

40

【 数 1 9 】

$$D_{i-1} < x \leq D_i$$

である。また、運行の開始からの現在の時間を t_{act} とする。そのとき、 D_M への元の到着時間を維持する x から D_M までの運行の残りの部分に関する燃料が最適な解は、

【 0 0 8 0 】

【 数 2 0 】

$$\tilde{T}_i, T_j, j = i+1, \dots, M$$

を制約条件

50

【 0 0 8 1 】

【 数 2 1 】

$$\tilde{F}_i(\tilde{T}_i, x, v) + \sum_{j=i+1}^M F_j(T_j)$$

の下で最小化する

【 0 0 8 2 】

【 数 2 2 】

$$t_{\min}(i) \leq t_{act} + \tilde{T}_i \leq t_{\max}(i) - \Delta t_i$$

10

$$t_{\min}(k) \leq t_{act} + \tilde{T}_i + \sum_{j=i+1}^k (T_j + \Delta t_{j-1}) \leq t_{\max}(k) - \Delta t_k \quad k = i+1, \dots, M-1$$

$$t_{act} + \tilde{T}_i + \sum_{j=i+1}^M (T_j + \Delta t_{j-1}) = T$$

を発見することによって得られる。ここで、

【 0 0 8 3 】

【 数 2 3 】

20

$$\tilde{F}_i(t, x, v)$$

は、 x における初期速度を v として時間 t 内に走行される x から D_i までの最適な運行の使用燃料である。

【 0 0 8 4 】

上で検討されたように、より効率的な再計画を可能にする例示的なプロセスは、分割されたセグメントから停車場間の運行に関する最適な解を構築する。走行時間 T_i の D_{i-1} から D_i までの運行に関して、1組の中間点

【 0 0 8 5 】

【 数 2 4 】

30

$$D_{ij}, j = 1, \dots, N_i$$

を選択する。 $D_{i0} = D_{i-1}$ および

【 0 0 8 6 】

【 数 2 5 】

$$D_{iN_i} = D_i$$

とする。そのとき、 D_{i-1} から D_i までの最適な運行に関する燃料の使用を以下のように表す。

【 0 0 8 7 】

【 数 2 6 】

40

$$F_i(t) = \sum_{j=1}^{N_i} f_{ij}(t_{ij} - t_{i,j-1}, v_{i,j-1}, v_{ij})$$

ここで、

【 0 0 8 8 】

【 数 2 7 】

$$f_{ij}(t, v_{i,j-1}, v_{ij})$$

50

は、初期速度および最終速度を $v_{i, j-1}$ および $v_{i, j}$ として時間 t 内に走行される $D_{i, j-1}$ から $D_{i, j}$ までの最適な運行に関する燃料の使用である。さらに、 $t_{i, j}$ は距離 $D_{i, j}$ に対応する最適な運行の時間である。定義より

【 0 0 8 9 】

【 数 2 8 】

$$t_{iN_i} - t_{i0} = T_i$$

。列車は D_{i0} および

【 0 0 9 0 】

10

【 数 2 9 】

$$D_{iN_i}$$

において停車されるので、

【 0 0 9 1 】

【 数 3 0 】

$$v_{i0} = v_{iN_i} = 0$$

である。

【 0 0 9 2 】

20

上記式は、関数 $F_i(t)$ が、初めに関数

【 0 0 9 3 】

【 数 3 1 】

$$f_{ij}(\cdot), 1 \leq j \leq N_i$$

を決定し、次に、

【 0 0 9 4 】

【 数 3 2 】

$$\tau_{ij}, 1 \leq j \leq N_i$$

30

を制約条件

【 0 0 9 5 】

【 数 3 3 】

$$v_{ij}, 1 \leq j < N_i$$

の下で最小化する

【 0 0 9 6 】

【 数 3 4 】

$$F_i(t) = \sum_{j=1}^{N_i} f_{ij}(\tau_{ij}, v_{i,j-1}, v_{ij})$$

40

および

【 0 0 9 7 】

【数 3 5】

$$\sum_{j=1}^{N_i} \tau_{ij} = T_i$$

$$v_{\min}(i, j) \leq v_{ij} \leq v_{\max}(i, j) \quad j = 1, \dots, N_i - 1$$

$$v_{i0} = v_{iN_i} = 0$$

を発見することによって代替的に決定されることを可能にする。(例えば、速度制限または待ち合わせ地点で) D_{ij} を選択することによって

10

【0 0 9 8】

【数 3 6】

$$v_{\max}(i, j) - v_{\min}(i, j)$$

が最小化されることができ、したがって、 $f_{ij}()$ が知られている必要がある値域を最小化することができる。

【0 0 9 9】

上述の分割に基づいて、上述のアプローチよりもより簡素な準最適再計画アプローチは、再計画を列車が距離の地点

20

【0 1 0 0】

【数 3 7】

$$D_{ij}, 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N_i$$

にいる時間に制限する。地点 D_{ij} において、 D_{ij} から D_M までの新しい最適な運行は、

【0 1 0 1】

【数 3 8】

$$\tau_{ik}, j < k \leq N_i, v_{ik}, j < k < N_i$$

30

を制約条件

【0 1 0 2】

【数 3 9】

$$\tau_{mn}, i < m \leq M, 1 \leq n \leq N_m, v_{mn}, i < m \leq M, 1 \leq n < N_m$$

の下で最小化し、ここで、

【0 1 0 3】

【数 4 0】

$$\sum_{k=j+1}^{N_i} f_{ik}(\tau_{ik}, v_{i,k-1}, v_{ik}) + \sum_{m=i+1}^M \sum_{n=1}^{N_m} f_{mn}(\tau_{mn}, v_{m,n-1}, v_{mn})$$

40

である

【0 1 0 4】

【数 4 1】

$$t_{\min}(i) \leq t_{act} + \sum_{k=j+1}^{N_i} \tau_{ik} \leq t_{\max}(i) - \Delta t_i$$

$$t_{\min}(n) \leq t_{act} + \sum_{k=j+1}^{N_i} \tau_{ik} + \sum_{m=i+1}^n (T_m + \Delta t_{m-1}) \leq t_{\max}(n) - \Delta t_n \quad n = i+1, \dots, M-1$$

$$t_{act} + \sum_{k=j+1}^{N_i} \tau_{ik} + \sum_{m=i+1}^M (T_m + \Delta t_{m-1}) = T$$

10

、および

【0 1 0 5】

【数 4 2】

$$T_m = \sum_{n=1}^{N_m} \tau_{mn}$$

を発見することによって決定されることができる。

【0 1 0 6】

距離の地点 D_i が到達されるまで

20

【0 1 0 7】

【数 4 3】

$$T_m, i < m \leq M$$

の再計算を待つことによってさらなる簡素化が得られる。このように、 D_{i-1} と D_i の間の地点 D_{ij} において、上記の最小化は

【0 1 0 8】

【数 4 4】

$$\tau_{ik}, j < k \leq N_i, v_{ik}, j < k < N_i, T_i$$

30

で実行されることのみを必要とする。 T_i は、 D_{i-1} から D_{ij} までの計画されたよりも長い任意の実際の走行時間に対処するために必要に応じて増加される。この増加は、可能であれば距離の地点 D_i における

【0 1 0 9】

【数 4 5】

$$T_m, i < m \leq M$$

の再計算によって後で補償される。

【0 1 1 0】

上で開示された閉ループの構成に関して、地点 A から地点 B まで列車 3 1 を動かすために必要とされる総入力エネルギーは、4 つの構成要素、具体的には、地点 A と地点 B の間の運動エネルギーの差と、地点 A と地点 B の間の位置エネルギーの差と、摩擦およびその他の抵抗損失によるエネルギー損失と、ブレーキをかけることによって消散するエネルギーとの合計によって構成される。開始および終了速度が同じ（例えば、静止）であると仮定すると第 1 の構成要素は 0 である。さらに、第 2 の構成要素は運転方針とは無関係である。したがって、後の 2 つの構成要素の合計を最小化すれば十分である。

40

【0 1 1 1】

一定の速度プロフィールに従うことは抵抗損失を最小化する。また、一定の速度プロフィールに従うことは、一定速度を保つために制動が必要とされないときは総エネルギー入力を最小化する。しかし、一定速度を保つために制動が必要とされる場合、単に一定速度

50

を保つために制動をかけることは、大抵、ブレーキによって消散されたエネルギーを補充する必要があるので総必要エネルギーを増加させる。速度の変動を減らすことによって、制動によって生じる抵抗損失の結果的な減少によるオフセットよりも追加的なブレーキ損失が大きい場合に何らかの制動が実際に総エネルギー使用を減少させる可能性があり得る。

【0112】

上述の事象の収集から再計画を完了した後で、新しい最適なノッチ/速度計画は、本明細書において説明される閉ループ制御を使用して守られることができる。しかし、場合によっては、上述のセグメント分解計画を実行する十分な時間がない可能性があり、特に、尊重されなければならない重要な速度制限が存在するときは別のやり方が好まれ得る。本発明の態様は、「スマートクルーズ制御」と呼ばれるアルゴリズムを用いてこれを遂行する。スマートクルーズ制御アルゴリズムは、既知の地形上で列車31を運転するためのエネルギー効率の良い(したがって、燃料効率の良い)準最適な指示を運行中に生成するための効率的なプロセスである。このアルゴリズムは、常に軌道34に沿った列車31の位置の知識と、軌道の勾配および曲率対位置の知識とを仮定する。方法は列車31の運動に関する質点モデルを利用し、この質点モデルのパラメータは、上述の列車の運動のオンライン計測から適応的に推定されることができる。

【0113】

スマートクルーズ制御アルゴリズムは、3つの主な構成要素、具体的には、速度制限の引き下げのエネルギー効率の良いガイドとして働く修正された速度制限プロフィールと、速度の変動の最小化と制動のバランスを取るように試みる理想的スロットルまたはダイナミックブレーキ設定プロフィールと、実際のパラメータと比較されるときモデルリングされたパラメータの不一致を補償するための速度フィードバックループを使用する、後の2つの構成要素を組み合わせることでノッチ命令を生成するためのメカニズムとを有する。スマートクルーズ制御は、アクティブ制動を行わない(すなわち、運転士が信号を送られ、必要な制動を行うと想定される)本発明の実施形態、またはアクティブ制動を行う変形形態において指針に対処することができる。

【0114】

ダイナミックブレーキを制御しないクルーズ制御アルゴリズムに関して、3つの例示的な構成要素は、速度制限の削減のエネルギー効率の良いガイドとして働く修正された速度制限プロフィール、オペレータにいつ制動がかけられるべきであることを知らせるための通知信号、速度の変動を最小化することとオペレータにブレーキをかけるように通知することとの間のバランスを取るように試みる理想的なスロットルプロフィール、および実際のパラメータに対するモデルパラメータの不一致を補償するためのフィードバックループを使用するメカニズムである。

【0115】

本発明の態様によれば、さらに含まれるのは、列車31の重要なパラメータ値を特定するためのアプローチである。例えば、列車の質量を推定することに関して、時間の経過と共に生じる可能性がある誤差を検出するためにカルマンフィルタおよび逐次最小自乗アプローチが利用されることができる。

【0116】

図7は、本発明の例示的なフローチャートを示す。既に検討されたように、指令センタ60などのリモートの設備が本発明による使用のための情報を提供することができる。示されるように、そのような情報は実行制御要素62に提供される。さらに実行制御要素62に供給されるのは、機関車モデリング情報データベース63、軌道の勾配情報および速度制限情報などであるがこれらに限定されない軌道情報データベース36、列車の重量および抵抗係数などであるがこれらに限定されない推定された列車のパラメータ、ならびに燃料レート推定器64からの燃料レートテーブルである。実行制御要素62は、図1により詳細に開示されたプランナ12に情報を供給する。運行計画が計算されてしまうと、計画は、運転アドバイザー、運転士、またはコントローラ要素51に供給される。運行計画は、

実行制御要素 6 2 がその他の新しいデータが提供されたときに運行を比較することができるよう実行制御要素 6 2 にも供給される。

【 0 1 1 7 】

上で検討されたように、運転アドバイザ 5 1 はノッチ動力を予め決められたノッチ設定または最適な連続的ノッチ動力値のいずれかに自動的に設定することができる。速度命令を機関車 3 1 に供給することに加えて、オペレータがプランナが推奨した内容を見ることができるようディスプレイ 6 8 が提供される。オペレータは制御盤 6 9 も利用できる。制御盤 6 9 を通じて、オペレータは、推奨されたノッチ動力を適用するかどうかを判断することができる。この目的のために、オペレータは、目的のまたは推奨の動力を制限することができる。すなわち、いつでも、オペレータは、運行計画が列車 3 1 を減速することを推奨する場合にブレーキをかけるかどうかを含む機関車のコンシストの運転に関する動力設定について最終的な権限を常に有する。例えば、暗い地域内を運転する場合、または沿線の機器からの情報が情報を列車に電子的に送信することができず、代わりにオペレータが沿線の機器からの視覚的な信号を見る場合、オペレータは、軌道データベースに含まれる情報、および沿線の機器からの視覚的な信号に基づいて命令を入力する。列車 3 1 がどのように機能しているかに基づいて、燃料の測定に関する情報が燃料レート推定器 6 4 に供給される。概して燃料流量の直接測定は機関車のコンシストにおいては利用できないので、運行のある地点までの消費燃料に関する全ての情報、および最適な計画が守られる場合の将来の予測は、最適な計画の作成に使用されたモデルなどの較正された物理的過程のモデルを使用する。例えば、そのような予測は、使用された累積の燃料を導出するための測定された総馬力と知られている燃料の特性との使用を含むことができるがこれに限定されない。

10

20

【 0 1 1 8 】

列車 3 1 は、上で検討されたように G P S センサなどのロケータデバイス 3 0 も有する。情報が列車パラメータ推定器 6 5 に供給される。そのような情報は、G P S センサのデータ、牽引力 / 制動力データ、制動状態データ、速度、および速度データの任意の変化を含むことができるがこれらに限定されない。勾配に関する情報および速度制限の情報と共に、列車の重量および抵抗係数の情報が実行制御要素 6 2 に供給される。

【 0 1 1 9 】

本発明の一実施形態は、最適化の計画および閉ループ制御の実行の全体を通じて、連続的に変更可能な動力の使用を可能にすることもできる。従来の機関車において、概して動力は 8 つの離散的なレベルに量子化される。現在の機関車は、上述の最適化方法に組み込まれることができる馬力の連続的な変化を実現することができる。連続的な動力を用いて、機関車 4 2 は、例えば副次的負荷および動力伝送損失を最小化すること、ならびに最適な効率のエンジン馬力の領域を微調整することによって、または排気の余裕が増加する点まで運転条件をさらに最適化することができる。例は、冷却システムの損失を最小化すること、交流発電機の電圧を調整すること、エンジン回転数を調整すること、および駆動軸の数を減らすことを含むがこれらに限定されない。さらに、機関車 4 2 は、車載の軌道データベース 3 6 と予測された性能要件とを使用して、目的の燃料消費 / 排気のために最適な効率を提供するために副次的負荷および動力伝送損失を最小化することができる。例は、平らな地形上でいくつかの駆動軸を削減すること、およびトンネルに進入する前に機関車のエンジンを予め冷却することを含むがこれらに限定されない。

30

40

【 0 1 2 0 】

本発明の一実施形態は、車載の軌道データベース 3 6 と予測された性能とを使用して、列車が坂および / またはトンネルに近付くときにその列車が十分な速度を有することを保証するなど、機関車の性能を調整することもできる。例えば、これは、方程式 (O P) を解く生成された最適計画生成の一部になる、特定の位置における速度の制約として表されることができる。さらに、実施形態は、牽引力ランプレート (r a m p r a t e s) および最大制動力ランプレートなどであるがこれらに限定されない列車操作規則を組み込むことができる。これらは、最適な運行プロフィールに関する定式化に直接組み込まれるこ

50

とができるか、または代替的に、動力の適用を制御して目的の速度を達成するために使用される閉ループレギュレータに組み込まれることができる。

【0121】

好ましい実施形態において、本発明は列車のコンシストの本務機関車にのみ搭載される。たとえば特定の態様によって本発明がデータ、またはその他の機関車とのインタラクションに依存しないとしても、本発明は、(両方とも譲受人によって所有され、両方とも参照によって援用される)米国特許第6,691,957号および米国特許出願第10/429,596号に開示されたコンシストマネージャ機能、ならびに/または効率を向上するためのコンシストオプティマイザ機能に統合されることができる。複数の列車とのインタラクションは、本明細書に記載の2つの「独立に最適化された」列車を調整する指令の例によって示されるように妨げられない。

10

【0122】

本発明の一実施形態は、機関車が連続しておらず、例えば1両または複数の機関車が前方にあり、その他の機関車が列車の中程および後方にあるコンシストと共に使用されることができる。そのような構成は動力分散と呼ばれ、機関車の間の標準的な接続が、機関車を外部につなぐための無線リンクまたは補助ケーブルによって置き換えられる。動力分散で運転するとき、本務機関車内のオペレータは、動力分散制御要素などの制御システムを介して当該コンシスト内のリモートの機関車の運転機能を制御することができる。具体的には、動力分散で運転するとき、オペレータはそれぞれの機関車のコンシストに異なるノッチ動力レベルで運転するように命令することができ(または、1つのコンシストはモータリング状態にあることができ、その他のコンシストは制動状態にあることができる)、ここで、機関車のコンシスト内のそれぞれの個々の機関車は同じノッチ動力で運転する。

20

【0123】

動力分散システムを備えた列車は様々なモードで運転されることができる。1つのモードでは、列車の全ての機関車が同じノッチ命令で運転する。本務機関車がノッチN8を命令している場合、列車内の全てのユニットはノッチN8を生成するように命令される。「独立」制御モードにおいて、列車の全体に分散された機関車または機関車の組は、異なるモータリングまたは制動動力で運転されることができる。例えば、列車が山頂に達するとき、(山の下り斜面上の)本務機関車は制動モードに置かれることができる一方、(山の上り斜面上の)列車の中間のまたは終わりの機関車はモータリング状態にあることができる。これは、鉄道車両および機関車を接続する機械的な連結器にかかる牽引力を最小化するために行われる。従来、動力分散システムを「独立」モードで運転することは、オペレータに本務機関車内のディスプレイを介してそれぞれのリモートの機関車または機関車の組を手動で指揮するように要求した。計画のモデル、列車の設定情報、車載の軌道データベース、車載の運転規則、位置判定システム、リアルタイム閉ループ動力/ブレーキ制御、およびセンサフィードバックに基づいた物理的過程を使用して、システムは動力分散列車を自動的に「独立」モードで運転することができる。

30

【0124】

動力分散で運転するとき、本務機関車内のオペレータは、動力分散制御要素などの制御システムを介してリモートのコンシスト内のリモートの機関車の運転機能を制御することができる。したがって、動力分散で運転するとき、オペレータはそれぞれの機関車のコンシストに異なるノッチ動力レベルで運転するように命令することができ(または、1つのコンシストはモータリング状態にあることができ、その他のコンシストは制動状態にあることができる)、ここで、機関車のコンシスト内のそれぞれの個々の機関車は同じノッチ動力で運転する。例示的实施形態において、本発明が列車に搭載され、好ましくは動力分散制御要素と通信している場合、最適化された運行計画によって推奨されるようにリモートの機関車のコンシストに対するノッチ動力レベルが望まれるとき、本発明の実施形態はこの動力設定を実行のためにリモートの機関車のコンシストに伝達する。以下で検討されるように、ブレーキの適用が同様に実行されることができる。

40

【0125】

50

動力分散を用いて運転するとき、上述の最適化問題は、リモートユニットのそれぞれが本務ユニットから独立に制御されることができるさらなる自由度を与えるように拡張されることができる。このことの価値は、列車内の力を反映するためのモデルがやはり含まれると仮定して、列車内の力に関する追加的な目的または制約が性能関数に組み込まれることができることである。したがって、本発明の種々の態様は、列車内の力ならびに燃料消費および排気をより適切に管理するための複数のスロットル制御の使用を含むことができる。

【0126】

コンシストマネージャを利用する列車において、機関車のコンシスト内の本務機関車は、そのコンシスト内のその他の機関車とは異なるノッチ動力設定で運転することができる。コンシスト内のその他の機関車は同じノッチ動力設定で運転する。本発明の実施形態は、コンシスト内の機関車に関するノッチ動力設定を命じるためにコンシストマネージャと関係して利用されることができる。このように、コンシストマネージャが機関車のコンシストを2つのグループ、本務機関車および補助ユニットに分割するので、本務機関車は特定のノッチ動力で運転するように命令され、補助機関車は異なるノッチ動力で運転するように命令されることができる。例示的实施形態において、動力分散制御要素は、この運転が実行されるシステムおよび/または装置であることができる。

【0127】

同様に、コンシストオブティマイザが機関車のコンシストと共に使用されるとき、本発明の実施形態は、機関車のコンシスト内のそれぞれの機関車に対するノッチ動力を決定するためにコンシストオブティマイザと関係して使用されることができる。例えば、運行計画が機関車のコンシストに対してノッチ動力設定4を推奨すると仮定する。列車の位置に基づいて、コンシストオブティマイザは、この情報を取得し、次にコンシスト内のそれぞれの機関車に対してノッチ動力設定を決定する。この実装において、列車内通信チャンネル上でノッチ動力設定を設定する効率が向上される。さらに、上で検討されたように、この構成の実装は分散制御システムを利用して実行されることができる。

【0128】

さらに、既に検討されたように、本発明の実施形態は、コンシスト内の各機関車が異なる制動オプションを必要とする可能性がある踏切、勾配の変化、接近してくる側線、接近してくる車両基地構内、および接近してくる燃料補給所などであるがこれらに限定されない関心のある近付いてくるものに基づいた、列車のコンシストがいつ制動を使用するかに関する継続的な修正および再計画のために使用されることができる。例えば、列車が坂を越えている場合、本務機関車は制動条件を入力しなければならない可能性がある一方、坂の頂上に到達していないリモートの機関車はモータリング状態に留まる必要がある可能性がある。

【0129】

図8、9、および10は、オペレータによる使用のための動的なディスプレイの例示的な図を示す。図8は、提供される運行プロフィール72を示す。プロフィール内に、機関車の位置73が提供される。列車の長さ105および列車内の車両の数106など情報が提供される。軌道の勾配107と、橋の位置109を含むカーブおよび沿線要素108と、列車の速度110とに関する要素も提供される。ディスプレイ68は、オペレータがそのような情報を見て、さらに列車が経路に沿ったどこにいるのかを見ることを可能にする。踏切112、信号114、速度の変化116、陸標118、および目的地120などの場所への距離および/または推定到着時間に関する情報が提供される。到着時間管理ツール125も、ユーザが運行中に実現されている燃料の節約を判定することを可能にするために提供される。オペレータは、到着時間を変え(127)、この変更が燃料の節約にどのように影響するかを見る能力を有する。本明細書において検討されるように、当業者は、燃料の節約が管理ツールによって吟味されることができる唯一つの目的の例示的例であることを認識するであろう。したがって、見られているパラメータに応じて、本明細書において検討されるその他のパラメータが、オペレータが見ることができる管理ツールを用

10

20

30

40

50

いて見られ、評価されることができる。オペレータは、乗務員が列車を運転している継続期間に関する情報も提供される。例示的实施形態において、時間および距離の情報は特定の事象および/もしくは場所までの時間および/もしくは距離として示されることができるか、または時間および距離の情報は総経過時間を提供することができるかのいずれかである。

【0130】

図9に示されるように、例示的なディスプレイは、コンシストデータ130、事象および状況の図132、到着時間管理ツール134、およびアクションキー136についての情報を提供する。上で検討された同様の情報がこのディスプレイにおいても提供される。このディスプレイ68は、オペレータが本発明の異なる実施形態の装置を再計画および取り消しする(140)ことを可能にするためのアクションキー138も提供する。

10

【0131】

図10は、ディスプレイの別の例示的实施形態を示す。空気ブレーキの状態72、デジタルのはめ込み表示を伴うアナログ速度計74、および重量ポンドを単位とする牽引力(またはDC機関車に関するトラクションアンプ)についての情報を含む現在の機関車の典型的な情報が見られる。インジケータ74が、実行中の計画における現在の最適な速度と、mph/分で表される表示を捕捉するための加速度計の図とを示す。最適な計画の実行のための重要な新しいデータは、最適な速度およびノッチ設定対距離の現在の履歴と比較されたこれらの変数を用いた起伏のある細長い図76を含むスクリーンの中央にある。この例示的实施形態において、列車の位置はロケータ要素を使用して導出される。示されるように、位置は、列車がその列車の最終目的地、絶対位置、最初の目的地、中間地点、および/またはオペレータの入力からどのくらい離れているかを特定することによって提供される。

20

【0132】

細長いグラフは、手動制御において有益な、最適な計画に従うために必要とされる速度の変化に関する予測を提供し、自動制御中は計画対実際を監視する。本明細書において検討されるように、指導モードのときなどに、オペレータは、本発明によって提案されたノッチまたは速度のいずれかに従うことができる。縦棒は、細長いグラフの下にデジタル表示もされる所望のおよび実際のノッチの図を与える。連続的なノッチ動力が利用されるとき、上で検討されたように、ディスプレイは単純に最も近い離散的で等価な値に丸められ、ディスプレイはアナログの等価なまたは百分率のまたは実際の馬力/牽引力が表示されるようにアナログディスプレイであることができる。

30

【0133】

運行の状態に関する重要な情報がスクリーン上に表示され、本務機関車、列車に沿ったその他の場所、または列車の長さに渡る平均のいずれかによって列車が直面している現在の勾配を示す(88)。また、計画における累積走行距離90と、累積の使用燃料92と、次の停車が計画されている場所または計画されている次の停車までの距離94と、次の停車場での現在および推定到着時間96が明らかにされる。ディスプレイ68は、利用可能な計算された計画を用いて目的地までの最大のあり得る時間も示す。より遅い到着が必要とされるならば再計画が実行される。差分計画データは、現在の最適な計画より進んだまたは遅れた燃料およびスケジュールに関する状態を示す。負の数値は計画と比較してより少ない燃料またはより早いことを意味し、正の数値は計画と比較してより多い燃料または遅れを意味する。概してこれらのパラメータは逆方向のトレードオフがある(燃料を節約するために速度を落とすことは列車の遅れをもたらす、その逆もある)。

40

【0134】

いつも、これらのディスプレイ68は、オペレータに現在実施されている運転計画に対する運行状態のスナップショットを与える。このディスプレイは、この情報をオペレータおよび/または指令に表示/伝達する多くのその他のやり方が存在するので例示のみを目的とする。この目的のために、上で開示された情報の任意のその他の項目が、開示されたディスプレイと異なるディスプレイを提供するためにディスプレイに追加されることがで

50

きる。

【0135】

本発明のその他の実施形態に含まれることができるその他の特徴は、データログおよびレポートの生成を含むがこれに限定されない。この情報は列車に記憶され、非車載のシステムにダウンロードされることができる。ダウンロードは、手動および/または無線伝送を介して行われることができる。この情報は、機関車のディスプレイを介してオペレータによって見られることができる可能性もある。データは、オペレータの入力、動作可能なタイムシステム、節約された燃料、列車の機関車の間の燃料の不均衡、正しい経路からそれた列車の行程、およびGPSセンサの不調などのシステム診断の問題などであるがこれらに限定されない情報を含むことができる。

10

【0136】

運行計画は許容可能な乗務員の稼働時間も考慮に入れなければならないので、本発明の実施形態は運行が計画されるときにそのような情報を考慮に入れることができる。例えば、乗務員が稼働できる最大時間が8時間である場合、運行は、新しい乗務員が現在の乗務員と交代するための停車場所を含むように作成されることができる。そのような指定された停車場所は、操車場、待ち合わせ/追い越しの場所などを含むことができるがこれらに限定されない。運行が進むにつれて運行時間が超過される可能性がある場合、本発明の一実施形態は、オペレータによって決定されたようにその他の基準を満たすためにオペレータによって解除されることができる。最終的には、高い荷重、低い速度、列車の伸張の状態などであるがこれらに限定されない列車の運転条件にかかわらず、オペレータが、列車の安全な速度および/または運転条件を命令するために管理を続ける。

20

【0137】

本発明の異なる態様によれば、列車は複数の異なる運転の概念で運転することができる。1つの運転の概念において、本発明は、推進力およびダイナミックブレーキを命じるための命令を提供する。オペレータは全てのその他の列車の機能を扱う。別の運転の概念において、本発明は、推進力のみを命じるための命令を提供する。オペレータはダイナミックブレーキと全てのその他の列車の機能とを扱う。さらに別の運転の概念において、本発明は、推進力、ダイナミックブレーキ、および空気ブレーキの適用を命じるための命令を提供する。オペレータは全てのその他の列車の機能を扱う。

【0138】

本発明の実施形態は、関心のある近付いてくるもの、または本発明の予測ロジック、最適化された運行計画に対する継続的な修正および再計画、軌道データベースなどの取られるべき対処をオペレータに知らせることもできる。オペレータは、近付いてくる踏切、信号、勾配の変化、ブレーキアクション、側線、操車場、燃料補給所などを知らされることもできる。これらの通知は、可聴的および/またはオペレータのインターフェースを通じて行われることができる。

30

【0139】

具体的には計画のモデル、列車の設定情報、車載の軌道データベース、車載の運転規則、位置判定システム、リアルタイム閉ループ動力/ブレーキ制御、およびセンサフィードバックに基づいた物理的過程を使用して、システムは必要とされる対処をオペレータに提示するおよび/または知らせる。通知は視覚的および/または可聴的であることができる。例は、機関車の警笛および/またはベルを作動させるようにオペレータに要求する踏切と、機関車の警笛またはベルを作動させるようにオペレータに要求しない「音を立てない」踏切とを知らせることを含む。

40

【0140】

別の例示的实施形態において、上で検討された計画モデル、列車の設定情報、車載の軌道データベース、車載の運転規則、位置判定システム、リアルタイム閉動力/ブレーキ制御、およびセンサフィードバックに基づいた物理的過程を使用して、本発明の一実施形態は、図9に示されたようにオペレータが列車が様々な場所にいつ到着するかを見ることを可能にする情報(例えば、ディスプレイ上の計器)をオペレータに提示することができる

50

。システムは、オペレータが運行計画（目標到着時間）を調整することを可能にする。この情報（実際の推定到着時間、または車外で導出するために必要とされる情報）は、指令または指令システムが目標到着時間を調整することを可能にするために指令センタに伝達されることもできる。これは、システムが適切な目的の関数に対して迅速に調整および最適化を行うこと（例えば、速度と燃料使用の折り合いを付けること）を可能にする。

【0141】

複数の鉄道輸送手段（機関車、鉄道車両、列車、保線用車両、およびその他の駆動車両）は、固定のまたは移動可能な（軌道の閉そく区間と呼ばれる）軌道のセグメント内の鉄道網上で、当該閉そく区間の現在の状態を示す閉そく区間の入り口の実際のまたは合成の信号を用いて運転する。信号は、閉そく区間に接近する鉄道輸送手段のオペレータに閉そく区間への進入が許可されるかどうかをアドバイスし、許可される場合には閉そく区間が進入されることができる制限速度もアドバイスすることができる。概して、閉そく区間の進入速度は、輸送手段の現在の走行経路に沿った（1つまたは複数の）次に続く閉そく区間の状態に応じて決定される。

【0142】

閉そく信号は、信号の指示を提供する信号現示（色灯または腕の位置などの視覚的要素）を含む。指示は、輸送手段のオペレータに閉そく区間が進入されることができるかどうかをアドバイスし、輸送手段が進入し、当該閉そく区間を走行するときの（1つまたは複数の）輸送手段の速度をさらにアドバイスすることができる。例えば、指示は、閉そく区間への進入直後に、または閉そく区間内の特定の場所において速度を落とすように輸送手段に命令することができる。指示は、次の閉そく区間に関する速度制限も命じることができる。閉そく区間占有検出器が輸送手段が閉そく区間を占有するかどうかを感知し、関連する制御コンポーネントがそれに応じて当該占有される閉そく区間の前の閉そく信号を設定する。

【0143】

多くの異なる種類の閉そく信号の現示が存在し、それぞれの閉そく信号の現示はそれらの現示に関連する一意的な指示を有する。例えば、灯火式信号は、オンもしくはオフ状態に制御される単一の色灯か、または所望のレンズの色を灯火の前に位置付けるようにレンズの移動が制御される単一の灯火によって照明される複数の色のレンズを含むことができる。その他の灯火信号は、複数の色付きレンズを用いて動作可能な複数の灯火、および点滅する灯火を含む。

【0144】

輸送手段のオペレータは輸送手段が信号現示に接近するときに当該現示を視覚的に認識するが、様々な車載コンポーネントも当該現示をオペレータに伝達する。軌道信号の近くの電気的コンポーネントが、信号現示を表す電気信号を生成する。輸送手段がこれらのコンポーネントの上または近くを通過するとき、電気信号が機関車上の誘導ピックアップコイルに転送される。それによって、オペレータは機関車の運転室内で信号現示の指示を提示される。その他の信号システムは、軌道信号と機関車の間の無線通信リンクを含む。

【0145】

別の輸送手段によって占有された閉そく区間に接近する輸送手段は、（概して）輸送手段が当該閉そく区間の手前で停車しなければならないことを示す赤の現示を見る。概して、占有されていない閉そく区間（空いた閉そく区間）に接近する輸送手段は、輸送手段がその輸送手段の現在の速度で当該閉そく区間に進入することができることを示す緑の現示を見る。

【0146】

黄色の現示の様々な構成は、速度制限された進入および閉そく区間の速度制限された横断を指示する。例えば、軌道のセグメントは、第1の輸送手段が第1の閉そく区間に接近し、第2の輸送手段が第2の閉そく区間を占有している第1のおよび第2の連続する閉そく区間を含む。接近する第1の輸送手段は第1の閉そく区間に進入することを許可されることができるが、ただし、第2の輸送手段が第2の閉そく区間を出る前にその第1の輸送

10

20

30

40

50

手段が第2の閉そく区間の入り口に到達する場合に第1の輸送手段が安全に停車することを可能にする制限速度で進入することを許可されることができる。したがって、輸送手段は、各閉そく区間への進入が2つの輸送手段が同じ閉そく区間を占有する状況避けるように制御されるようにして鉄道網を1閉そく区間ずつ横切る。

【0147】

2つ以上の軌道の分岐に沿って接近する輸送手段を導くことができる軌道のポイントも信号を用いて守られることができる。ポイントの信号は、ポイントの分岐によって規定された閉そく区間の状態を指示し、ポイントの位置をさらに指示することができ、接近する輸送手段のオペレータがポイントが所望の軌道の分岐のために設定されているかどうかを判定することを可能にすることができる。

10

【0148】

閉そく信号の現示（およびポイントの信号の現示）と関連する指示とは、閉そく区間の占有状態に基づいて閉そく区間（およびポイント）のリアルタイムの状態を正確にアドバイスする。しかし、鉄道網と当該網上の個々の輸送手段の動きとを制御するために、指令が当該網を横切る輸送手段の推定される将来の位置に従って閉そく信号およびポイントの信号を設定することが必要である可能性がある。将来の輸送手段の位置のそのような予測は、予測が後で将来に拡大するにつれて徐々に精度が落ちる。輸送手段の動きの予測できない性質は、指令に控えめに信号を設定させる可能性があり、その結果、鉄道網中の効率の低下を招く恐れがある。

20

【0149】

これらの将来の閉そく信号およびポイントの信号の予測の不確実性は、天候、雪、氷、および嵐などの環境条件と、車両、機関車、線路、および沿線の機器などの機器の機械的な故障と、輸送手段の操作および速度設定などの乗務員の運転の振る舞いと、軌道および沿線の機器の修理、ならびに輸送手段の事故および脱線などの保守努力とを含むがこれらに限定されない多くの制御できない原因による。結果として、少なくとも2つの輸送手段が同じ軌道のセグメントを渡るまたは利用する軌道のセグメントに対する任意の閉そく信号またはポイントの信号の状態は、現在の状態までの、および現在の状態を含む過去の状態に関してのみ正確に知られる。

30

【0150】

上述の運行オブティマイザの実施形態は、輸送手段の走行経路上の次の閉そく信号またはポイントの信号の状態に基づいて輸送手段を減速するか、または輸送手段を停車させる。概して、運転オブティマイザのアルゴリズムは、燃料消費を最小化するレートで速度を落とし、輸送手段が閉そく区間の占有規則および速度制限を実施するために必要とされるように所望の軌道の位置で所望の速度に達することを可能にする。例えば、第1の輸送手段がその第1の輸送手段が閉そく区間に進入するときに制限された指示を提示される場合、標準的な輸送手段制御規則は、第1の輸送手段が閉そく区間の入り口に到達するときに次の閉そく区間を現在占有している第2の輸送手段がその閉そく区間を空けなかった場合にその第1の輸送手段が次の閉そく区間に進入する前に安全に停車できるように、指定された速度まで減速するように当該輸送手段に要求する。

40

【0151】

運転オブティマイザのその他の実施形態によれば、前方の閉そく信号の状態が予測または確率的に判定され、輸送手段の速度曲線が最も可能性が高い将来の閉そく区間の状態に従って制御され、それによって、鉄道網のスループットを増加させながら燃料消費を最適化する。（信号のそれぞれの閉そく区間の占有によって判定されるように）次の数個（1つ、2つ、3つ、またはそれより多い）信号の現在の状態が分かっており、輸送手段の経路を妨げる可能性があるその他の輸送手段の位置、速度、到着時間、および/または走行の方向（例えば、走行パラメータ）が分かっている場合、運行オブティマイザは当該輸送手段が遭遇することになる信号の将来の状態を確率的に判定する。それに応じて、運行オブティマイザは、続く閉そく信号が輸送手段がそれらの信号に到達する前に変化する/消える判定された確率に基づいて輸送手段の速度曲線（牽引力および制動力の適用）を修正

50

する。確率的判定は続く信号の将来の状態を断定的に判定できないので、運行オブティマイザは、輸送手段に提示されたリアルタイムの信号の状態が予測の状態と異なる場合に輸送手段が安全に停車または減速されることを可能にするために輸送手段の速度曲線をさらに制御する。

【0152】

確率的判定は、輸送手段が軌道の閉そく区間に近付くときに輸送手段の走行経路に沿ったそれらの閉そく区間が空くことができるかどうかを指示することができ、空いた閉そく区間への妨げられない進入を可能にすることができる。複数の輸送手段および軌道網のパラメータおよび状態が、この確率的判定において考慮されなければならない。判定された確率が比較的高い場合、輸送手段は予測される閉そく区間の状態に応じた速度曲線に従って制御される。概して、運行オブティマイザは、輸送手段を制御するために低い確率の予測される将来の閉そく区間の占有を使用しない。

10

【0153】

例えば、前方の閉そく区間が現在占有されているが、当該閉そく区間は輸送手段が当該閉そく区間の入り口に到達するときに空いていることが比較的高い確率で判定されると仮定する。したがって、輸送手段の運行オブティマイザは、当該閉そく区間が空いているという予測に従って輸送手段の速度曲線を決定する。それによって、この走行区間中、輸送手段の燃料消費が最適化される。

【0154】

しかし、速度曲線は、予測されるように前方の閉そく区間が空かない確率も考慮しなければならない。この状態は空いた閉そく区間よりも起こり難いことを認識して、速度曲線は速度の減少の遅れた開始を含み、すなわち、速度の減少は、前方の閉そく区間が空いていない場合に要求されるように輸送手段を停車または減速するのに十分な時間/距離を提供するより後の時間または前方の軌道の位置まで遅らされる。しかし、速度の減少の遅れた開始は、輸送手段を減速または停車させるためにより激しいブレーキの適用を必要とする可能性がある。しかし、実際により激しいブレーキの適用が必要である可能性は低いことを認識されたい。

20

【0155】

したがって、一実施形態の運行オブティマイザは、閉そく区間の占有規則を満足しながら輸送手段の運行中に燃料消費をさらに最適化する。将来の閉そく区間の占有についての予測が誤っている場合、それでもいくらかの燃料の最適化が実現される可能性がある。さらに、鉄道網の全体に渡るこれらの確率的概念の適用は、予測可能な軌道の占有との輸送手段の遭遇の大部分に関して、輸送手段の大部分の燃料効率を向上する。個々の輸送手段に関する燃料消費が常に最適化されることができるとは限らないが、鉄道網全体の燃料消費は改善される。

30

【0156】

時間的により近い事象はより正確に予測されることができ、したがって、運行オブティマイザの速度曲線に、それらの速度曲線が守られるより高い確実性を伴って提供されることができる。例えば、第1のおよび第2の連続する閉そく区間を含む軌道網に関して、前方の輸送手段が第2の閉そく区間をほとんど抜けている場合、関心のある輸送手段が第2の閉そく区間の入り口に到着する前に前方の輸送手段は恐らく第2の閉そく区間を抜けているのでその関心のある輸送手段が第1の閉そく区間に進入するときに関心のある輸送手段を減速させる必要はない可能性がある。したがって、運行オブティマイザのアルゴリズムは、信号が消える確率に基づいて関心のある輸送手段の速度曲線を修正し、その関心のある輸送手段が速度を保って閉そく区間を走行することを可能にする。

40

【0157】

一実施形態において、運行オブティマイザは、速度曲線を決定するための閾値確率を使用する。例えば、前方の閉そく区間が空く確率が所定の閾値確率よりも大きい場合、将来の事象が予測された通りでない場合に要求されるように輸送手段を停車または減速するための余裕を持って、前方の空いた閉そく区間を仮定して速度曲線が決定される。

50

【 0 1 5 8 】

別の実施形態において、閾値確率の値を使用する代わりに、判定された確率が、速度の減少が開始される時間 / 軌道の位置を制御する。前方の閉そく区間が空く（すなわち、輸送手段が緑の指示を見て、したがってその輸送手段の現在の速度で閉そく区間に進入することを許可される）より低い確率は、より早い（すなわち、時間 / 軌道の位置）速度の減少の開始をもたらす。速度の減少が始まる時間 / 軌道の位置は当該確率に対応する。

【 0 1 5 9 】

前方の閉そく区間の灯火が消えるより高い確率は、速度の減少のより遅い開始をもたらす。速度の減少が始まる時間 / 軌道の位置は当該確率の値にやはり対応する。しかし、常に、速度の減少の開始のための時間 / 軌道の位置は、輸送手段が軌道信号にリアルタイムで遭遇するときにそれらの軌道信号に従うことを可能にするように決定される。

10

【 0 1 6 0 】

上述の確率を判定するために必要とされる輸送手段の位置、それらの輸送手段の速度、および走行経路などの運転情報は、車載の運行オプティマイザによる使用のために例えば鉄道の司令センタから無線通信リンクを介して供給されることができる。代替として、情報は、機関車と司令センタの間のその他の通信リンクを介して供給されることができる。

【 0 1 6 1 】

運転している輸送手段間の通信リンクを有する鉄道網において、情報は、同じ走行経路上の輸送手段間で直接供給されることができる。情報は、関心のある輸送手段の前の輸送手段によって提供されることができる。例えば、前方の輸送手段は、その前方の輸送手段の速度、位置、および閉そく区間を抜ける推定時間のうちの1つまたは複数をアドバイスすることができる。代替として、前方の輸送手段が位置、速度、（勾配 / 軌道情報に基づく）速度曲線、次の閉そく区間までの距離のうちの1つまたは複数を供給する場合、関心のある輸送手段上で実行される運行オプティマイザのアルゴリズムは、次の閉そく区間の予測される状態を計算することができる。さらに別の実施形態において、関心のある輸送手段は、前方の輸送手段の種類、例えば、旅客、高優先度、または低優先度に基づいて次の閉そく区間が空く時間を推定することができる。

20

【 0 1 6 2 】

前方の空いた閉そく区間の確率が判定されることができる情報も、信号から輸送手段に直接供給されることができる。

30

【 0 1 6 3 】

運行オプティマイザのアルゴリズムが実行される場所に依じて、運転情報がその場所に有線、無線、無線周波数、音響、電力線搬送、光、および手動オペレータ技術によって転送されることができる。

【 0 1 6 4 】

別の実施形態によれば、運行オプティマイザは、続く信号の過去の経験またはよく遭遇する指示の知識を使用してそれらの信号の状態を予測し、それらの予測に従って速度曲線を作成する。信号が消える（過去の経験に基づいた）比較的高い確率がある場合、輸送手段が減速する必要はない可能性がある。その代わりに、（制動力の適用または牽引力の削減のいずれかによる）速度の減少は、より後の時間または軌道の位置まで遅らされることができる。その時間または軌道の位置において、リアルタイムの信号の状態が判定され、輸送手段の制御に関してなされる判断は、例えば信号が消えていない場合は所望の位置で停止するために要求されるように輸送手段を減速し始めるか、または信号が消えている場合は輸送手段が速度を出して閉そく区間を通過することを可能にする。

40

【 0 1 6 5 】

図 1 1 A および 1 1 B は鉄道列車に関する説明された概念を示す。閉そく区間 4 0 1 内の、矢印 4 0 4 によって示される方向に走行する列車 4 0 0 は、閉そく区間 4 1 2 の入口の黄色の信号現示 4 0 8 および閉そく区間 4 2 0 の入口の赤の信号現示 4 1 4 に接近する。矢印 4 2 3 によって示される方向に走行する列車 4 1 8 は、閉そく区間 4 2 0 の出口に近付いているように思われる。

50

【 0 1 6 6 】

図 1 1 B は、列車 4 0 0 が閉そく区間 4 0 1 を横切るときに閉そく区間 4 1 2 および 4 2 0 の状態に関する情報が列車 4 0 0 に知られていないときの列車 4 0 0 に関する速度曲線 4 4 0 を示す。速度の値が横軸上に示され、時間、距離、または位置が縦軸上に示される。図に示すように、曲線のセグメント 4 4 0 A に従って、列車は、信号 4 0 8 において速度 S 2 を達成するために速度 S 1 から減速する。速度 S 2 は、列車 4 0 0 が入り口に到達するときに列車 4 1 8 が閉そく区間 4 2 0 を出していない場合に列車が閉そく区間 4 2 0 の入り口（信号現示 4 1 4）で停車することができるように列車が減速することを可能にするのに十分なほど遅い。

【 0 1 6 7 】

異なる減速関数または曲線のセグメント 4 4 0 B が、信号現示 4 1 4 における速度 S 3 が 0 であるように閉そく区間 4 1 2 において使用されることができる。代替として、曲線のセグメント 4 4 0 A および 4 4 0 B は同様であることができ、それぞれの曲線のセグメント（および速度 S 2）は鉄道の必要とされるやり方に従って決定されることができ、ならびに / または各速度曲線は列車 4 0 0 および 4 1 8 の種類および優先度と、それらの列車の速度および走行の方向と、速度の値 S 1 とに基づいて決定されることができ。代替として、速度曲線 4 4 0 A および 4 4 0 B は非線形であることができる。

【 0 1 6 8 】

運行オペティマイザが将来の閉そく区間の占有に基づいて将来の信号現示を予測する実施形態において、列車 4 0 0 が閉そく区間の入り口（信号現示 4 1 4）に到達する前に閉そく区間 4 2 0 が空く比較的高い確率がある場合、列車 4 0 0 は例示的な速度曲線 4 4 4 に従って制御される。この曲線は、閉そく区間 4 2 0 が地点（または時間）4 4 4 B が到達されるときに空いていない場合に列車 4 0 0 が曲線 4 4 4 A に沿って減速を開始する地点（または時間）4 4 4 B が到達されるまで列車 4 0 0 が曲線のセグメント 4 4 4 C に沿ってその列車 4 0 0 の速度 S 1 を維持することを可能にする。閉そく区間 4 2 0 が地点 4 4 4 B において空いている場合、列車 4 0 0 は速度曲線 4 4 4 D を継続する。

【 0 1 6 9 】

地点 4 4 4 B は、列車 4 0 0 が速度曲線 4 4 4 A に従って減速することによって信号現示 4 0 8 において速度 S 2 に到達することを可能にするように選択され、列車 4 0 0 が信号現示 4 1 4 に到達する前に列車 4 1 8 が閉そく区間 4 2 0 を抜ける確率に応じてさらに選択されることができる。例えば、減速開始地点 4 4 4 B は、閉そく区間 4 2 0 が空く比較的低い確率に対応して時間的に早められる（信号現示 4 0 8 において速度 S 2 に到達するためのより緩やかな減速または制動力を可能にする）。減速開始地点 4 4 4 B は、閉そく区間 4 2 0 が空く比較的高い確率に対応して時間的に遅らされる（信号現示 4 0 8 において速度 S 2 に到達するためのより激しい減速または制動力を必要とする）。地点 4 4 4 B が列車が信号現示 4 0 8 において速度 S 2 に到達するために減速を開始することができる最後の地点または時間であり、列車 4 0 0 が信号現示 4 0 8 に到達する前に閉そく区間 4 2 0 が空く比較的低い確率がある場合、効率的な鉄道および列車の運転は燃料を節約するために減速のより早い開始を提案する。

【 0 1 7 0 】

減速地点 4 4 4 B を移動することに対する代替として、または減速地点 4 4 4 B を移動することに加えて、曲線のセグメント 4 4 4 A の傾斜が、判定された確率に応じて制御されることができる。

【 0 1 7 1 】

速度曲線 4 4 4 は速度曲線 4 4 0 と同じ地点または時間に速度 S 2 まで列車 4 0 0 を減速するが、曲線の線セグメント 4 4 0 A に対してよりも曲線の線セグメント 4 4 4 A に対してより大きい傾斜の大きさによって示されるようにより激しい制動を必要とすることに留意されたい。しかし、列車 4 0 0 が速度曲線 4 4 4 C を横切っている間に（すなわち、曲線 4 4 4 上の地点 4 4 4 B においてその列車 4 0 0 の速度の減少を開始する前に）閉そく区間 4 2 0 が空く比較的高い確率に基づいて地点 4 4 4 B が選択される場合、列車 4 0

10

20

30

40

50

0 が消えた信号 4 1 4 を通過することを許可され、したがって実際は速度の減少が要求されない可能性が高い。曲線 4 0 0 の速度の減少は制動が通常使用されるよりも激しいという点で幾分特殊である可能性があるが、この曲線は、列車 4 0 0 が閉そく区間 4 2 0 の入り口に到達する前に列車 4 1 8 が閉そく区間 4 2 0 を抜け、信号 4 1 4 を消す確率が高いので実行される可能性が低いことを認識されたい。しかし、列車 4 1 8 が予測されたように閉そく区間 4 2 0 を抜けない場合、列車 4 0 0 は適切な場所において適切な速度 S 2 まで減速され、列車の安全は損なわれない。

【 0 1 7 2 】

図 1 1 B に示される種々の速度曲線のそれぞれ、およびそれらの速度曲線のセグメント（ならびに速度 S 2 ）は鉄道の必要とされるやり方に従って決定されることができ、ならびに / または各速度曲線は列車 4 0 0 および 4 1 8 の種類および優先度と、速度の値 S 1 とに基づいて決定されることができ、速度曲線は非線形であることができ、判定された確率、鉄道の運転、およびその他の列車のパラメータに応じて時間と共に速度を増すか、または時間と共に速度を落とす可能性がある。

【 0 1 7 3 】

本発明の確率判定の特徴が定量化された確率の値に関して説明されることができ、その他の実施形態は、特に、閉そく区間 4 2 0 を通る列車 4 1 8 の走行に影響を与え、ひいては所望の時間の前に列車 4 1 8 が閉そく区間 4 2 0 を抜ける確率に影響を与える時間によって変わる要素を含む複数の要素が存在することが認識されるので、確率の範囲、または可能性もしくは確率の定性的な推定を使用することができる。

【 0 1 7 4 】

さらに別の実施形態において、閉そく区間を通る輸送手段の速度は、確率的に決定された閉そく区間出口速度（またはポイント通過速度）に対応する。すなわち、速度は次の閉そく区間が時間内に空かない比較的高い確率に応じて第 1 のレートで落とされ、速度は次の閉そく区間が時間内に空く比較的高い確率に応じて第 2 のレートで落とされる（または維持されるか、もしくはさらには上げられる）。したがって、速度の減少のレート、および速度の減少区間の終わりの目的の速度は、列車 4 0 0 が閉そく区間の入り口に到達する前に次の閉そく区間が空く確率に対応する。図 1 1 B に示された速度曲線 4 4 8 は、速度曲線 4 4 4 と比較されたそのような異なる減速レートを示し、速度曲線 4 4 4 に関連する確率よりも低い閉そく区間 4 2 0 が空く確率に従って実行されることができ。

【 0 1 7 5 】

本明細書において説明される速度制御および制動メカニズムは、輸送手段の走行経路に沿った将来の閉そく区間の占有についての判定された確率または可能性の推定値に応じて燃料消費を制限し、制動力を小さくするように試みる。これらの技術は、今日の鉄道の運転によくある「ハリーアップアンドウェイト（hurry up and wait）」シナリオを減らす。

【 0 1 7 6 】

別の実施形態において、列車 4 1 8 が閉そく区間 4 2 0 を抜ける可能性は、曲線のセグメント 4 4 4 C 中に継続的に、または複数の時点で判定される。計算された確率が高くなるにつれて、速度の減少が始まる地点 4 4 4 B は時間的に遅らされることができ、確率が低くなるにつれて、地点 4 4 4 B は時間的に早められることができる。

【 0 1 7 7 】

別の実施形態によれば、輸送手段の性能は、運行オプティマイザが現在の運行に対する最適化された運行計画を作成することにおいて軌道の同じセグメント上の以前の運転についての情報を考慮する場合、向上されることができ。例えば、同じ軌道のセグメント上の以前の運行中の以下の条件、すなわち、信号の状態、オペレータの動作、予期しない輸送手段または軌道の状態、および輸送手段の混雑に関する情報が運行オプティマイザに供給される。この情報は、高い優先度の事象がそれらの事象が過去に発生したように発生すると仮定して、運行を計画するための統計的基礎を作成するために使用される。例えば、特定の信号現示が軌道のセグメント上の以前の運行の 9 0 % に対して存在した場合、運行

オブティマイザは同じ信号が現在の運行において存在することになると仮定し、それに応じて速度曲線を作成する。

【0178】

計画された運行中、運行オブティマイザは、信号現示がそれらの信号現示が予測された通りでない場合にその運行オブティマイザが輸送手段を安全に減速させることを可能にするのに十分な時間が割り当てられるようにしてリアルタイムの信号現示をチェックする。したがって、その確率的基礎にかかわらず、曲線は、リアルタイムの事象が予測された事象と異なる状況下で輸送手段を安全に制御するために十分な余裕（時間および／または距離）を含む。

【0179】

これらの統計的考察の結果として、集計ベースで、運行オブティマイザは輸送手段の効率を向上する。すなわち、各運行の最適化は信号現示が予測と異なり、したがって輸送手段が「非効率な」速度曲線に沿って減速または停車される必要がある可能性があることで向上されない可能性があるが、輸送手段の効率は輸送手段の運行の大部分に対して向上される、すなわち、全体的な事業効率が向上される。

【0180】

輸送手段および軌道の状態は速度曲線を生成することにおける運行オブティマイザによる想定と異なる可能性があるので、燃料消費を増やす原因になる不必要なブレーキの適用がある可能性がある。同様に、特定の条件（例えば、輸送手段の混雑）がほとんどあらゆる輸送手段が特定の軌道のセグメント上を走行する間に起こるとき、運行オブティマイザの別の実施形態は速度曲線を作成することにおいてこの統計的情報を考慮する。

【0181】

したがって、本発明の別の実施形態によれば、運行計画は、最悪の場合のまたは最良の場合の効率に基づかず、代わりに、運転条件の統計的性質を考慮することによって最も可能性が高い運転条件、または可能性が高い運転条件の範囲に基づいて生成される。いくつかの運行オブティマイザの実施形態は離散的なデータのみを使用して速度曲線を作成するが、この実施形態は、少なくとも総体として向上された性能を提供することができる統計的情報をさらに使用することによって改善をもたらす。

【0182】

各ポイントまたは閉そく信号に関して、時間帯、季節、交通の種類などの輸送手段の交通のパターンによって決まる典型的なまたは最も確率の高い設定が存在する。最も確率の高い設定が決定されることができるとき、輸送手段の速度が、最適な閉そく区間／ポイント出口速度が達成されるように調整される。平均的な設定を決定する代わりに、平均からの信号設定の変動と、達成されることができるとき燃料効率の改善の量とに応じて（2シグマ限界などの）その他の統計的パラメータが使用されることができるとき。

【0183】

本発明の別の実施形態によれば、全体的なミッションの速度が、閉そく区間内の運転パラメータを最適化し、閉そく区間出口速度を最適化するために計算される。すなわち、計画ツールが中継閉そく区間の最後に時間的余裕を加える場合、閉そく区間と時間的余裕の間の論理的インターフェースにおいて、全体の速度が、大きな速度変化の挿入を避ける低い閉そく区間の速度のための時間的余裕の使用を可能にするように最適化されることができるとき。したがって、使用されるとき、時間的余裕が、大きな速度変化、すなわち大きなブレーキの適用を最小化するために上述の速度曲線において考慮されることができるとき。

【0184】

別の実施形態において、同じ鉄道の資源に関して競合している2つの輸送手段の間の調整が運行オブティマイザによって考慮される。両方の輸送手段に関する速度曲線が最適化されることができるとき可能性は低いので、より効率的な運転の結果を提供する輸送手段が資源を利用するために選択され、それによって燃料消費および／または鉄道網の効率を最適化する。例えば、2つの輸送手段がそれらの輸送手段がそれぞれ単一の軌道のセグメントの使用を要求する区間に接近するとき、調整メカニズムは、2つの選択のうちのどちらが

10

20

30

40

50

より最適化された鉄道網をもたらすのかを判定する。

【0185】

最適化アルゴリズムは、個々の輸送手段の運転パラメータと鉄道網のパラメータとに基づいてより良い選択を判定する。輸送手段の燃料効率、最大許容鉄道速度、平均鉄道速度、目的地到着に関する優先順位は、最適化アルゴリズムによって考慮される要素の一部である。また、同様の軌道のセグメント上の同様の輸送手段による以前の遭遇の結果がアルゴリズムによって考慮されることもできる。例えば、以前の遭遇は、輸送手段のうちの1つに対して過度の制動の増加をもたらしたか、または輸送手段のうちの1つに加速の制限を超えさせた可能性がある。優先度の判定も、局所的レベル、地域的レベル、または鉄道網のレベルに基づくことができ、貨物、到着時間、燃料効率、必要な乗務員交代の時間、乗務員交代の地点、個々の輸送手段の調子、排気の要件などを含むことができるがこれらに限定されない。

10

【0186】

最適化アルゴリズムは広く知られており、関数を最適化するための以下の技術、すなわち、逐次近似、参照テーブル、閉形式解、カルマンフィルタ、時系列テイラー展開、これらの技術の拡張または任意の組合せのうちのいずれかを使用することができる。

【0187】

(輸送手段上、または司令センタのいずれかで実行されることができ) 上述の最適化アルゴリズムで使用するためのデータが、局所的な、地域的な、または大域的な司令センタなどの非車載設備から輸送手段に手動データ転送によって提供されることができ。アルゴリズムが沿線の機器において実行される場合、必要なデータは、輸送手段を通すことによって、または指令センタを介してその沿線の機器に転送されることができ。データ転送は、非車載の、車載の、または沿線のコンピュータおよびデータ転送機器を使用して自動的に実行されることもできる。鉄道網の任意の場所のコンピュータ実装による手動データ転送および自動データ転送の任意の組合せが、本発明の様々な実施形態の教示に従って提供されることができ。

20

【0188】

本発明は、最適化されるべき輸送手段の機関車上で、沿線の機器内で、(指令中心モデルにおいて) 車外で、または鉄道網上の別の場所でアルゴリズムを処理することを含む、最適化データを計算するホストプロセッサに関する複数のオプションを想定する。実行は、予めスケジューリングされることができ、リアルタイムで処理されることができ、または関心のある輸送手段もしくは関心のある輸送手段によって妨げられる可能性があるその他の輸送手段のいずれかに関連する運転パラメータである輸送手段もしくは機関車運転パラメータの変化などの指定の事象によって行われることができる。

30

【0189】

本発明の実施形態の方法および装置は、(局所的レベル、地域的レベル、および大域的レベルで) 改善された機関車の燃料効率および鉄道網の効率を提供する。最適化技術は、効率、速度、および優先度の折り合いを付ける能力も提供する。本発明の実施形態の技術はスケーラブルであるので、それらの技術は、たとえ鉄道網全体に渡って実装されないとしても即座の鉄道網の利益を提供することができる。局所的なトレードオフが、鉄道網全体を考慮する必要なしに考慮されることもできる。後の輸送手段が、より高い平均速度でより良い時間的余裕に遭遇する。したがって、より多くの輸送手段が、追加的な軌道の資源の消費なしに同じ軌道に沿って運ばれることができる。

40

【0190】

本発明の種々の実施形態が現在好ましい実施形態とみなされるものにおいて説明されたが、多くの変更形態および修正形態が当業者に明らかとなるであろう。例えば、機関車および鉄道車両を含む列車が運転する鉄道網との関連で説明されたが、本発明の教示は、都市間列車、大量旅客輸送手段、および市街電車を含むがこれらに限定されないその他の軌道に基づくシステムおよび乗り物に適用されることもできる。したがって、本発明は特定の例示的实施形態に限定されず、添付の特許請求の範囲の最大限の精神および範囲内で解

50

釈されることが意図される。

【図面の簡単な説明】

【 0 1 9 1 】

【図 1】本発明の一実施形態のフローチャートの例示的な図である。

【図 2】使用されることが出来る列車の簡素化されたモデルを示す図である。

【図 3】本発明の要素の例示的实施形態を示す図である。

【図 4】燃料使用 / 走行時間曲線の例示的实施形態を示す図である。

【図 5】運行計画のためのセグメント分解の例示的实施形態を示す図である。

【図 6】セグメント分割の例示的实施形態を示す図である。

【図 7】本発明の一実施形態の例示的なフローチャートである。

【図 8】オペレータによる使用のための動的なディスプレイの例示的な図である。

【図 9】オペレータによる使用のための動的なディスプレイの別の例示的な図である。

【図 10】オペレータによる使用のための動的なディスプレイの別の例示的な図である。

【図 1 1 A】本発明の実施形態に関連する軌道の閉そく区間および信号ならびに機関車の速度曲線を示す図である。

【図 11B】本発明の実施形態に関連する軌道の閉そく区間および信号ならびに機関車の速度曲線を示す図である。

10

【 図 1 】

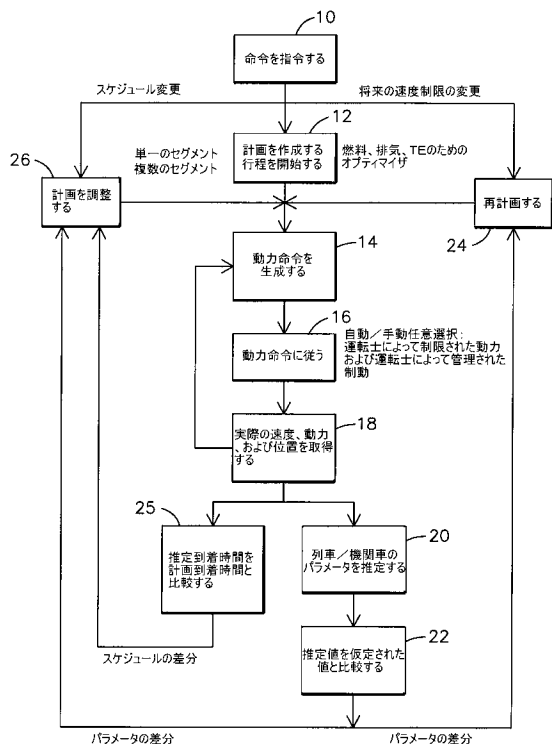
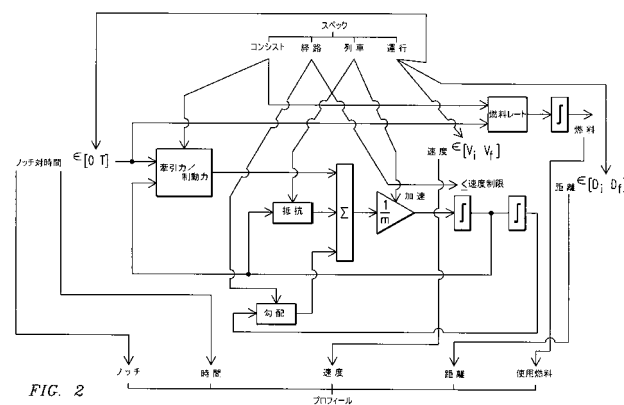


FIG. 1

【 圖 2 】



【 叉 3 】

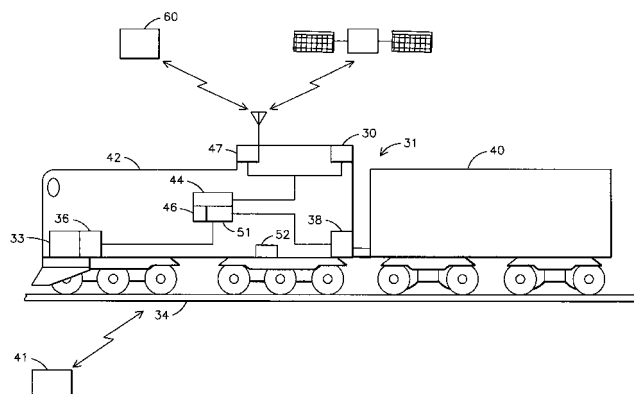


FIG. 3

【図 4】

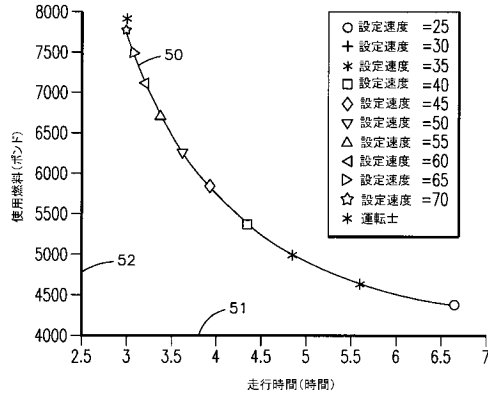


FIG. 4

【図 5】

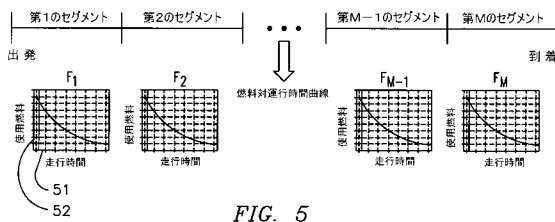


FIG. 5

【図 6】

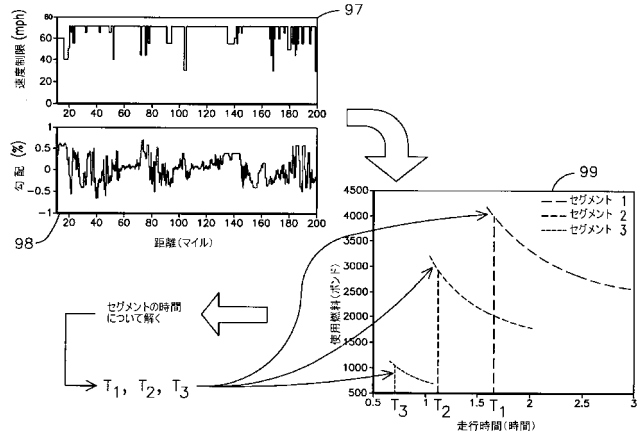


FIG. 6

【図 7】

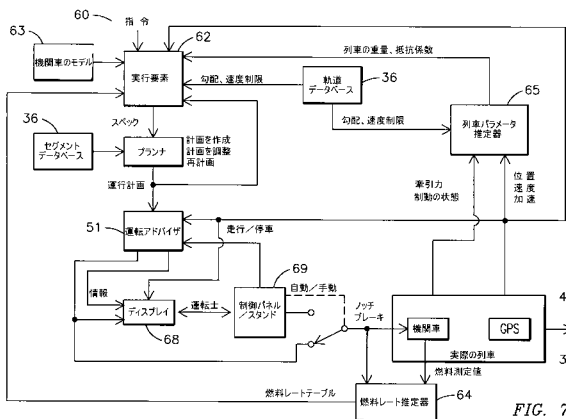


FIG. 7

【図 9】

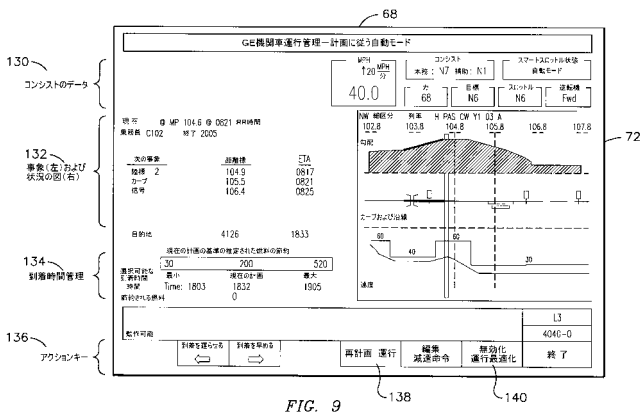


FIG. 9

【図 8】

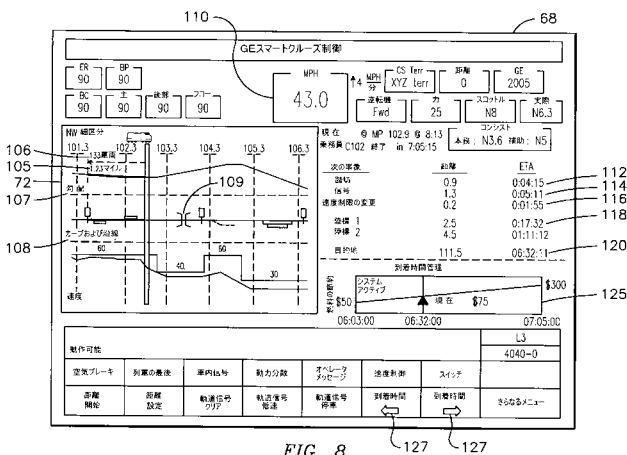


FIG. 8

【図 10】

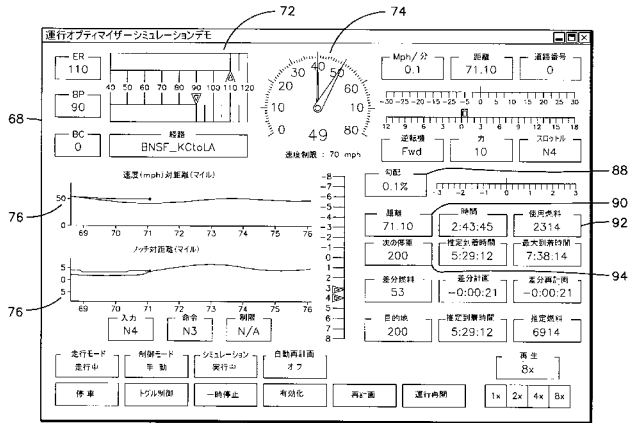


FIG. 10

【図 11 B】

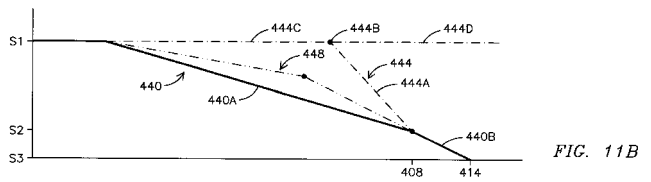


FIG. 11B

【図 11 A】

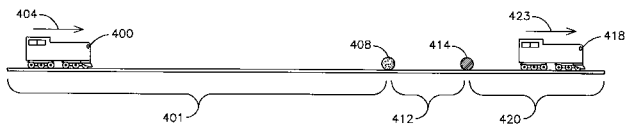


FIG. 11A

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2007/078001

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. B61L27/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B61L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2006/212188 A1 (KICKBUSCH JOEL [US] ET AL) 21 September 2006 (2006-09-21) paragraph [0026] - paragraph [0037]; figures 1,2	1-3, 32, 35, 48, 51, 59, 60
X	US 2004/010432 A1 (MATHESON WILLIAM L [US] ET AL) 15 January 2004 (2004-01-15) paragraph [0097] - paragraph [0322]	1-3, 32, 35, 48, 51, 59, 60
X	FR 2 767 770 A (ALSTHOM CGE ALCATEL [FR]) 5 March 1999 (1999-03-05) page 1, line 16 - page 11, line 18 ----- -/--	1-3, 32, 35, 48, 51, 59, 60
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art *Z* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
5 June 2008		17/06/2008
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer
		Janhsen, Axel

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2007/078001

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 197 26 542 A1 (SCHWANHAEUSER WULF PROF DR ING [DE] SCHWANHAEUSER WULF [DE]) 19 November 1998 (1998-11-19) column 3, line 32 - column 7, line 5 -----	1-3, 32, 35, 48, 51, 59, 60

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2007/078001**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This International search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see additional sheet

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

see annex

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

International Application No. PCT/US2007/078001

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1; 1+2,3; 32+35; 48+51; 59+60

Defining probabilities of conflicts

2. claims: 1+4,5; 32+36; 32+41,42; 48+52; 59+60,61,62

Defining time of necessary speed reductions for conflicts

3. claims: 1+6; 32+40; 59+60,61; 59+60,61,63,65

Defining different speed trajectories

4. claims: 1+7,8; 32+38; 32+41; 48+52; 59+60,61,62

Defining braking locations

5. claims: 1+9; 32+33; 48+49; 48+53,54,55

Conflict detection based on locations

6. claim: 1+9; 32+34; 48+49

Conflict detection based on speed

7. claim: 1+9; 32+34; 48+49

Conflict detection based on trip plan

8. claim: 1+9; 48+49

Conflict detection based on type

9. claim: 1+9; 48+49

Conflict detection based on time of arrival

10. claim: 1+9; 32+34; 48+49

Conflict detection based on travel direction

11. claim: 1+9; 32+34; 48+49

International Application No. PCT/US2007 /078001

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210Conflict detection based on priority

12. claim: 1+10

Defining probabilities of conflicts versus a threshold

13. claims: 1+11, 32+43

Defining transmission schemes for travel parameters

14. claim: 1+12

Defining rearward speed trajectories

15. claim: 1+13; 32+39

Time variant changes in speed trajectories

16. claims: 1+14; 48+56,57

Defining trip plans based on previous operations

17. claim: 1+15

Conflict detection based on track and train conditions

18. claims: 1+16,17

Conflict detection based on track signals

19. claim: 1+18; 32+45

Defining priorities of vehicles
---20. claims: 1+19; 32+46; 48+53,54; 48+56; 59+60,61,63;
59+60,61,63,64Conflict detection based on predicted locations

21. claim: 1+20

Automatic train operation

22. claim: 1+21

International Application No. PCT/US2007/078001

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

Train operation by operator

23. claim: 1+22

Update of speed trajectories based on element information

24. claims: 1+23,24,25,26,27,28

Optimization of train movement in relation to track blocks

25. claim: 1+29

Definition of exit speeds

26. claim: 1+30

Location determination through wayside equipment or remote sites

27. claim: 1+31; 32+47; 48+58

Conflict detection based on train composition

28. claim: 32+44

Modification of trip plans based on travel parameters

29. claim: 48+49

Conflict detection based on the start of the trip

30. claim: 48+50

Conflict detection based on the condition of signals

31. claim: 48+52

Defining speed of necessary speed reductions for conflicts

32. claims: 32+39,40; 32+41,42; 59+60,61,62

Defining the rate of necessary speed reductions

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2007/078001

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2006212188 A1	21-09-2006	US 2006212183 A1	21-09-2006
		US 2006212184 A1	21-09-2006
		US 2006212185 A1	21-09-2006
		US 2006212186 A1	21-09-2006
		US 2006212187 A1	21-09-2006
		US 2006212189 A1	21-09-2006
		US 2006212190 A1	21-09-2006
		US 2004172175 A1	02-09-2004
US 2004010432 A1	15-01-2004	US 2004034556 A1	19-02-2004
		US 2004111309 A1	10-06-2004
		US 2004093245 A1	13-05-2004
		US 7092894 B1	15-08-2006
FR 2767770 A	05-03-1999	AT 239635 T	15-05-2003
		DE 69814276 D1	12-06-2003
		DE 69814276 T2	19-02-2004
		EP 0905003 A1	31-03-1999
DE 19726542 A1	19-11-1998	NONE	

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LS,MW,MZ,NA,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MT,NL,PL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KM,KN,KP,KR,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PG,PH,PL,PT,RO,RS,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,SV,SY,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,ZA,ZM,ZW

(72)発明者 クマール, アジス・クッタンネール

アメリカ合衆国、ペンシルバニア州・16509、エリー、ドンナ・ドライブ、528番

(72)発明者 ダウム, ウォルフギヤング

アメリカ合衆国、ペンシルバニア州・16509、エリー、アンネンデール・ドライブ、5228番

(72)発明者 オーツボ, トム

アメリカ合衆国、ミズーリ州・64075、オーク・グローブ、サウス・ブラウン・ロード、10101番

(72)発明者 ハーシー, ジョン・エリック

アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12019、ボールストン・レイク、ヴァインズ・ロード、4番

(72)発明者 ヘス, ジェレルド・ジェイムズ

アメリカ合衆国、カンザス州・66220、レネクサ、ピタースウィート・ドライブ、21204番

Fターム(参考) 5H161 AA01 BB03 JJ27 JJ31 JJ36