

明 細 書

発明の名称：

運行管理装置、運行管理方法、車両、車両交通システム及びプログラム 技術分野

[0001] 本発明は、軌道を走行する車両、その車両の運行を管理する運行管理装置、車両及び運行管理装置からなる車両交通システム、運行管理方法及びプログラムに関する。本願は、2013年5月30日に、日本に出願された特願2013-114553号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 従来、所定の軌道（路線）に沿って走行する車両（列車等）による輸送サービスを提供する車両交通システムでは、予め規定されたダイヤ（時刻表）に基づいて各車両の運行が管理される。具体的には、いわゆる地上設備である運行管理装置が、車両ごとに定められた到着時刻、出発時刻等に基づいて各車両に指示を出し、当該各車両はその指示に従って運行する。このようなダイヤに基づく運行制御においては、運行の乱れ時、ダイヤを変更し、その変更後のダイヤに従って車両を運行することで、運行乱れの解消を図っている。このダイヤ変更は、合理性の確保を要する高度な作業であり、相応の労力と時間を要する。また、単に時間がかかるのみならず、ダイヤの変更作業を合理的に行うには多くの経験が必要であり、その経験の豊富さによっては、対応できる内容が限定されてしまう。特に新興国で鉄道が全く存在しないような都市では、この傾向が顕著になる。

[0003] 一方、近年、情報伝達手段の発達が著しく、運行管理装置と車両、車両と車両、各々の間の情報伝達方法と設備の確立により、運行管理装置と車両の連携動作、若しくは、車両同士の連携動作が可能な環境が構築できるようになっている。また、情報処理手段の高性能化が著しく、車両、地上設備、それぞれ個々の装置が、個々の裁量の範囲内で、自立した情報処理・制御動作が

可能になっている。

[0004] 例えば、特許文献 1 に記載の列車運行制御方法によれば、ある他の車両の時間遅延が所定値以上であった場合に、当該他の車両と自車両との車両間隔を自律的に調整しながら、自車両の発車時刻を決定することを特徴としている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開 2 0 1 0 - 2 2 8 6 8 8 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] ここで、特許文献 1 に記載の列車運行制御方法によると、遅延が軽微である場合のみ他車両との車両間隔を制御し、遅延が大きい場合には別途ダイヤ変更を行う。しかしながら、ダイヤ変更には相応の労力と時間を要するので、遅延が大きい場合には、一層ダイヤの回復に時間がかかる可能性がある。

[0007] また、特許文献 1 に記載の列車運行制御方法によれば、特に、前後 1 車両との車両間隔を制御する手法が挙げられている。複数の車両各々がそれぞれの前後を走行する直近の車両との車両の時間間隔を調整する運転（回復運転）を行うことで、車両交通システム全体として車両の時間間隔が均一化される作用が得られる。

しかしながら、各車両がそれぞれの前後 1 車両との車両の時間間隔を制御する方法は、車両交通システム全体として車両の時間間隔を最速で均一化させようとするには不十分であり、車両の遅延が発生してから車両の時間間隔の不均衡が完全に解消されるまでには、相応の時間を要してしまう。したがって、特定の車両の遅延により、車両による輸送サービスの提供が不均一となった場合に、均一な輸送サービスを提供できる状態に復帰するまでに時間がかかる可能性がある。

[0008] また、特許文献 1 では、各車両の遅延時間情報に基づいて車両間隔を制御し

ようとしている。この場合、複数車両が同時に遅延した場合には調整が難しくなる。例えば、遅延した車両のうちのひとつが時間間隔の回復運転を実施しようとしたときに、他の車両が（故障などにより）未だ運転できない状況に陥っている場合、当該回復運転を実施した車両は、結局、運転できない車両の直前で停車してしまう場合が考えられる。

このように、遅延する複数の車両間での回復運転を行いながら車両間隔を調整することが難しいが、これについての解決方法が文献 1 には記載されていない。

[0009] さらに、車両の出発が遅れた場合ではなく、車両を急遽車両基地（D e p o t）に引き上げる場合や、故障車が路線上にいる場合などの突発的な事象が生じた場合には、特許文献 1 に記載の遅延時間に基づく列車間間隔制御方法では対応することができない。

[0010] また、車両がダイヤに基づかない運転をした場合、どのプラットフォームにどの車両がいつ到達するのかという情報が駅の表示スクリーンに表示されない。

[0011] 本発明は、上述の問題を解決することのできる運行管理装置、運行管理方法、車両、車両交通システム及びプログラムを提供する。

課題を解決するための手段

[0012] 本発明の第 1 の態様によれば、運行管理装置は、軌道に沿って走行する複数の車両の運行を管理する運行管理装置であって、前記軌道上に存在する前記複数の車両の位置を取得する車両位置取得部と、前記軌道上の所定範囲内を走行する前記複数の車両の密度を算出する密度演算部と、所定の対象車両の走行方向前方における所定範囲内を走行する車両の密度を示す前方密度と、前記対象車両の走行方向後方における所定範囲内を走行する車両の密度を示す後方密度と、の何れか一方または両方に基づいて、前記対象車両に対して出発指示を送信する時刻を変更することで、前記対象車両の出発時刻を調整する出発判断部と、を備える。

[0013] 本発明の第 2 の態様によれば、上記態様の運行管理装置において、前記出発

判断部は、前記前方密度と、所定の前方密度閾値との大小関係に基づいて、前記対象車両の停車駅における出発時刻を調整する。

[0014] 本発明の第3の態様によれば、上記態様の運行管理装置において、前記出発判断部は、前記後方密度と、所定の後方密度閾値との大小関係に基づいて、前記対象車両の停車駅における出発時刻を調整する。

[0015] 本発明の第4の態様によれば、上記態様の運行管理装置において、前記出発判断部は、前記前方密度から前記後方密度を差し引いた値である前後密度差が所定の密度差閾値よりも大きい場合には、前記対象車両の停車駅における出発時刻を遅らせる。

[0016] 本発明の第5の態様によれば、上記態様の運行管理装置において、前記出発判断部は、さらに、前記対象車両と、その走行方向前方の直近を走行する他の車両との車間距離と、前記対象車両と、その走行方向後方の直近を走行する他の車両との車間距離と、の何れか一方または両方に基づいて、前記対象車両の停車駅における出発時刻を調整する。

[0017] 本発明の第6の態様によれば、上記態様の運行管理装置において、前記車両位置取得部は、さらに、前記複数の車両の走行方向を取得し、前記密度演算部が、前記対象車両が走行する軌道上の走行方向前方において、当該対象車両の走行方向と逆方向に走行する車両が存在すると判定した場合には、前記前方密度を高める補正を行う。

[0018] 本発明の第7の態様によれば、上記態様の運行管理装置において、前記出発判断部は、さらに、事前に各車両・駅毎に定められた出発最早時刻が記録された運行ダイヤ情報を参照し、前記出発時刻を、当該出発最早時刻よりも早い時刻とならないように調整する。

[0019] 本発明の第8の態様によれば、上記態様の運行管理装置において、前記出発判断部は、さらに、前記対象車両への出発指示前に、前記軌道の経路情報に基づいて特定された当該対象車両が進行すべき経路について、安全性を確保しながら運行の制御を行う保安装置に対し、進行の許可を得る。

[0020] 本発明の第9の態様によれば、車両交通システムは、上記態様の運行管理装

置と、前記運行管理装置から前記対象車両の識別情報、位置情報、及び経路情報を受信して、前記対象車両の各駅についての到着予定時刻を算出し、当該算出された到着予定時刻を、各駅に設置されている表示スクリーンへ表示させる旅客案内情報システムと、を備える。

[0021] 本発明の第10の態様によれば、車両は、軌道に沿って走行する車両であって、前記軌道上に存在する自車両を含む複数の車両の位置を取得する車両位置取得部と、前記軌道上の所定範囲内を走行する前記複数の車両の密度を算出する密度演算部と、自車両の走行方向前方における所定範囲内を走行する他の車両の密度を示す前方密度と、自車両の走行方向後方における所定範囲内を走行する他の車両の密度を示す後方密度と、の何れか一方または両方に基づいて、自車両の停車駅における出発時刻を調整する出発判断部と、を備える。

[0022] 本発明の第11の態様によれば、運行管理方法は、軌道に沿って走行する複数の車両の運行を管理する運行管理方法であって、前記軌道上に存在する前記複数の車両の位置を取得し、所定の対象車両の走行方向前方における所定範囲内を走行する車両の密度を示す前方密度と、前記対象車両の走行方向後方における所定範囲内を走行する車両の密度を示す後方密度と、を算出し、前記前方密度と、前記後方密度と、の何れか一方または両方に基づいて、前記対象車両の停車駅における出発時刻を調整する。

[0023] 本発明の第12の態様によれば、プログラムは、軌道に沿って走行する複数の車両の運行を管理する運行管理装置のコンピュータを、前記軌道上に存在する前記複数の車両の位置を取得する車両位置取得手段、前記軌道上の所定範囲内を走行する前記複数の車両の密度を算出する密度演算手段、所定の対象車両の走行方向前方における所定範囲内を走行する車両の密度を示す前方密度と、前記対象車両の走行方向後方における所定範囲内を走行する車両の密度を示す後方密度と、の何れか一方または両方に基づいて、前記対象車両の停車駅における出発時刻を調整する時刻調整手段、として機能させる。

発明の効果

[0024] 上述した運行管理装置、運行管理方法、車両、車両交通システム及びプログラムによれば、車両による輸送サービスの提供が不均一となった場合に、これをより迅速に解消する効果が得られる。また、ある車両を急遽車両基地に引き上げる場合や、故障車が路線上にいる場合などの突発的な事象が生じた場合であっても、ダイヤの調整を行うことなく運行を継続することができる。

図面の簡単な説明

[0025] [図1]本発明の第一の実施形態による車両交通システムの機能構成を示す図である。

[図2]本発明の第一の実施形態による密度演算部、出発判断部の機能を説明する図である。

[図3]本発明の第一の実施形態による運行管理装置の処理フローを示すフローチャート図である。

[図4A]本発明の第一の実施形態による車両交通システムの効果を説明する第一の図である。

[図4B]本発明の第一の実施形態による車両交通システムの効果を説明する第二の図である。

[図5A]本発明の第一の実施形態による車両交通システムの効果を説明する第三の図である。

[図5B]本発明の第一の実施形態による車両交通システムの効果を説明する第四の図である。

[図6]本発明の第二の実施形態による運行管理装置の処理フローを示すフローチャート図である。

[図7]本発明の第二の実施形態による車両交通システムの効果を説明する図である。

[図8]本発明の第三の実施形態による車両交通システムの機能構成を示す図である。

[図9A]本発明の第三の実施形態による車両交通システムの効果を説明する第

一の図である。

[図9B]本発明の第三の実施形態による車両交通システムの効果を説明する第二の図である。

[図10A]本発明の第三の実施形態による車両交通システムの効果を説明する第三の図である。

[図10B]本発明の第三の実施形態による車両交通システムの効果を説明する第四の図である。

[図11]本発明の第四の実施形態による車両交通システムの機能構成を示す図である。

[図12]本発明の第五の実施形態による車両交通システムの機能構成を示す図である。

[図13]本発明の第五の実施形態による間隔調整部の機能を説明する第一の図である。

[図14]本発明の第五の実施形態による間隔調整部の機能を説明する第二の図である。

[図15]本発明の第五の実施形態による運行管理装置の処理フローを示すフローチャート図である。

[図16]本発明の第六の実施形態による車両交通システムの機能構成を示す図である。

[図17]本発明の第七の実施形態による車両交通システムの機能構成を示す図である。

[図18]本発明の第八の実施形態による車両交通システムの機能構成を示す図である。

[図19]他の実施形態による車両交通システムの機能構成を示す図である。

発明を実施するための形態

[0026] <第一の実施形態>

以下、本発明の第一の実施形態による車両交通システムを、図面を参照して説明する。

図1は、本発明の第一の実施形態による車両交通システムの機能構成を示す図である。この図において、符号1は車両交通システムである。

[0027] (車両交通システム全体の構成)

まず、車両交通システム1全体の構成について説明する。

図1に示すように、本実施形態による車両交通システム1は、運行管理装置10、及び、軌道3に沿って走行する複数の車両201、202、・・・、20n (nは2以上の整数) からなる。運行管理装置10は、地上設備と呼ばれるもので、複数の車両201、202、・・・、20nの運行を制御する装置である。

本実施形態に係る運行管理装置10は、後述する出発判断部102の判断に基づいて、車両201、202、・・・、20nそれぞれに出発指示を送信する機能部である。運行管理装置10は、無線通信手段等を用いて各車両201～20nに出発指示を送信する。各車両201～20nは、運行管理装置10から受信する出発指示に基づいて運行する。

実際の車両の運行にあたっては、保安装置（連動装置）や信号機に基づく運行制御がさらに加わるが、本実施形態の説明の簡略化のため、ここでは単に、運行管理装置10に基づいて車両201～20nの運行制御が成されるものとして説明する（保安装置等を用いた場合については、図19を用いて後述する。）

[0028] 車両201、202、・・・、20nは、軌道3（線路）に沿って走行する列車である。車両201～20nは、運行管理装置10から受信する運行の指示に従って、軌道3に沿って複数設けられた駅（図1には不図示）に発着しながら走行する。なお軌道3には一定間隔ごとに所定の位置検知装置（不図示）が設けられており、各車両201～20nは、当該位置検知装置と通信することで、自車両が軌道3上のどの位置を走行しているかを認識することができる。

この機能についてより具体的に説明すると、車両201～20nの各々は自ら路線データベースを備えている。そして車両201～20nの各々は、自

車両のタイヤ回転数を測ることで走行距離を算出し、自車両の現在位置を把握する機能を有している。しかしこの場合、タイヤスリップなどに起因してタイヤ回転数から把握される現在位置が、実際の位置とずれる場合がある。車両201～20nは、地上におかれている位置検知装置と比較しながらずれを補正することで、自車両が軌道3上のどの位置を走行しているかを正確に把握する。

[0029] ここで、都心部に配されるような高密度線区（車両の運行本数が比較的多い路線）においては、車両がダイヤ通りに往來することよりも、一定の時間間隔で到着・出発することをもって往來することの方が重要な場合がある。つまり乗客は、明確な到着・出発時刻の認識をもって輸送サービスを利用するのではなく、車両の往來の時間間隔に基づいて、目的駅へのおおよその移動時間を意識して利用する乗客が多い。この場合、乗客は、車両が定刻で出発・到着することよりも、所望する時間間隔で車両が往來することを重視する。ここで、運行乱れに対してダイヤ変更作業で対応する運行制御では、ダイヤ変更作業に時間を要し過ぎるため、結果として、運行の乱れ解消に時間を過剰に要してしまう場合がある。むしろダイヤによらず、個々の車両間の時間間隔を迅速に均一化させる方が、乗客へ適切な輸送サービスを提供できると考えられる。そこで、本実施形態による車両交通システム1は、特定の車両に遅れが生じて輸送サービスの提供が不均一となった場合に、以下に説明する運行管理装置10の動作に基づいて、個々の車両間の時間間隔がより迅速に均一化される機能を有している。

[0030] （運行管理装置の構成）

次に、運行管理装置10の構成について説明する。

図1に示すように、本実施形態による運行管理装置10は、車両位置取得部100と、密度演算部101と、出発判断部102とを備えている。

[0031] 車両位置取得部100は、軌道3上に存在する複数の車両201～20nの位置を取得する機能部である。各車両201～20nは、上述したように、軌道3上に設けられた位置検知装置（不図示）と通信することで、自車両が

軌道3上のどの位置を走行しているかを認識することができる。そして車両201~20nの各々は、逐次自車両の走行位置を示す「位置情報」を無線通信により運行管理装置10に送信する。運行管理装置10の車両位置取得部100は、各車両201~20n各々の位置情報を受信して、車両201~20nの位置を取得する。なお、他の実施形態においては、車両201~20nの各々は、上記位置情報を優先通信により運行管理装置10に送信してもよい。

[0032] 密度演算部101は、軌道3上の所定範囲内を走行する複数の車両201~20nの密度を算出する機能部である。密度演算部101は、具体的には、車両位置取得部100が取得した各車両201~20nの位置に基づいて、所定範囲内を走行する車両数を取得する。密度演算部101は、その車両数を、当該所定範囲内を走行する車両の「密度」として記憶する。密度演算部101の具体的な機能については後述する。

[0033] 出発判断部102は、ある所定の対象車両20i (iは $1 \leq i \leq n$ を満たす整数、以下同じ)の「前方密度Df」と、「後方密度Dr」と、の何れか一方または両方に基づいて、当該対象車両20iの停車駅における出発時刻を調整する機能部である。ここで「出発時刻を調整する」とは、具体的には、対象車両20iに対して出発指示を送信する時刻を変更することでその出発時刻を調整する、ということである。

ここで前方密度Dfとは、対象車両20iの走行方向前方における所定範囲内を走行する車両の密度である。また後方密度Drとは、対象車両20iの走行方向後方における所定範囲内を走行する車両の密度である。具体的には、出発判断部102は、「前方密度Df」と、「後方密度Dr」と、の何れか一方または両方に基づく所定の条件を満たすまで、対象車両20iの出発指示の送信を保留する処理を行う。そして出発判断部102は、上記所定の条件が満たされたタイミングで出発指示を送信する処理を行う。対象車両20iは、その出発指示を受けたタイミングで(正確には、さらに他の出発のための要件を満たした上で)停車駅を出発する。

なお、他の実施形態においては、上記の態様の代わりに、出発判断部 102 は、上記所定の条件を満たさない間は所定の「出発保留指示」を送信し続け、当該所定の条件を満たしたタイミングで当該出発保留指示の送信を停止する（出発保留指示を解除する）処理を行ってもよい。この場合、対象車両 20i は、出発保留指示を受信し続ける間は出発せず、当該出発保留指示が解除されたタイミングで停車駅を出発する。

「前方密度 D_f 」と、「後方密度 D_r 」と、の何れか一方または両方に基づく所定の条件の具体的な内容については後述する。

[0034] （密度演算部及び出発判断部の機能）

図 2 は、本発明の第一の実施形態による密度演算部、出発判断部の機能を説明する図である。なお図 2 に示す車両 201～204 は、第一の軌道 3a を紙面左側から右側に向かって走行する車両である。一方、車両 205 は、第一の軌道 3a と異なる軌道である第二の軌道 3b を紙面右側から左側に向かって走行する車両である。各車両 201～205 は、図 2 に示す各駅に発着しながらそれぞれの走行方向に向かって走行する。なお第一の軌道 3a と第二の軌道 3b との間には、分岐 3c が複数設けられており、各車両 201～205 は、分岐 3c を介して第一の軌道 3a と第二の軌道 3b を行き来する経路をたどる場合もある。

[0035] 以下、密度演算部 101 の機能について、図 2 を参照しながら説明する。

密度演算部 101 は、車両位置取得部 100 が取得した各車両 201～20n の位置情報に基づいて、当該車両 201～20n それぞれについての「前方密度 D_f 」と「後方密度 D_r 」を算出する。具体的に、本実施形態による密度演算部 101 は、特定の対象車両 20i の走行方向前方直近の位置から走行方向前方 k_f 駅（ k_f は 1 以上の整数）までの範囲内を走行する車両 201～20n の車両数を取得し、対象車両 20i の前方密度 D_f を「 $D_f = \text{車両数} / k_f$ 」と算出する。同様に、対象車両 20i の走行方向後方直近の位置から走行方向後方 k_r 駅（ k_r は 1 以上の整数）までの範囲内を走行する車両 201～20n の車両数を取得し、対象車両 20i の後方密度 D_r を

「 $D_r = \text{車両数} / k_r$ 」と算出する。なお、以下の説明において、対象車両 20 i の走行方向前方直近の位置から走行方向前方 k_f 駅までの範囲を「車両 20 i 前方領域」と記載する。また、対象車両 20 i の走行方向後方直近の位置から走行方向後方 k_r 駅までの範囲を「車両 20 i 後方領域」と記載する。

[0036] 図 2 は、例として、対象車両 20 i が車両 20 3 であり、密度演算部 101 が車両 20 3 の走行方向前方 3 駅 ($k_f = 3$) 及び後方 3 駅 ($k_r = 3$) の範囲内で、車両 20 3 の前方密度 D_f 及び後方密度 D_r を求める場合を示している。図 2 に示すように車両 20 3 は、駅 H 4 に停車している。このとき車両 20 3 前方領域は、自車両の走行方向前方直近の位置から駅 H 7 までの区間で定められる範囲となる (図 2)。一方、車両 20 3 後方領域は、自車両の走行方向後方直近の位置から駅 H 3 までの区間で定められる範囲となる (図 2)。なお、車両 20 3 前方領域及び車両 20 3 後方領域は、車両 20 3 の走行に追従して移動する。例えば、車両 20 3 が駅 H 4 から駅 H 5 に移動した場合、車両 20 3 前方領域は駅 H 5 から走行方向前方の 3 駅 (駅 H 6 ~ 駅 H 8 (駅 H 8 は不図示)) となり、車両 20 3 後方領域は駅 H 5 から走行方向後方の 3 駅 (駅 H 2 ~ 駅 H 4) となる。

[0037] 図 2 に示す例によると、車両 20 3 前方領域 ($k_f = 3$) には、他の車両 20 2 の 1 車両が存在する。よって密度演算部 101 は、前方密度 D_f を「 $1 / 3$ 」と算出する。車両 20 3 後方領域 ($k_r = 3$) には、他の車両 20 4 の 1 車両が存在する。よって密度演算部 101 は、後方密度 D_r を「 $1 / 3$ 」と算出する。なお、密度演算部 101 が前方密度 D_f を算出するにあたっては、車両 20 3 が走行を予定する経路を先行して走行する車両 20 1 ~ 20 n のみを考慮する。したがって図 2 に示す例において、車両 20 3 の前方密度 D_f の算出には、車両 20 3 が走行しようとする経路 (第一の軌道 3 a) と異なる経路 (第二の軌道 3 b) を走行する車両 20 5 は考慮されない。なお、後方密度 D_r の算出についても、車両 20 3 が走行してきた経路 (第一の軌道 3 a) と異なる経路 (第二の軌道 3 b) を走行する他の車両 20 1

～20nは考慮されない。

[0038] 次に、出発判断部102の機能について説明する。

出発判断部102は、対象車両20iの前方密度 D_f と、後方密度 D_r と、に基づいて、当該対象車両20iの停車駅における出発時刻を調整する。具体的には、前方密度 D_f から後方密度 D_r を差し引いた値である前後密度差 ΔD が所定の密度差閾値 α (α は0以上の値)を上回る場合 ($\Delta D > \alpha$) には、出発判断部102は、前後密度差 ΔD が密度差閾値 α 以下となる条件 ($\Delta D \leq \alpha$) を満たすまで対象車両20iに対する出発指示の送信を保留し、対象車両20iの発車時刻を遅らせる。

[0039] ここで密度差閾値 α が“0”に設定されていたとする。この場合、図2に示す例によれば、出発判断部102は、対象車両20iである車両203について、前方密度 $D_f = 1/3$ 、候補密度 $D_r = 1/3$ より前後密度差 ΔD を「 $\Delta D = 0 (= D_f - D_r)$ 」と算出する。そうすると車両203は、 $\Delta D \leq \alpha (= 0)$ を満たしていることになるので、出発判断部102は、車両203に、予め定められた出発のタイミングで出発指示を送信する。車両203は、当該出発指示を受信して停車駅H4を出発する。

[0040] ここで上述の説明では、出発判断部102は、対象車両20iに対する出発指示の送信を保留する条件を $\Delta D > \alpha$ とし、さらに対象車両20iに対する出発指示を送信する条件も $\Delta D \leq \alpha$ であった。しかし、他の実施形態に係る出発判断部102は、対象車両20iに対する出発指示の送信を保留する条件を $\Delta D > \alpha$ とし、対象車両20iに対する出発指示を送信する条件を、 α と異なる閾値 β を用いて $\Delta D \leq \beta$ ($< \alpha$) としてもよい。

このようにすることで、出発指示が保留される期間がより長く設定されるので、調整を行う頻度を低減することができる。

[0041] (第一の実施形態による運行管理装置の処理フロー)

図3は、本発明の第一の実施形態による運行管理装置の処理フローを示すフローチャート図である。

本実施形態による運行管理装置10は、上述した車両位置取得部100、密

度演算部 101 及び出発判断部 102 を用いて、以下に説明する処理フロー（図 3）を実行する。なお図 3 の処理フローは、所定の駅に停車した対象車両 20i について、出発指示を送信するまでの処理フローを示している。

[0042] 本実施形態による運行管理装置 10 には、乗客が乗車または降車する時間の確保のため、各停車駅において各車両 201 ~ 20n が最低限停止すべき時間である最低停車時間 T_{min} が予め定義されている。運行管理装置 10 の出発判断部 102 は、まず対象車両 20i が停車駅に到着し、その通知を受信してから最低停車時間 T_{min} が経過しているか否かを判定する（ステップ S10）。ここで、最低停車時間 T_{min} が経過していない場合（ステップ S10 にて “NO”）、最低停車時間 T_{min} が経過するまで次のステップに移行しない。

[0043] 最低停車時間 T_{min} が経過した場合（ステップ S10 にて “YES”）、まず運行管理装置 10 の車両位置取得部 100 が、軌道 3 上を走行する各車両 201 ~ 20n の位置情報を各車両 201 ~ 20n から取得する（ステップ S11）。なお上述した通り、各車両 201 ~ 20n は、自車両のタイヤ回転数等、また、軌道 3 に一定間隔で設けられた位置検知装置（不図示）と通信することで、適宜自車両の正確な位置を示す位置情報を取得することができる。ここで位置情報は、例えば軌道 3 上のキロ程で示される情報である。具体的には、各車両 201 ~ 20n は、位置検知装置との通信により、軌道 3 上において当該位置検知装置が設置されている位置（キロ程）を取得し、さらにその通信のタイミングからの経過時間と、走行中の速度等に基づいて自車両の位置（キロ程）を一意に定める。

なお車両位置取得部 100 が各車両 201 ~ 20n の位置情報を取得する手段は上述の態様に限定されない。例えば、GPS（Global Positioning System）に基づいて衛星から各車両 201 ~ 20n が受信する所定の座標情報から各車両 201 ~ 20n の位置を取得してもよい。

[0044] 次に、密度演算部 101 がステップ S11 で取得された各車両 201 ~ 20

n の位置情報に基づいて、対象車両 $20i$ についての前方密度 D_f 、後方密度 D_r を算出する（ステップ $S12$ ）。そして出発判断部 102 が、ステップ $S12$ で算出された前方密度 D_f 、後方密度 D_r に基づいて前後密度差 ΔD を算出し、さらに、前後密度差 ΔD が密度差閾値 α 以下となっているか否かを判定する（ステップ $S13$ ）。ここで、前後密度差 ΔD が密度差閾値 α 以下となる条件を満たしていない場合（ステップ $S13$ にて “NO”）には、ステップ $S11$ に戻って再度位置情報の取得、並びに、前方密度 D_f 、後方密度 D_r の算出処理を行う。一方、前後密度差 ΔD が密度差閾値 α 以下となる条件を満たした場合（ステップ $S13$ にて “YES”）、出発判断部 102 は、直ちに対象車両 $20i$ に対し出発指示を送信する（ステップ $S14$ ）。

[0045] 運行管理装置 10 は、上述の処理フローを実行することで、前後密度差 ΔD が密度差閾値 α よりも大きい場合には対象車両 $20i$ の出発を保留し、前後密度差 ΔD が密度差閾値 α よりも小さくなった時点で対象車両 $20i$ に出発指示を送信する、という処理を実現する。

[0046] なお、上述のフローチャートの例では、運行管理装置 10 の出発判断部 102 は、まずステップ $S10$ にて最低停車時間 T_{min} が経過しているか否かを判定し、最低停車時間 T_{min} が経過したことを検知してから、前方密度 D_f 、後方密度 D_r 及び前後密度差 ΔD の判定による出発判断（ステップ $S11$ ～ステップ $S13$ ）を行っている。しかし、他の実施形態においては、この処理の順に限定されることはない。例えば、運行管理装置 10 は、最低停車時間 T_{min} を経過したか否かの判定（ステップ $S10$ ）を、前後密度差 ΔD の判定を行った後に行ってもよいし、前後密度差 ΔD の判定と同時並列で行ってもよい。より具体的には、例えば運行管理装置 10 は、まずステップ $S11$ 、 $S12$ 、ステップ $S13$ と処理を行い、ステップ $S13$ にて前後密度差 ΔD の判定が NO の場合はこの処理を繰り返す。そして、ステップ $S13$ で YES となった場合には、その後に、最低停車時間 T_{min} を経過したか否かの判定（ステップ $S10$ ）を行い、さらにここで NO となった場

合には、再度ステップS 1 1、S 1 2、S 1 3を実行する処理を行ってもよい。

このようにすることで、最低停車時間 T_{min} を待つことなく前後密度比較の処理（ステップS 1 1～S 1 3）を進められるので、当該処理自体に要する時間を T_{min} の待ち時間に含ませることができ、出発指示送信の遅れをなくすることができる。

[0047]（第一の実施形態による運行管理装置の効果）

図4 A、図4 Bは、本発明の第一の実施形態による車両交通システムの効果を説明する第一、第二の図である。図4 A、図4 Bに示す各車両2 0 1～2 0 4は、第一の軌道3 aを紙面左側から右側に向かって走行する車両である。また図5 A、図5 Bは、本発明の第一の実施形態による車両交通システムの効果を説明する第三、第四の図である。図5 A、図5 Bに示す各車両2 0 1～2 0 5は、図4 A、図4 Bと同様、第一の軌道3 aを紙面左側から右側に向かって走行する車両である。

[0048] 本実施形態による車両交通システム1の運行管理装置1 0は、上述した車両位置取得部1 0 0、密度演算部1 0 1及び出発判断部1 0 2の各機能部の処理に基づいて、車両2 0 1～2 0 nが等間隔で運行するような運行管理を行う。ここで、本実施形態による運行管理装置1 0の運行管理による具体的な効果について、図4 A、図4 B及び図5 A、図5 Bを参照しながら説明する。なお図4 A、図4 B、図5 A、図5 Bを用いて説明する例についても、図2に示した例と同様に、対象車両2 0 iとして車両2 0 3の運行に着目し、 $k_f = k_r = 3$ 、 $\alpha = 0$ と設定されているものとする。

[0049] まず、図4 A、図4 Bを参照しながら、前方密度 D_f を考慮して運行管理を行う効果について説明する。

図4 Aには、車両交通システム1において、第一の軌道3 aを走行する車両2 0 1の走行方向前方を走行する車両（不図示）に何らかのトラブルが生じ、出発時刻が遅延した状態を示している。図4 Aに示すように、出発時刻の遅延の影響で、車両2 0 1と車両2 0 2の車両間隔は通常時よりも短くなっ

ている。ここで、図4 Aに示す車両203に着目する。密度演算部101は、車両位置取得部100を介して取得した位置情報に基づいて、車両203前方領域に車両201及び車両202の2車両が存在していることを検知する。同様に、密度演算部101は、取得した位置情報に基づいて、車両203後方領域に車両204の1車両が存在していることを検知する。そして、密度演算部101は、車両203についての前方密度 D_f を「 $2/3$ 」と、後方密度 D_r を「 $1/3$ 」と算出する。

[0050] 次に、出発判断部102は、密度演算部101によって算出された前方密度 D_f と後方密度 D_r から、前後密度差 ΔD ($=D_f - D_r$) を「 $\Delta D = +1/3$ 」と算出する。よって、出発判断部102は、前後密度差 ΔD ($=+1/3$) が密度差閾値 α ($=0$) 以下となる条件 ($\Delta D \leq \alpha$) を満たしていないので、車両203に対する出発指示の送信を保留する。図4 Aに示す例では、駅H5に停車中の他の車両201～20nは存在していないが、車両203は、駅H5に進行することなくあえて停車駅H4で待機する。

[0051] 次に、車両交通システム1が図4 Aに示す状態から、図4 Bに示す状態に移したとする。ここで図4 Bは、車両203の走行方向前方を車両201が駅H7を出発した直後の状態を示している。そうすると、車両203前方領域における車両数は車両202の1車両のみとなる。したがって密度演算部101は、車両203の前方密度 D_f を「 $1/3$ 」と算出する。続いて出発判断部102は、前後密度差 ΔD ($=D_f - D_r$) を「 $\Delta D = 0$ 」と算出する。よって出発判断部102は、前後密度差 ΔD ($=0$) が密度差閾値 α ($=0$) 以下となる条件 ($\Delta D \leq \alpha$) を満たすため、直ちに車両203に対する出発指示を送信する（この時点で最低停車時間 T_{min} は経過しているものとする）。車両203は、出発判断部102からの出発指示を受信して停車駅H4を出発する。

[0052] 本実施形態による車両交通システム1によれば、車両トラブル等により車両201～20nの運行が不均一となった場合（図4 A）に、運行管理装置10が上述のような運行管理を行うことで、車両間隔を迅速に均一化すること

が可能となる。例えば、従来用いられていた運行管理装置の場合、車両 203 は、図 4 A のように前方の車両間隔が密となっていた場合であっても、定められたダイヤに従って駅 H 4 から駅 H 5 に向けて出発する。その結果、車両 201 ~ 203 がより過密な状態（過密状態）となってしまう、輸送サービス提供の不均一性を助長させてしまう。また、一旦そのような過密状態に陥ってしまうと、通常の車両間隔に復帰するまでに時間を要してしまう。

[0053] これに対し、本実施形態による車両交通システム 1 によれば、図 4 A、図 4 B に示す例において、密度演算部 101 が、車両 203 前方領域の範囲内にある他の車両 201、202 の疎密の状態を検知する。そしてその領域において“密”となっている場合には、出発判断部 102 は、次の駅が空いていたとしても直ちに車両 203 の出発を保留し、より過密な状態（過密状態）に陥ってしまうのを未然に回避することができる。また車両 203 の前方で遅延が生じている場合、従来の運行管理装置によれば、車両 203 は、前方直近の車両 202 との車両間隔に基づいて発車時刻の調整がなされるが、本実施形態による車両交通システム 1 は、図 4 B の通り、車両 201 が駅 H 7 を出発したことが直接のきっかけとなって車両 203 の出発が決定されている。つまり、車両 203 前方領域において車両が“密”な状態を脱したと判断すると、出発判断部 102 は、直近を走行する車両 202 との車両間隔に関わらず、直ちに車両 203 に出発指示を送信する。この処理には、仮に車両 203 と車両 202 との車両間隔が小さかったとしても、その場合は車両 202 と車両 201 との車両間隔にはむしろ余裕があり、車両 202 は滞りなく進むはず、という予測を暗に含んでいる。

[0054] すなわち本実施形態による車両交通システム 1 は、対象車両 20 i 前方領域において“密”な状態となっていることを検知した場合、直ちに出発を遅延させることで、より過密な状態（過密状態）に陥ってしまうのを未然に回避する。また、車両 20 i 前方領域において“密”な状態を脱したと判断すれば、対象車両 20 i の走行方向前方の直近を走行する車両 201 ~ 20 n との車両間隔が広がることを待たずして対象車両 20 i を発車させる。このよ

うに、本実施形態による車両交通システム1は、対象車両20*i*について車両20*i*前方領域における車両の疎密に基づいて、各車両201～20*n*が過密状態に陥る前の段階から対象車両20*i*の出発/停止を判断することで、輸送サービスの提供が不均一となった場合に、これを解消するまでの時間を早めることができる。

[0055] 次に、図5A、図5Bを参照しながら、後方密度 D_r を考慮して運行管理を行う効果について説明する。

図5Aには、車両交通システム1において、車両203前方領域に車両201、202の2車両が、車両203後方領域に車両204、205の2車両が走行している状態を示している。ここで、車両203についての前方密度 D_f 及び後方密度 D_r はそれぞれ「 $D_f = 2/3$ 」、「 $D_r = 2/3$ 」であり、車両203は、発車条件 $\Delta D \leq \alpha$ ($=0$)を満たしている。したがって出発判断部102は、最低停車時間 T_{min} を経過した後、車両203に対して出発指示を送信する。

[0056] ここで、車両203の後方に位置する車両205（駅H1に停車中）において発車時刻の遅延が生じたとする。すると車両205以外の車両が走行した結果、各車両201～205は、図5Bに示すような状態となる。図5Bに示すように、遅延の結果、車両205は車両203後方領域から外れ、車両204のみが含まれるため、車両203についての後方密度 D_r が「 $D_r = 1/3$ 」となる。そうすると、前方密度 D_f 及び後方密度 D_r はそれぞれ「 $D_f = 2/3$ 」、「 $D_r = 1/3$ 」となり、車両203は、発車条件 $\Delta D \leq \alpha$ ($=0$)を満たさなくなる。したがって出発判断部102は、停車駅H5において車両203に対しての出発指示の送信を保留する。

[0057] このように、図5A、図5Bに示す例において車両203は、車両203後方領域の範囲内にある他の車両204、205の疎密の状態を検知して、その領域において“疎”となっている場合には直ちに出発を保留し、より過疎な状態（過疎状態）に陥ってしまうのを未然に回避することができる。また車両203の後方で遅延が生じている場合、従来の運行管理装置によれば、

車両 203 は、後方直近の車両 204 との車両間隔に基づいて発車時刻の調整がなされるが、本実施形態による車両交通システム 1 によれば、図 5 B の状態の後、車両 205 が駅 H2 に到着すれば、車両 204 との車両間隔に関わらず車両 203 の出発が決定される。

[0058] このように、本実施形態による車両交通システム 1 は、対象車両 20 i について車両 20 i 後方領域における車両の疎密に基づいて、各車両 20 1 ~ 20 n が過疎状態に陥る前の段階から対象車両 20 i の出発／停止を判断することで、輸送サービスの提供が不均一となった場合に、これを解消するまでの時間を早めることができる。

[0059] なお図 5 B に示す例において、車両 203 が停止した結果、車両 205 が車両 203 後方領域に属するよりも先に、先行する車両 201 が車両 203 前方領域を脱した場合について説明する。この場合、車両 203 についての前方密度 D_f 、後方密度 D_r は、それぞれ「 $D_f = 1/3$ 」（車両 202 の 1 台のみ）、「 $D_r = 1/3$ 」（車両 204 の 1 台のみ）となる。したがって、この場合でも前後密度差 ΔD が密度差閾値 α 以下となる条件（ $\Delta D \leq \alpha$ ）を満たすため、出発判断部 102 は直ちに車両 203 に対する出発指示を送信する（この時点で最低停車時間 T_{min} は経過しているものとする）。

[0060] ここで、図 5 B において車両 203 後方領域が過疎な状態（過疎状態）となるのを防止するために出発判断部 102 が車両 203 の出発を保留した結果、今度は、車両 203 前方領域が過疎な状態に陥ってしまうことが懸念される。よって出発判断部 102 は、上述の通り、車両 205 が車両 203 後方領域に属するよりも先に、先行する車両 201 が車両 203 前方領域を脱した場合であっても車両 203 に出発指示を送信し、前方密度 D_f と後方密度 D_r が極力均等となるように制御する。このように、出発判断部 102 が前方密度 D_f と後方密度 D_r の両方の情報に基づいて出発指示の送信タイミングを判断することで、輸送サービスの提供が不均一となるのをより効果的に抑制することができる。

[0061] 以上、本発明の第一の実施形態による車両交通システム 1 によれば、車両に

よる輸送サービスの提供が不均一となった場合に、過密状態、過疎状態に陥る前段階から各車両 $201 \sim 20n$ の出発時刻の調整を行うので、これをより迅速に解消する効果が得られる。

また、この車両交通システム 1 によれば、各車両が、過密状態、過疎状態に陥らないように出発時刻を調整するので、例えば一部の車両が故障などにより運行が困難となった場合にも、他の車両は、その故障車両の停止に合わせて、互いに過密状態、過疎状態とならない車両間隔を維持しながら待機することができる。

[0062] なお、上述の説明で用いた事例（図 4 A、図 4 B、図 5 A、図 5 B）は説明の便宜のために簡略化されたものであって、本実施形態による車両交通システム 1 の適用がこれらの事例に限定されるものではない。例えば上述の説明において、密度演算部 101 は、対象車両 $20i$ の前方 3 駅、後方 3 駅（ $k_f = k_r = 3$ ）の範囲内で前方密度 D_f 、後方密度 D_r を算出したが、駅の数が増加する路線の場合、より広い範囲、例えば前方 10 駅、後方 10 駅（ $k_f = k_r = 10$ ）等と設定される場合があってもよい。また k_f と k_r の値が異なる場合があってもよい。

[0063] また本実施形態による密度演算部 101 は、対象車両 $20i$ が存在する位置の走行方向前方 k_f 駅分、または後方 k_r 駅分の範囲内に存在する車両数で前方密度 D_f 、後方密度 D_r を算出したが、本発明の他の実施形態による密度演算部 101 はこの態様に限定されない。他の実施形態による密度演算部 101 は、例えば、軌道 3 における所定の路線距離（例えば対象車両 $20i$ の前方 10 km 及び後方 10 km）内に存在する車両数で前方密度 D_f 、後方密度 D_r を算出してもよい。

同様に、密度演算部 101 は、軌道 3 において一定間隔で区切られた所定の路線区間（例えば対象車両 $20i$ の前方 10 区間及び後方 10 区間）内に存在する車両数で前方密度 D_f 、後方密度 D_r を算出してもよい。このようにすれば、軌道 3 に設置される駅ごとの間隔が著しく不均一であった場合であっても、実際の路線距離または路線区間における車両の密度に基づいて、適

切に発車時刻の調整を行うことができる。

また、密度演算部 101 は、例えば、対象車両 20 i の走行方向前方（後方）直近から数えて 3 車両目の車両との車間距離 L を算出し、この車間距離 L に基づいて対象車両 20 i についての前方密度 D_f （後方密度 D_r ）を算出してもよい。この場合、密度演算部 101 は、例えば前方密度 D_f （後方密度 D_r ）を「 D_f （ D_r ） = $3 / L$ 」と算出してもよい。

さらに、密度演算部 101 は、対象車両 20 i の走行方向前方（後方）直近から数えて 1 車両目の車両との車間距離 L_1 、2 車両目の車両との車間距離 L_2 、及び、3 車両目の車両との車間距離 L_3 を求め、前方密度 D_f （後方密度 D_r ）を D_f （ D_r ） = $1 / L_1 + 1 / L_2 + 1 / L_3$ と算出してもよい。このようにすることで、対象車両 20 i の前方及び後方に位置する車両 1 台ごとの距離まで考慮した密度比較を行うことができ、より詳細に出発のタイミングを制御することができる。

[0064] さらに、本発明の他の実施形態による車両交通システム 1 の出発判断部 102 の処理は、前方密度 D_f 及び後方密度 D_r 両方に基づいて出発時刻を調整する態様に限定されない。すなわち、第一の実施形態による出発判断部 102 は、前後密度差 ΔD （= $D_f - D_r$ ）に基づいて、対象車両 20 i の停車駅における出発時刻を調整したが、当該他の実施形態による出発判断部 102 は、例えば、前方密度 D_f 、後方密度 D_r の何れか一方のみに基づいて対象車両 20 i の出発時刻を調整してもよい。

[0065] 例えば出発判断部 102 は、前方密度 D_f と、所定の前方密度閾値 D_{fth} （ D_{fth} は 0 以上の値）との大小関係に基づいて、対象車両 20 i の停車駅における出発時刻を調整してもよい。より具体的には、出発判断部 102 は、前方密度 D_f が所定の前方密度閾値 D_{fth} よりも高い場合（ $D_f > D_{fth}$ ）には、前方密度 D_f が前方密度閾値 D_{fth} 以下となるまで出発指示の送信を保留し、対象車両 20 i の停車駅における出発時刻を遅らせてもよい。逆に、出発判断部 102 は、前方密度 D_f が所定の前方密度閾値 D_{fth} よりも低い場合（ $D_f < D_{fth}$ ）には、前方密度 D_f が前方密度閾値

D_{fth} 以上となるまで出発指示の送信時刻を早めて、対象車両 $20i$ の停車駅における出発時刻を早めてもよい。

[0066] 同様に出発判断部 102 は、後方密度 D_r と、所定の後方密度閾値 D_{rth} (D_{rth} は 0 以上の値) との大小関係に基づいて、対象車両 $20i$ の停車駅における出発時刻を調整してもよい。より具体的には、出発判断部 102 は、後方密度 D_r が所定の後方密度閾値 D_{rth} よりも低い場合 ($D_r < D_{rth}$) には、後方密度 D_r が後方密度閾値 D_{rth} 以上となるまで出発指示の送信を保留し、対象車両 $20i$ の停車駅における出発時刻を遅らせてもよい。逆に、出発判断部 102 は、後方密度 D_r が所定の後方密度閾値 D_{rth} よりも高い場合 ($D_r > D_{rth}$) には、後方密度 D_r が後方密度閾値 D_{rth} 以下となるまで出発指示の送信時刻を早めて、対象車両 $20i$ の停車駅における出発時刻を早めてもよい。

[0067] このように、前方密度 D_f または後方密度 D_r いずれか一方のみに基づきながら各車両 $201 \sim 20n$ の運行管理を行う場合であっても、輸送サービスの提供が不均一となった場合に、これを解消するまでの時間を早める効果は得られる。また、各車両 $201 \sim 20n$ の運行管理にあたり参照すべき情報が前方密度 D_f または後方密度 D_r いずれか一方のみでよいから、車両位置取得部 100 、密度演算部 101 及び出発判断部 102 それぞれにおける処理の負荷を軽減することができる。

[0068] また本実施形態による運行管理装置 10 は、対象車両 $20i$ の停車駅における発車時刻を調整することで、各車両 $201 \sim 20n$ の車両間隔を均一化する作用を得たが、本実施形態による運行管理装置 10 は、各車両 $201 \sim 20n$ の車両間隔を均一化するにあたり、この処理に限定されることはない。例えば運行管理装置 10 は、各車両 $201 \sim 20n$ の車両間隔を均一化するにあたって、停車駅の発車時刻を調整する代わりに、対象車両 $20i$ の走行速度を低速化させ、または、駅間において停車させてもよい。

[0069] <第二の実施形態>

次に、本発明の第二の実施形態による車両交通システムについて説明する。

第二の実施形態による車両交通システム 1 の機能構成は、第一の実施形態による車両交通システム 1（図 1）と同一であるため、その説明を省略する。

[0070] 第二の実施形態による車両交通システム 1 が、第一の実施形態と異なる点は、運行管理装置 10 が実行する処理フローである。ここで、第一の実施形態による運行管理装置 10 は、上述した通り、前方密度 D_f と後方密度 D_r の両方の情報に基づいて、前後密度差 ΔD が所定の密度差閾値 α 以下 ($\Delta D \leq \alpha$) となるのを待ってから、対象車両 20 i に発車指示を送信する、という処理フローを実行する。これに対し、第二の実施形態による出発判断部 102 は、前方密度 D_f と後方密度 D_r から算出される前後密度差 ΔD の値から、対象車両 20 i がその停車駅で待機すべき時間（待機時間 T_w ）を算出し、待機時間 T_w が経過したことをもって出発指示を送信する。

[0071] 出発判断部 102 は、例えば前後密度差 ΔD に基づいて、式（1）のように待機時間 T_w を算出する。

[0072] [数1]

$$\begin{aligned} T_w &= q \cdot \Delta D & (\Delta D \geq 0) \\ T_w &= 0 & (\Delta D < 0) \end{aligned} \quad \dots (1)$$

[0073] ここで値 q は 0 以上の値をとる所定の係数である。式（1）によれば、対象車両 20 i についての前後密度差 ΔD が大きいほど、すなわち後方に比べて前方の方が“密”となっているほど、対象車両 20 i の待機時間 T_w が大きくなる。このようにすれば、対象車両 20 i の前後において他の車両 201 ~ 20 n の疎密が小さい場合は待機時間 T_w が小さく設定され、他の車両 201 ~ 20 n の疎密が大きい場合はこれに応じて待機時間 T_w が大きく設定され、車両 201 ~ 20 n の運行の不均一性を解消する効果が得られる。なお前後密度差 ΔD が 0 未満の場合（すなわち前方に比べて後方の方が“密”となっている場合）は待機を行わない（ $T_w = 0$ ）。また係数 q は、経験則や運行シミュレーションの結果等から求められる最適な定数を選択してもよい。

[0074] また係数 q は、例えば、対象車両 20*i* の「前方車間距離 L_f 」及び「後方車間距離 L_r 」に基づく変数であってもよい。ここで「前方車間距離 L_f 」とは、対象車両 20*i* と、その走行方向前方の直近を走行する他の車両 201～20*n* との車間距離である。また「後方車間距離 L_r 」とは、対象車両 20*i* と、その走行方向後方の直近を走行する他の車両 201～20*n* との車間距離である。この場合、出発判断部 102 は、この前方車間距離 L_f と後方車間距離 L_r に基づいて、式 (2) のように係数 q を算出してもよい。

[0075] [数2]

$$\begin{aligned} q &= q' \cdot (L_f - L_r) & (L_f - L_r \geq 0) \\ q &= 0 & (L_f - L_r < 0) \end{aligned} \quad \dots (2)$$

[0076] ここで値 q' は 0 以上の値をとる所定の係数である。式 (2) によれば、前方車間距離 L_f が後方車間距離 L_r に比べて大きいほど係数 q の値が大きくなり、待機時間 T_w が増加する傾向となる。逆に、前方車間距離 L_f が後方車間距離 L_r に比べて小さい場合は係数 q の値は小さくなり、待機時間 T_w が減少する傾向となる。さらに前方車間距離 L_f よりも後方車間距離 L_r の方が大きい場合には係数 q は 0 とし、この場合は待機を行わない ($T_w = 0$)。出発判断部 102 が、このようなアルゴリズムに従って、対象車両 20*i* の待機時間 T_w を決定する処理の効果については後述する。

[0077] (第二の実施形態による運行管理装置の処理フロー)

図 6 は、本発明の第二の実施形態による運行管理装置の処理フローを示すフローチャート図である。

本実施形態による運行管理装置 10 は、以下に説明する処理フロー (図 6) を実行する。なお図 6 の処理フローは、所定の駅に停車した対象車両 20*i* について、出発指示を送信するまでの処理フローを示している。

[0078] まず運行管理装置 10 の車両位置取得部 100 が、軌道 3 上を走行する各車両 201～20*n* の位置情報を取得する (ステップ S21)。

次に、密度演算部 101 がステップ S21 で取得された各車両 201～20

n の位置情報に基づいて、対象車両 $20i$ についての前方密度 D_f 、後方密度 D_r を算出する。また、密度演算部 101 は、対象車両 $20i$ の前方車間距離 L_f 及び後方車間距離 L_r を取得する（ステップ $S22$ ）。そして出発判断部 102 が、ステップ $S22$ で算出された前方密度 D_f 、後方密度 D_r に基づいて前後密度差 ΔD を算出し、前方車間距離 L_f 及び後方車間距離 L_r に基づいて係数 q （式（２））を算出する。そして出発判断部 102 は、待機時間 T_w を式（１）に基づいて算出する（ステップ $S23$ ）。ここで出発判断部 102 は、算出された待機時間 T_w が、乗客が乗車または降車する時間の確保のために定められた最低停車時間 T_{min} を下回る場合は、出発判断部 102 は、最低停車時間 T_{min} を待機時間 T_w と設定する。

[0079] 次に、出発判断部 102 は、まず対象車両 $20i$ が停車駅に到着してから待機時間 T_w が経過しているか否かを判定する（ステップ $S24$ ）。ここで、待機時間 T_w が経過していない場合（ステップ $S24$ にて“NO”）、待機時間 T_w が経過するまで次のステップに移行しない。そして、待機時間 T_w が経過した場合（ステップ $S24$ にて“YES”）、出発判断部 102 は、対象車両 $20i$ に対し出発指示を送信する（ステップ $S25$ ）。

[0080] 運行管理装置 10 は、上述の処理フローを実行することで、前後密度差 ΔD 及び前方車間距離 L_f 、後方車間距離 L_r に基づいて所定の計算式により求めた待機時間 T_w が経過した時点で対象車両 $20i$ に出発指示を送信する、という処理を実現する。

[0081] 以上のような処理フロー（図 6）によれば、運行管理装置 10 は、車両 $201 \sim 20n$ の位置情報の取得（ステップ $S21$ ）、各種パラメータ（ D_f 、 D_r 、 L_f 、 L_r ）の算出（ステップ $S22$ ）を行った後は、これらに依じて算出された待機時間 T_w だけ待機する。よって、本実施形態による運行管理装置 10 は、対象車両 $20i$ の出発時刻の調整の処理にあたり、車両位置取得部 100 による車両 $201 \sim 20n$ の位置情報の取得、密度演算部 101 による各種パラメータ（ D_f 、 D_r 、 L_f 、 L_r ）の算出の処理を 1 回行うのみでよい。したがって、第一の実施形態による運行管理装置 10 のよう

に位置情報の取得及び各種パラメータ (D_f 、 D_r) の算出を繰り返し行う (図3) ことはしないため、第一の実施形態よりも運行管理装置10の処理負荷を軽減することができる。

[0082] (第二の実施形態による運行管理装置の効果)

図7は、本発明の第二の実施形態による車両交通システムの効果を説明する図である。ここで図7に示す各車両201～204は、第一の軌道3aを紙面左側から右側に向かって走行する車両である。また図7を用いて説明する例についても、図2、図4A、図4B、図5A、図5Bに示した例と同様に、対象車両20iとして車両203の運行に着目し、 $k_f = k_r = 3$ と設定されているものとする。

[0083] 図7を参照しながら、前方車間距離 L_f 及び後方車間距離 L_r を考慮して運行管理を行う効果について説明する。

図7に示すように、駅H4に停車中の車両203について、車両203前方領域には車両201と車両202の2車両が存在している。なお、これらの車両間隔は通常時よりも短くなっている。また図7に示すように、車両202は車両203との車両間隔が広がっており、車両203とその走行方向前方の直近の車両202との距離である前方車間距離 L_f は比較的大きい状態となっている。一方、車両203後方領域には車両204の1車両のみが存在している。また図7に示す通り、車両204は車両203との車両間隔が狭くなっており、車両203とその走行方向後方の直近の車両204との距離である後方車間距離 L_r は、前方車間距離 L_f よりも小さい状態 ($L_f - L_r < 0$) となっている。

[0084] ここで出発判断部102が、単に車両203の前方密度 D_f 、後方密度 D_r のみに基づいて待機時間 T_w を算出する場合、図7に示す状態においては前後密度差 ΔD がプラスの値となるため、車両203を駅H4にて所定の待機時間 T_w だけ待機させようとする (式(1))。しかし図7の場合、実際には、車両203の前方車間距離 L_f は後方車間距離 L_r よりも大きく、車両203はむしろ後続の車両204との車両間隔が小さい状態となっている。

このような状態で、車両 203 に対し待機時間 T_w を発生させてしまうと、車両 203 の後方でより過密な状態（過密状態）を助長させてしまう場合がある。したがってこのような場合は、前方密度 D_f が高い場合であっても待機時間 T_w を 0 にして、車両 203 を早急に出発させる方が望ましい。つまり、本実施形態による運行管理装置 10 は、前方密度 D_f が高いにも関わらず、その走行方向前方における直近の車両との車両間隔が広がっているというケースにも適切な運行を選択することができる。

[0085] このように、待機時間 T_w を算出するのに、前方密度 D_f 及び後方密度 D_r のみならず、さらに後方車両間距離 L_r 、前方車両間距離 L_f に応じた重みづけが待機時間 T_w になされることで、輸送サービスの提供が不均一となった場合に、よりの確に待機時間を判断し、迅速に均一化することができる。

[0086] <第三の実施形態>

次に、本発明の第三の実施形態による車両交通システムについて説明する。図 8 は、本発明の第三の実施形態による車両交通システムの機能構成を示す図である。なお、第三の実施形態による車両交通システム 1 の機能構成のうち、第一の実施形態による車両交通システム 1（図 1）と同一の機能構成については、同一の符号を付してその説明を省略する。

[0087] 図 8 に示すように、本実施形態による車両交通システム 1 の運行管理装置 10 は、第一の実施形態による車両交通システム 1 の各機能構成に加え、さらに経路判断部 103 を備える構成となっている。ここで経路判断部 103 は、各車両 201～20n に対し、軌道 3 上における走行経路を指定する機能部である。経路判断部 103 は運行状況に応じて、各車両 201～20n に所定の経路情報を送信する。ここで経路情報とは、軌道 3 に分岐等がある場合において、そのうちの一の経路を特定する情報である。車両 201～20n は、当該経路情報を受信するとその経路情報に指定された経路を選択して走行する。また経路判断部 103 は、密度演算部 101 にも同じ経路情報を出力する。例えば、所定の対象車両 20i に送信された経路情報を入力した密度演算部 101 は、当該経路情報で指定された走行経路に基づいて、車両

20 i 前方領域及び車両 20 i 後方領域を設定する。そして密度演算部 101 は、ここで設定された車両 20 i 前方領域に基づいて前方密度 D_f を、車両 20 i 後方領域に基づいて後方領域 D_r を算出する。このようにすることで、対象車両 20 i の走行経路が経路判断部 103 によって変更されたとき、密度演算部 101 はその都度新たに設定された走行経路に基づいて対象車両 20 i についての前方密度 D_f 及び後方密度 D_r を算出することができる。

[0088] また本実施形態による車両位置取得部 100 は、複数の車両 201 ~ 20 n の走行方向を取得する機能を有する。具体的には、車両位置取得部 100 は、まず各車両 201 ~ 20 n から受信する位置情報が示す車両 201 ~ 20 n の位置の推移を検知する。さらに車両位置取得部 100 は、経路判断部 103 から各車両 201 ~ 20 n の経路情報を参照し、その経路における車両 201 ~ 20 n の位置の推移から、各車両 201 ~ 20 n の走行方向を「上り」または「下り」などと判断する。なお、車両位置取得部 100 が各車両 201 ~ 20 n の走行方向を取得する手段は、上述の手段に限定されることなく、車両 201 ~ 20 n の走行方向の情報を得る効果があればいかなる手段であってもよい。

[0089] 図 9 A、図 9 B は、本発明の第三の実施形態による車両交通システムの効果を説明する第一、第二の図である。なお図 9 A、図 9 B に示す車両 201 ~ 204 は、第一の軌道 3 a を紙面左側から右側に向かって走行する車両である。一方、車両 205 は、第一の軌道 3 a と異なる軌道である第二の軌道 3 b を紙面右側から左側に向かって走行する車両である。また図 9 A、図 9 B を用いて説明する例についても、図 2 等にした例と同様に、対象車両 20 i として車両 203 の運行に着目し、さらに $k_f = k_r = 3$ 、 $\alpha = 0$ と設定されているものとする。また、第三の実施形態による運行管理装置 10 の処理フローは第一の実施形態における処理フロー（図 3）と同一であるとする。

[0090] 図 9 A、図 9 B を参照しながら、経路の変更を考慮して運行管理を行う効果

について説明する。

図 9 A に示すように、駅 H 4 に停車中の車両 2 0 3 の走行方向前方には、第一の軌道 3 a 上において駅 H 7 に停車中の車両 2 0 1 と駅 H 5 に停車中の車両 2 0 2 の 2 車両が存在している。また、車両 2 0 3 の走行方向後方（車両 2 0 3 後方領域）には車両 2 0 4 の 1 車両のみが存在している。さらに、車両 2 0 3 の走行方向前方の駅 H 5 には、第二の軌道 3 b 上を車両 2 0 3 とは逆方向に走行する車両 2 0 5 が停車している。

[0091] 図 9 A に示すように、車両 2 0 3 の走行方向前方における直近の車両 2 0 2 が車両故障により駅 H 5 で運行不能になったとする。そうすると車両 2 0 3 は、最初に設定されていた第一の軌道 3 a 上を進む経路を通過することができなくなる。ここで経路判断部 1 0 3 は、車両 2 0 3 の運行を継続すべく、車両 2 0 3 に対して新たな経路（経路 A）を示す経路情報を送信する。ここで経路判断部 1 0 3 は例えば、図 9 A に示すように、駅 H 4 と駅 H 5 の間の分岐 3 c を通過して第二の軌道 3 b に進入し、駅 H 5 と駅 H 6 の間の分岐 3 c を通過して第一の軌道 3 a に戻る経路（経路 A）ように設定される。つまり経路判断部 1 0 3 は、車両 2 0 3 に対し、故障のため運行できない車両 2 0 2 を迂回する経路（経路 A）を示す経路情報を送信する。

[0092] 次に経路判断部 1 0 3 は、密度演算部 1 0 1 に対しても同一の経路（経路 A）を示す経路情報を出力する。密度演算部 1 0 1 はこの経路情報を入力すると、車両 2 0 3 の経路が変更されたことを検知する。そして密度演算部 1 0 1 は、車両 2 0 3 に対し新たに設定された経路についての車両 2 0 3 前方領域を再設定する。ここで車両 2 0 3 前方領域は、新たに設定された経路 A に応じて再設定される。すなわち車両 2 0 3 前方領域は、図 9 A に示すように、駅 H 4 と駅 H 5 の間の分岐 3 c を通過して第二の軌道 3 b に進入し、駅 H 5 と駅 H 6 の間の分岐 3 c を通過して第一の軌道 3 a に戻る経路に沿った走行方向前方 3 駅分の範囲となる。

[0093] 密度演算部 1 0 1 は、車両 2 0 3 前方領域を再設定すると直ちに新たに設定された車両 2 0 3 前方領域に基づく前方密度 D_f を算出する。ここで再設定

された車両 203 前方領域には、図 9 A に示すように、駅 H 7 に停車中の車両 201 と、第二の軌道 3 b 上を走行する車両 205 が含まれる。よって密度演算部 101 は、前方密度 D_f を「 $2/3$ 」と算出する。この場合、後方密度 D_r が「 $1/3$ 」なので車両 203 は駅 H 4 で待機する。

[0094] 次に図 9 B に示すように、車両 205 が駅 H 5 を出発し、経路 B に沿って駅 H 4 に向けて走行したとする。そうすると車両 205 は、車両 203 前方領域から外れ、車両 203 前方領域には車両 201 のみが属する。その結果、前方密度 D_f が $1/3$ となり、車両 203 は経路 A に沿って運行を再開する。

[0095] このように、本実施形態による経路判断部 103 が、密度演算部 101 に対し、変更された経路を示す経路情報を逐次出力することで、密度演算部 101 が、新たに選択された経路についての前方密度 D_f を算出することができる。したがって各車両 201 ~ 20 n は、経路の変更が指示された場合であっても、新たに算出される前方密度 D_f 、後方密度 D_r に基づいて車両間隔が均一となるように出発時刻が調整される。

[0096] なお、本実施形態による車両交通システム 1 はさらに次の機能を有しているもよい。

具体的には、車両位置取得部 100 が、複数の車両 201 ~ 20 n 位置情報を取得するとともに各々の車両 201 ~ 20 n の走行方向を示す走行方向情報を取得する。そして密度演算部 101 が、当該走行方向情報を入力するとともに、対象車両 20 i が走行する軌道 3 上の走行方向前方において、対象車両 20 i の走行方向と逆方向に走行する車両が存在するか否かを判定する。そして運行管理装置 10 が、対象車両 20 i の走行方向と逆方向に走行する車両が存在すると判定した場合には、対象車両 20 i についての前方密度 D_f を高める所定の補正処理を行う。ここで図 9 A、図 9 B の例で説明すると、対象車両 20 i は車両 203 であり、「対象車両 20 i の走行方向と逆方向に走行する車両」とは車両 205 である。

[0097] ここで、図 9 A、図 9 B に示す例では、車両 203 が駅 H 4 にて停車中に、

車両 205 が経路 B に沿って走行して車両 203 前方領域から外れた結果、車両 203 の前方密度 D_f が下がり、車両 203 が駅 H4 を出発することができる、と説明した。しかし図 9 A に示す例では、上記説明の他、車両 205 が駅 H5 を出発するよりも先に車両 201 が駅 H7 を出発した場合であっても、車両 203 の前方密度 D_f が下がり、車両 203 が駅 H4 を出発することができてしまう。この場合、車両 203 の走行方向前方には逆方向に走行する車両 205 が存在しているため、このまま車両 203 が運行を開始するのは危険であり、本来は回避されるべきである。

[0098] したがって、本実施形態による密度演算部 101 は、車両 203 の走行方向と逆方向に走行する車両 205 が存在すると判定した場合には、前方密度 D_f を高める補正を行う。すなわち、密度演算部 101 は、車両 205 についての車両数のカウントを 1 車両より大きくなるような補正処理を行う。図 9 A、図 9 B の例で説明すると、例えば、密度演算部 101 は、車両 203 の逆方向に走行する車両 205 については、1 車両ではなく 4 車両分の車両が存在するものとみなす補正処理を行って前方密度 D_f の算出を行う。このようにすれば、前方密度 D_f は車両 205 の 1 車両が存在する限り最低でも $D_f = 4 / 3$ と算出される。つまり車両 205 が存在する限りにおいては、車両 203 は、後方密度 D_r が $4 / 3$ 以上とならない限り駅 H4 を出発することはない。なお上述の補正処理（例えば 1 車両を 4 車両と見なす処理）においては、その補正後に算出される前方密度 D_f （例えば $D_f = 4 / 3$ ）を、車両交通システム 1 の運行管理上、後方密度 D_r がそれ以上とならない値となるように設定する。このようにすれば、図 9 A に示す状態において、車両 205 よりも先に車両 201 が駅 H7 をその先の駅（図示しない駅 H8）に向かって出発した場合であっても、事実上、車両 205 が駅 H5 を経路 B に沿って出発するまでは、車両 203 は駅 H4 に待機する。

[0099] このようにすれば、本実施形態による車両交通システム 1 は、不意の車両故障等による運行状況の変化に応じて動的な経路の変更を可能にするとともに、より安全な輸送サービスを提供することができる。

[0100] 図10A、図10Bは、本発明の第三の実施形態による車両交通システムの効果を説明する第三、第四の図である。なお図10A、図10Bに示す車両201、203～204は、第一の軌道3aを紙面左側から右側に向かって走行する車両である。一方、車両205、206は、第一の軌道3aと異なる軌道である第二の軌道3bを紙面右側から左側に向かって走行する車両である。また図10A、図10Bを用いて説明する例についても、図2等にした例と同様に、対象車両20iとして車両203の運行に着目し、さらに $k_f = k_r = 3$ 、 $\alpha = 0$ と設定されているものとする。また、第三の実施形態による運行管理装置10の処理フローは第一の実施形態における処理フロー（図3）と同一であるとする。

[0101] 第三の実施形態による車両交通システム1によれば、さらに次のような状況にも対応することができる。

図10Aに示す例では、駅H4に停車中の車両203について、車両203前方領域には、第一の軌道3a上において駅H7に停車中の車両201と駅H5に停車中の車両202の2車両が存在している。また、車両203後方領域には車両204の1車両のみが存在している。さらに、駅H4、駅H6には、それぞれ車両203とは逆方向に第二の軌道3b上を走行する車両206、車両205が停車している。

[0102] 図10Aにおいて、車両202は、第一の軌道3aを車両203と同じ方向に走行する車両であったが、ここで経路判断部103により、車両202に対し車両基地（Depot（図10A、図10B））に引き上げる経路（経路C）が再設定されたとする。そうすると、車両203は、図10Aの段階で、車両203前方領域には逆方向に走行する車両202が存在するため、前方密度 D_f の算出の際に、前方密度 D_f を高める補正処理（例えば車両202、1車両を4車両と見なす処理）がなされ、車両203は車両202が車両203前方領域を外れるまで駅H4で待機する。なお車両204も同様に、車両202が車両204前方領域（不図示）を外れるまでは駅H2で待機する。

[0103] 次に図 10B に示すように、車両 202 が第二の軌道 3b に沿って駅 H4 まで走行する。

そうすると出発判断部 102 は、密度演算部 101 により、車両 202 が車両 203 前方領域から外れて前方密度 D_f が低下したことを検知して、車両 203 に出発指示を送信する。一方、第二の軌道 3b を走行する車両 205、206 はそれぞれ、駅 H5、駅 H3 まで走行している。しかし図 10B に示すように、車両 202 が、車両 205 と車両 206 の間に割り込むように第二の軌道 3b に進入してくる。すると車両 205 は突如として前方密度 D_f が増加することになる。その結果、車両 205 は前方密度 D_f が低下するまで駅 H5 で待機する。

[0104] 急遽 *Depot* に引き返す車両が生じた場合、従来は、全ての車両についてのダイヤを作成し直す必要があったが、本実施形態による車両交通システム 1 によれば、*Depot* に引き返す車両とその経路さえ指定すれば、当該車両と他の車両との車両間隔が自動的に調整される。したがって、車両を *Depot* に引き返す際の労力を削減する効果が得られる。

[0105] なお上述の第一～第三の実施形態による車両交通システム 1 は、全て単一の地上設備、すなわち運行管理装置 10 が、全ての車両 201～20n の運行を制御する態様として説明したが、本発明の他の実施形態による車両交通システム 1 は、このような態様に限定されない。例えば、当該他の実施形態による車両交通システム 1 は、地上設備として異なる複数の運行管理装置 10 を備える態様であってもよい。そして、例えば、軌道 3 の所定区間ごとに割り当てられた運行管理装置 10 の各々が、その所定区間を走行する車両 201～20n の運行を制御する態様であっても構わない。

[0106] <第四の実施形態>

次に、本発明の第四の実施形態による車両交通システムについて説明する。

図 11 は、本発明の第四の実施形態による車両交通システムの機能構成を示す図である。なお、第四の実施形態による車両交通システム 1 の機能構成のうち、第一の実施形態による車両交通システム 1（図 1）と同一の機能構成

については、同一の符号を付してその説明を省略する。

[0107] 本発明の第四の実施形態による車両交通システム 1 は、第一～第三の実施形態における地上設備である運行管理装置 10 を備えていない。そして、第一～第三の実施形態における運行管理装置 10 が備えていた車両位置取得部 100、密度演算部 101 及び出発判断部 102 を各車両 201～20n 各々が備えていることを特徴としている（なお図 11 には便宜上、車両 202 のみの機能構成を記載しているが、実際には車両 201～20n の各々が、車両 202 と同一の各機能構成を備えている）。

[0108] ここで本実施形態による車両交通システム 1 によれば、車両 201～20n の各々が、他の車両 201～20n と相互に通信しながら車両間隔を自律的に調整することが可能となる。具体的には、各車両 201～20n の車両位置取得部 100 は、互いにそれぞれ通信を行い合い、各車両 201～20n についての位置情報を取得する（図 3、ステップ S11）。次に各車両 201～20n 各々に備えられた密度演算部 101 は、各車両 201～20n の位置情報に基づいて、自車両についての前方密度 D_f 及び後方密度 D_r を算出する（図 3、ステップ S12）。そして各車両 201～20n 各々に備えられた出発判断部 102 が、自車両についての前方密度 D_f 及び後方密度 D_r に基づいて、自車両に対し出発指示または出発の保留の判断を行う（図 3、ステップ S13、S14）。

[0109] 以上、本実施形態の車両交通システム 1 によれば、各車両 201～20n 各々が、互いの位置関係を把握して、前方及び後方における車両の密度に基づいて、自律的に他車両との車両間隔を調整しながら運行することが可能となる。したがって、車両 201～20n の運行全体を集中管理する地上設備（運行管理装置 10）を用いて運用する必要がなく、運行管理処理の分散を図ることができる。このようにして運行管理処理の分散化が成されれば、各運行管理系統（本実施形態の場合、車両 201～20n）の何れかに不具合が生じた場合であっても、車両交通システム 1 の運用に及ぼす影響が最小限に留められるため、車両交通システム 1 全体の信頼性を向上させることができ

る。

[0110] なお、本発明の第四の実施形態による車両交通システム1の車両201~20nのそれぞれは、さらに、第二の実施形態で説明した機能（前方車間距離 L_f 及び後方車間距離 L_r に基づく運行制御）や、第三の実施形態で説明した機能（経路判断部103による動的な経路変更処理）を備えていてもよい。

[0111] また上述の第一~第四の実施形態による車両交通システム1は、さらに地上設備として旅客案内情報システム（PIS: Passenger Information System）を備えていてもよい。従来のPISは、予め定められたダイヤに基づいて車両の到着予定時刻を駅に設けられたスクリーンに表示するが、本実施形態による車両交通システム1の場合、ダイヤを利用しない運行を行うことがあるので、ダイヤ情報のみに基づくのでは、どの車両がいつ到着するかを把握することができない。そこで本実施形態によるPISは、運行管理装置10（第六の実施形態の場合は、各車両201~20nの各々）から対象車両20iの識別情報、位置情報、及び経路情報を受信して、対象車両20iの各駅についての到着予定時刻を算出し、当該算出された到着予定時刻を、各駅に設置されている表示スクリーンへ表示させる処理を行う。ここで対象車両20iの識別情報とは対象車両20iを特定できる固有のID（Identification）番号等であってよい。本実施形態によるPISは、識別情報から対象車両20iを特定した後は、その位置情報及び経路情報が把握できれば、その対象車両20iの走行速度等から、少なくとも次の停車駅までに要する時間を容易に推定することができる。

[0112] また本実施形態によるPISは、さらに密度演算部101から前方密度 D_f 、後方密度 D_r 、並びに、前方車間距離 L_f 、後方車間距離 L_r 等の各種パラメータを算出して、これらのパラメータに基づいて対象車両20iの到着予定時刻を推定してもよい。具体的には、本実施形態によるPISは、式（1）、（2）の計算式を用いて求められる対象車両20iの待機時間 T を算

出することで、各駅における到着予定時刻を推定する処理を行う。このようにすることで、車両交通システム1の乗客は、各車両201~20nがダイヤに基づいて走行していない場合であっても、その駅に到着する車両201~20nの到着予定時刻を把握することができる。

また本実施形態によるPISは、対象車両20iについての前方密度 D_f 、後方密度 D_r 等の各種パラメータが運行状況に応じて変化した際には、その都度、密度演算部101から各パラメータを受信して、新たな到着予定時刻を算出してもよい。このようにすることで、車両交通システム1は、各車両201~20nの運行状況に動的に対応して、より精度の高い到着予定時刻を乗客に提供することができるようになる。

[0113] また本発明に係る車両交通システム1は、さらに以下のような実施形態により実現されるものであってもよい。

[0114] <第五の実施形態>

以下、本発明の第五の実施形態による車両交通システムを、図面を参照して説明する。

図12は、本発明の第五の実施形態による車両交通システムの機能構成を示す図である。この図において、符号1は車両交通システムである。

[0115] (車両交通システム全体の構成)

まず、車両交通システム1全体の構成について説明する。

図12に示すように、本実施形態による車両交通システム1は、運行管理装置10、及び、軌道3に沿って走行する複数の車両201、202、・・・、20n(nは2以上の整数)からなる。運行管理装置10は、地上設備と呼ばれるもので、複数の車両201、202、・・・、20nの運行を制御する装置である。

本実施形態に係る運行管理装置10は、後述する出発判断部102の判断に基づいて、車両201、202、・・・、20nそれぞれに出発指示を送信する機能部である。運行管理装置10は、無線通信手段等を用いて各車両201~20nに出発指示を送信する。各車両201~20nは、運行管理装

置 10 から受信する出発指示に基づいて運行する。

なお実際の車両の運行にあたっては、保安装置（連動装置）や信号機に基づく運行制御がさらに加わるが、本実施形態の説明の簡略化のため、ここでは単に、運行管理装置 10 に基づいて車両 201～20n の運行制御が成されるものとして説明する（保安装置等を用いた場合については、図 19 を用いて後述する。）

[0116] 車両 201、202、・・・、20n は、所定の軌道 3（線路）に沿って走行する列車である。車両 201～20n は、運行管理装置 10 から受信する運行の指示に従って、軌道 3 に沿って複数設けられた駅（図 12 には不図示）に発着しながら走行する。なお軌道 3 には一定間隔ごとに所定の位置検知装置（不図示）が設けられており、各車両 201～20n は、当該位置検知装置と通信することで、自車両が軌道 3 上のどの位置を走行しているかを認識することができる。

この機能についてより具体的に説明すると、車両 201～20n の各々は自ら路線データベースを備えている。そして車両 201～20n の各々は、自車両のタイヤ回転数を測ることで走行距離を算出し、自車両の現在位置を把握する機能を有している。しかしこの場合、タイヤスリップなどに起因してタイヤ回転数から把握される現在位置が、実際の位置とずれる場合がある。車両 201～20n は、地上におかれている位置検知装置と比較しながらそれを補正することで、自車両が軌道 3 上のどの位置を走行しているかを正確に把握する。

[0117] ここで、通常の車両交通システムの場合、利用者数（乗客数）と、車両ごとの乗車可能量と、に基づいて、その受給バランスが最適となるようにダイヤが決定される。一般的には、平日ダイヤ、休日ダイヤの二通りがあれば日常の輸送サービスの提供に支障をきたすことはない。しかしながら、例えばあるイベント会場で、コンサートや展示会などの特殊なイベントが催されると、その日のみ特異的に乗客数の増加が見込まれる場合がある。このような場合に、日常通りのダイヤで運行するのでは乗客を輸送しきれない問題が発生

する。そこで、本実施形態による車両交通システム 1 は、イベントの内容などから推定される情報（後述する「混雑情報」）を取得して、予めその混雑の状況に適合できるように、特定の駅において車両間隔が“密”となる状態を意図的に作り出す機能を有している。

[0118] （運行管理装置の構成）

次に、運行管理装置 10 の構成について説明する。

図 12 に示すように、本実施形態による運行管理装置 10 は、車両位置取得部 100 と、間隔調整部 104 と、出発判断部 102 とを備えている。

[0119] 車両位置取得部 100 は、軌道 3 上に存在する複数の車両 201～20n の位置を取得する機能部である。各車両 201～20n は、上述したように、軌道 3 上に設けられた位置検知装置（不図示）と通信することで、自車両が軌道 3 上のどの位置を走行しているかを認識することができる。そして車両 201～20n の各々は、逐次自車両の走行位置を示す「位置情報」を無線通信により運行管理装置 10 に送信する。運行管理装置 10 の車両位置取得部 100 は、各車両 201～20n 各々の位置情報を受信して、車両 201～20n の位置を取得する。なお、車両位置取得部 100 は、各車両の位置情報だけでなく、各車両の最大乗車可能人数を示す情報を取得してもよい。また、他の実施形態においては、車両 201～20n の各々は、上記位置情報を有線通信により運行管理装置 10 に送信するようにしてもよい。

[0120] 間隔調整部 104 は、所定の情報源から取得する「混雑情報」に基づいて、複数の車両 201～20n の存在の密度を高める基準となる駅（目標駅 H_m （ m は 2 以上の整数））を特定し、当該目標駅 H_m の後方の駅 H_j （ j は 1 以上 m 未満の整数）に停車する複数の車両 201～20n の、当該後方の駅 H_j ごとの待機時間 ω_j を設定する。ここで「混雑情報」とは、具体的には、イベント（例えばコンサートや展示会）等が催されるイベント会場の立地条件（最寄り駅等）、並びに、予め推定される観客動員数、そして、当該イベントの開始時刻、終了時刻等の情報である。混雑情報の具体的な取得方法については後述する。

[0121] 本実施形態による間隔調整部104は、この混雑情報に基づいて、まず目標駅H_mを特定する。目標駅H_mは、混雑が予測される駅、すなわちイベント会場の最寄り駅となる。そして間隔調整部104は、この目標駅H_mの手前において車両201～20_nの存在の密度を高めるための処理を行う。なお「車両201～20_nの存在の密度」とは、軌道3上の一定の範囲内における車両201～20_nの車両数である。すなわち間隔調整部104が目標駅H_mの手前における一定範囲内で車両201～20_nの車両数を増やす（存在の密度を高める）ことで、車両交通システム1は、目標駅H_mにて局所的・一時的に増加する乗客に対応することが可能となる。

[0122] 間隔調整部104は、車両201～20_nの存在の密度を高めるために、以下のような処理を行う。すなわち間隔調整部104は、当該目標駅H_mの後方の駅H_jに停車する複数の車両201～20_nの、当該後方の駅H_jごとの待機時間 ω_j を設定する。待機時間 ω_j の具体的な設定方法については後述する。なお「目標駅H_mの後方の駅H_j」とは、車両201～20_nが目標駅H_mに停車する前に停車する各駅を指している。ここで、車両201～20_nが駅H₁、H₂、・・・、H_{m-1}、H_mの順番で停車するものとする、この場合、目標駅H_mの後方の駅H_jとは駅H₁、H₂、・・・、H_{m-1}のことである。

[0123] 出発判断部102は、駅H_jごとに設定された待機時間T_jに基づいて、複数の車両201～20_nの後方の駅H_jごとにおける出発時刻を調整する機能部である。具体的には、出発判断部102は、対象車両20_iが駅H_jに停車すると、その駅H_jについて設定された待機時間T_jだけ待機する処理を行い、待機時間T_jが経過したときに対象車両20_iに駅H_jを出発する指示を送信する。

[0124] なお本実施形態に係る運行管理装置10の間隔調整部104は、所定の情報源から混雑情報を取得すると説明した。上述したように、所定の情報源とは、例えば集客イベントの開催主であって、混雑情報とは、当該開催主から事前に発信されるその集客イベントについての事前集客情報（イベントスケジ

ルール、予想客数等)である。

また、混雑情報は、スタジアム等の施設である集客箇所から最寄り駅までの通路(緩衝帯という)に設置され、当該通路の利用客の人数及びその流れを検知する検知手段から取得される検知情報(例えば監視カメラより映し出される映像)であってもよい。車両交通システム1の管理者は混雑度予測部5である監視カメラをモニタリングすることで、最寄り駅(目標駅H10)に混雑が発生するまでの時刻を予め予測することができる。また、監視カメラからの映像ではなく、例えば、通路の所定箇所(ゲート等)に設けられた通過検知センサから取得される検知情報であってもよい。

さらに、車両交通システム1が、他の交通網と連絡している場合には、混雑情報とは、当該他の交通網に関する輸送媒体の到着予定時刻、到着予定人数を示す情報であってもよい。例えば、車両交通システム1が、空港ターミナルを結ぶ交通システムであった場合、航空機の離着陸スケジュールに合わせて車両交通システム1の需要が増減する。したがって、この場合の所定の情報源とは当該航空機の運営会社であり、混雑情報とは、その飛行機の離着陸スケジュールや乗客数(乗車率)となる。

[0125] (間隔調整部の機能)

図13は、本発明の第五の実施形態による間隔調整部の機能を説明する第一の図である。図13に示す車両201~203は、軌道3を紙面左側から右側に向かって駅H1、H2、...、H7、...の順に停車しながら走行する車両である。なお各車両201~20nは、図13には図示していない駅H7以降の駅(駅H8、H9、H10、...)にも停車する。また説明の便宜のため、各駅H1~H10は全て等間隔に設置されており、車両201~203は、各駅間を同一の速度で走行するものとする。また以下の説明において、各車両201~203が一の駅を出発してから次の駅に停車するまでの時間を“ α ”とする。

[0126] 以下、間隔調整部104の具体的な機能について、図13を参照しながら説明する。

間隔調整部 104 は、所定の混雑情報に基づいて目標駅（例えば駅 H10（図 13 には不図示））を特定すると、所定のタイミングで目標駅 H10 の後方の駅である駅 H1～駅 H9 ごとの待機時間 $\omega_1 \sim \omega_9$ を設定する。ここで間隔調整部 104 は、基準となる駅（目標駅 H10）に近い駅ほど、その駅の待機時間を長く設定する。より具体的には、 $\omega_1 < \omega_2 < \omega_3 < \dots < \omega_9$ となるように設定する。ただし間隔調整部 104 は、最も小さい待機時間 ω_1 が、乗客が安全に乗降車できる最低限の時間 T_{min} を下回らないように設定する。

[0127] 間隔調整部 104 が、駅 H1～駅 H9 ごとの待機時間 $\omega_1 \sim \omega_9$ を設定すると、出発判断部 102 は、その区間を走行する車両 201、202、203 全てに対し、その待機時間 $\omega_1 \sim \omega_9$ に基づいて、各駅 H1～H9 における出発時刻を調整する。以下、間隔調整部 104 によって設定された待機時間 $\omega_1 \sim \omega_9$ に基づく車両 201～203 の運行プロセスを、図 13 を参照しながら説明する。

まず車両 201 が駅 H1 を、車両 202 が駅 H3 を、そして、車両 203 が駅 H5 を同時刻に出発したとする（時刻： T_0 ）。次に、車両 201 は駅 H2 に、車両 202 は駅 H4 に、そして、車両 203 は駅 H6 に停車する（時刻： $T_0 + \alpha$ ）。次に、車両 201 が駅 H2 で待機時間 ω_2 だけ待機した後、駅 H2 を出発する（時刻： $T_0 + \alpha + \omega_2$ ）。遅れて、車両 202 が駅 H4 で待機時間 ω_4 ($> \omega_2$) だけ待機した後、駅 H4 を出発する（時刻： $T_0 + \alpha + \omega_4$ ）。さらに遅れて、車両 203 が駅 H6 で待機時間 ω_6 ($> \omega_4$) だけ待機した後、駅 H6 を出発する（時刻： $T_0 + \alpha + \omega_6$ ）。各駅における待機時間が $\omega_2 < \omega_4 < \omega_6$ と設定されたことにより、この時点における車両 201～203 の車両間隔は狭くなっている。

[0128] 続いて、車両 201 は、駅 H3 で待機時間 ω_3 だけ待機した後、駅 H3 を出発する（時刻： $T_0 + 2\alpha + \omega_2 + \omega_3$ ）。その後、車両 202 が、駅 H5 で待機時間 ω_5 ($> \omega_3$) だけ待機した後、駅 H5 を出発する（時刻： $T_0 + 2\alpha + \omega_4 + \omega_5$ ）。この時点で、車両 201 と車両 202 の車両間隔は

さらに狭まっている。また車両 203 も駅 H7 を出発しておらず、車両 202 と車両 203 の車両間隔も狭まっている。このように、間隔調整部 104 が、駅 H1 ～ H9 における待機時間 $\omega_1 \sim \omega_9$ を設定することで、車両 201 ～ 車両 203 は、運行が進むにつれ徐々に互いの車両間隔が狭まっていく。

[0129] 図 14 は、本発明の第五の実施形態による間隔調整部の機能を説明する第二の図である。図 14 に示すグラフは、横軸に時刻 T0 からの経過時間を、縦軸に各車両 201 ～ 203 の存在する位置（駅及び駅間）を示している。図 14 によれば、例えば時刻 T0 において、車両 201 が駅 H1 を、車両 202 が駅 H3 を、車両 203 が駅 H5 を出発し、時刻 $T0 + \alpha$ においてそれぞれが次の停車駅に到着することが示されている。

[0130] 図 14 に示すように、車両 201 は、駅 H2 ～ H7 において、それぞれに設定された待機時間 $\omega_2 \sim \omega_7$ だけ待機しながら走行する。車両 202、203 も同様に、各駅に設定された待機時間だけ待機しながら走行する（車両過密化運転）。この車両過密化運転の結果、時刻 T0 から時刻 T1 にかけて、車両 201、202、203 の各々の車間距離は徐々に狭まっていく。そして図 14 に示すように、時刻 T1 において、目標駅 H10 及びその後方の駅 H9、H8 で車両 203、202、201 が密集する状態（車両過密化状態）が完成する。

[0131] 車両過密化状態が完成すると、運行管理装置 10 は、各車両の 201 ～ 203 の運行を、車両過密化運転から混雑解消運転に切り替える。具体的には、車両 201 ～ 203 は、目標駅 H10 を最短の時間間隔で発着するように運行する（図 14）。このようにすれば、乗客数が増加している目標駅 H10 において、車両 201 ～ 203 が次々と発着し、目標駅 H10 における混雑を解消することができる。

[0132] また間隔調整部 104 は、事前に得た混雑情報に基づいて、車両過密化運転開始時刻（時刻 T0）及び各待機時間 ω_j の値を、以下のようにして適切に設定する。

[0133] 間隔調整部 104 は、混雑情報に基づいて推定される混雑発生時刻と、車両 201 ~ 20n の存在の密度が高まる時刻と、が一致するように待機時間 ω_j を設定する。図 14 を用いて具体的に説明すると、間隔調整部 104 は、事前に得た混雑情報により、予め時刻 T1 において目標駅 H10 が混雑することを検知している（間隔調整部 104 は、混雑発生時刻を時刻 T1 と推定する）。したがって間隔調整部 104 は、混雑が発生すると推定された時刻 T1 においてちょうど目標駅 H10 で車両過密化状態が完成するように、車両過密化運転の開始時刻 T0 及び各待機時間 $\omega_0 \sim \omega_9$ を逆算して設定する。このようにすれば、予め混雑が予測されていた時刻（混雑発生時刻）T1 に合わせて事前に車両過密化状態を形成することができるので、乗客の急激な増加に対して迅速に対応することができる。

[0134] また間隔調整部 104 は、例えば事前に得た混雑情報により、混雑が予想される時刻 T1 までに時間的余裕があると判断した場合は、時刻 T0 ~ 時刻 T1 の時間を長く設定し、この長い時間をかけて徐々に車両過密状態が形成されていくように各待機時間 $\omega_0 \sim \omega_9$ を設定する。すなわち間隔調整部 104 は、通常ダイヤに基づく運行から車両過密化運転に基づく運行に切り替えの際にも、運行スケジュールが急激に変化しないように時刻 T0 及び待機時間 $\omega_0 \sim \omega_9$ を設定する。このようにすることで、本実施形態による車両交通システム 1 は、通常ダイヤに基づいて乗車しようとする乗客への影響を最小限に留めることができる。一方、時間的余裕がないと判断した場合は、間隔調整部 104 は、時刻 T0 ~ 時刻 T1 の時間を短く設定し、迅速に車両過密状態が形成されていくように各待機時間 $\omega_0 \sim \omega_9$ を設定する。この場合、短時間で車両間隔を過密化するための相応の待機時間 $\omega_0 \sim \omega_9$ が設定される。本実施形態による間隔調整部 104 によれば、このように時間的余裕がない場合でも迅速に車両過密状態を形成することができるので、イベントスケジュール（例えばイベントの終了時刻）が急遽変更された場合であっても、柔軟に対応することができる。

[0135] 同様に、間隔調整部 104 は、事前に得た混雑情報より、基準となる駅（目

標駅H m)において推定される乗客数に基づいて待機時間 ω_j を設定する。

図14を用いて具体的に説明すると、間隔調整部104は、混雑解消運転に切り替わったとき目標駅H10において時間 α ごとに車両201～203が次々と発着するように待機時間 $\omega_1 \sim \omega_9$ が設定されている。ここで、駅H10において推定される乗客数がより少ない場合は、間隔調整部104は、その時間間隔が例えば 1.2α 間隔または 1.5α 間隔で発着するように待機時間 $\omega_1 \sim \omega_9$ の値を設定する。この場合、間隔調整部104は、待機時間 $\omega_1 \sim \omega_9$ を、 ω_1 から ω_9 にかけてより緩やかに増加するように設定する。逆に、駅H10において推定される乗客数がより多い場合は、間隔調整部104は、その時間間隔がより短くなるように、例えば 0.8α 間隔または 0.5α 間隔で発着するように待機時間 $\omega_1 \sim \omega_9$ の値を設定する。この場合、間隔調整部104は、待機時間 $\omega_1 \sim \omega_9$ を、 ω_1 から ω_9 にかけてより急峻に増加するように設定する。このようにすることで、本実施形態による車両交通システム1は、上記同様に、通常ダイヤに基づいて乗車しようとする乗客への影響を最小限に留めることができる。なお、上記のように乗客数に応じて目標駅H mにおける発着の時間間隔を調整する場合においては、各車両201～20nの一車両当たりの乗車可能量が考慮されてもよい。

[0136] また、図13、図14に示す例では、運行管理装置10が車両過密化運転を開始する初期状態において、各車両201～203が一駅ごとに等間隔に停車している状態を説明した。しかしながら、実際の運行にあたっては、運行管理装置10が車両過密化運転を開始するタイミングにおいて、各車両201～203は、図13、図14に示すように等間隔に存在しているとは限らない。

したがって、間隔調整部104は、上記車両過密化運転を開始するにあたり、まず車両位置取得部100を介して取得する各車両201～203の「位置情報」により、各車両201～203の現在位置を把握する。そして、各車両201～203それぞれの現在位置から目標駅H mまでの距離を算出する。ここで例えば、初期状態における車両201の位置が、図2、図3に示

した状態よりも目標駅 H_m から離れていたとする。この場合、車両 201 は、他の車両 202、203 と同じように、停車駅 H_j ごとに待機時間 ω_j だけ待機していたのでは、時刻 T_1 において過密化状態となる場所までたどり着けず、過密化状態を完成させることができない。したがって、間隔調整部 104 は、この車両 201 に対する各駅 H_j での待機時間 ω_j を補正する処理を行う。

具体的には、上述の例のように、初期状態における車両 201 の位置が、図 2、図 3 に示した状態よりも目標駅 H_m から離れていた場合、間隔調整部 104 は、車両 201 について各停車駅 H_j に停車すべき待機時間 ω_j を短く設定する補正を行う。車両 201 は、各停車駅 H_j に停車すべき待機時間 ω_j が短くなることで、早く過密化状態となるべき位置にたどり着くことができる。

より具体的な処理の例としては、車両 201 の現在位置から目標駅 H_m までの距離を L_1 とすると、間隔調整部 104 は、距離 L_1 が大きいほどこれに反比例して小さくなる所定の係数 p ($0 < p \leq 1$) を、各待機時間 ω_j に乗算する。

このようにすることで、車両 201 の距離が、設定された目標駅 H_m から離れているほど、車両 201 が各停車駅 H_j において待機すべき待機時間 ω_j が小さく設定される。そうすると、車両 201 は、車両過密化運転を開始する時点における位置によらず、時刻 T_1 において過密化状態とすべき場所までたどり着くことができる。

[0137] なお上述の説明においては、簡単のため、各駅 $H_1 \sim H_{10}$ は全て等間隔に設置されるとともに、車両 201 ~ 203 は各駅間を同一の速度で走行し、各車両 201 ~ 203 が一の駅を出発してから次の駅に停車するまでの時間は全て“ α ”であるとして説明したが、車両交通システム 1 の実際の運用にあたってはこのような態様に限定されない。すなわち、車両交通システム 1 においては、各駅 H_j 間は駅ごとに異なる間隔で設置され、各駅間の走行時間はそれぞれで異なってもよい。

[0138] (第五の実施形態による運行管理装置の処理フロー)

図15は、本発明の第五の実施形態による運行管理装置の処理フローを示すフローチャート図ある。

本実施形態による運行管理装置10は、上述した車両位置取得部100、間隔調整部104及び出発判断部102を用いて、以下に説明する処理フロー(図15)を実行する。

[0139] まず間隔調整部104は、所定のイベント情報を予め入手していた管理者の判断に基づいて混雑情報を取得する(ステップS31)。混雑情報は、ここで予想乗客数、予想混雑発生時間及び混雑が発生する駅等を示す情報である。

次に車両位置取得部100は、特定の対象車両20iが存在する位置を示す位置情報を取得する(ステップS32)。ここで車両位置取得部100は、対象車両20iから自車両の位置を示す位置情報を受信して取得する。

次に、間隔調整部104は、ステップS31で取得された混雑情報及びステップS32で取得された位置情報に基づいて、車両過密化運転を開始する時刻T0及び駅Hjごとの待機時間 ω_j を設定する(ステップS33)。ここで間隔調整部104は、混雑情報に基づいて、開始時刻T0と、停車駅Hjごとの基本とする待機時間 ω_j' を、目標駅Hmに近づくにつれ徐々に長くなるように設定する。そして、間隔調整部104は、各車両201~20nの位置情報に応じた補正を行って(基本とする待機時間 ω_j' に上記係数pを乗算して)、各車両201~20nについての、停車駅Hjごとの待機時間 ω_j を算出する。

そして出発判断部102は、ステップS33で設定された待機時間 ω_j に基づいて、対象車両20iの停車駅Hjで待機時間 ω_j だけ待機する処理を実行する。具体的には、出発判断部102は、対象車両20iが駅Hjに停車してから経過時間が待機時間 ω_j 以上となったか否かを判定し(ステップS34)、経過時間が待機時間 ω_j 未満である場合(ステップS34にてN0)は、ステップS34を繰り返して対象車両20iの出発指示の送信を保

留する。そして出発判断部102は、経過時間が待機時間 ω_j 以上となった場合（ステップS34にてYES）に、対象車両20iに対して出発指示を送信する（ステップS35）。

[0140] なお上述のフローチャートにおいて、運行管理装置10は、車両201～20nの各々についてステップS33からステップS35までの処理フローを実行する。また運行管理装置10は、一の対象車両20iに対し、停車駅HjごとにステップS33からステップS35までの処理フローを繰り返す。

[0141] 本実施形態による運行管理装置10が上記処理フロー（図15）を実行することで、混雑発生時刻（時刻T1）において、混雑発生駅（駅Hm）で車両201～20nの存在の密度が高まるような状態が形成される。またこのときの車両201～20nの存在の密度は、予想される乗客数に合わせてその受給のバランスが適合するように設定される。

[0142] 以上、本発明の第五の実施形態による車両交通システム1によれば、所望の時刻及び所望の駅において、車両による輸送サービスの提供の密度を柔軟に変化させることができる。

[0143] なお上述した第五の実施形態による間隔調整部104は、目標駅Hmに近い駅ほど待機時間 ω_j が徐々に大きくなるように設定するものとして説明したが、本実施形態による車両交通システム1はこのような処理に限定されない。間隔調整部104は、車両交通システム1の元来の特性に合わせて各駅Hjにおける待機時間 ω_j を適切に設定してもよい。例えば、図14に示す例において、特定の駅（例えば駅H6）において定常的に乗客数が多い場合、駅H6においては車両過密化運転に基づく待機時間 ω_6 を待機時間 $\omega_1 \sim \omega_5$ よりも小さく設定してもよい。間隔調整部104は、このような例外的な対応をした上でなお目標駅H10にて車両過密状態が形成されるように、他の待機時間 ω_j を設定すればよい。

また間隔調整部104は、通常の運行時において予め駅ごとに定められている通常停止時間に応じて待機時間 ω_j を設定してもよい。例えば、通常運転時において、駅H1における通常待機時間Td1、駅H2における通常待機

時間 $T d 2$ 、 $\dots$ が定められていた場合、間隔調整部 104 は、 $\omega 1 = T d 1 \times r 1$ 、 $\omega 2 = T d 2 \times r 2$ 、 $\dots$ と設定する。ここで $r 1$ 、 $r 2$ 、 $\dots$ は 1 以上の値である。この場合、間隔調整部 104 は、 $r 1 < r 2 < \dots$ と設定する。このようにすることで、間隔調整部 104 は、もともとの通常運転時において各駅に停車すべき時間が異なっていた場合においても車両過密状態を形成することができる。

[0144] なお上述した第五の実施形態による間隔調整部 104 は、目標駅 $H m$ に近い駅ほどその駅 $H j$ における待機時間 ωj が徐々に大きくなるように設定することで、車両過密化状態を形成することを特徴としたが、本実施形態による車両交通システム 1 はこのような処理に限定されない。例えば間隔調整部 104 は、目標駅 $H m$ に近づくほど、各駅間における走行速度を徐々に低速化させていくことをもって、所望の時刻に目標駅 $H m$ にて車両過密化状態を形成するようにしてもよい。

[0145] <第六の実施形態>

次に、本発明の第六の実施形態による車両交通システムについて説明する。図 16 は、本発明の第六の実施形態による車両交通システムの機能構成を示す図である。なお、第六の実施形態による車両交通システム 1 の機能構成のうち、第五の実施形態による車両交通システム 1（図 12）と同一の機能構成については、同一の符号を付してその説明を省略する。

[0146] 本発明の第六の実施形態による車両交通システム 1 は、第五の実施形態における地上設備である運行管理装置 10 を備えていない。そして、第五の実施形態における運行管理装置 10 が備えていた車両位置取得部 100、間隔調整部 104 及び出発判断部 102 を各車両 201～20n 各々が備えていることを特徴としている（なお図 16 には便宜上、車両 202 のみの機能構成を記載しているが、実際には車両 201～20n 各々が、車両 202 と同一の各機能構成を備えている）。

[0147] ここで本実施形態による車両交通システム 1 によれば、車両 201～20n の各々が、他の車両 201～20n と相互に通信しながら自律的に車両過密

化運転を実施することが可能となる。具体的には、各車両201～20nの間隔調整部104は、上述した所定の情報源（イベント運営者等）から各々が同一の混雑情報を取得する（図15、ステップS31）。なおこの混雑情報には、混雑が推定される駅（目標駅Hm）、混雑が推定される時刻（混雑発生時刻T1）が含まれているものとする。

[0148] 次に各車両201～20nの車両位置取得部100は、自車両が存在する位置を示す位置情報を取得する（図15、ステップS32）。ここで車両位置取得部100は、自車両の現在位置を、タイヤの回転数、位置検知装置から受信する情報に基づいて取得するとともに、他の車両との相互の通信手段を介して、当該他の車両についての位置情報を取得する。

次に、各車両201～20nの間隔調整部104は、ステップS31で取得された混雑情報及びステップS32で取得された各車両201～20nごとの位置情報に基づいて、車両過密化運転を開始する時刻T0及び駅Hjごとの待機時間 ω_j を設定する（図15、ステップS33）。ここで間隔調整部104は、混雑情報に基づいて、開始時刻T0と、停車駅Hjごとの基本とする待機時間 ω_j' を、目標駅Hmに近づくにつれ徐々に長くなるように設定する。そして、間隔調整部104は、自車両の位置情報に応じた補正を行って（基本とする待機時間 ω_j' に上記係数pを乗算して）、自車両についての、停車駅Hjごとの待機時間 ω_j を算出する。

そして出発判断部102は、ステップS33で設定された待機時間 ω_j に基づいて、自車両の停車駅Hjで待機時間 ω_j だけ待機する処理を実行する。具体的には、出発判断部102は、自車両が駅Hjに停車してからの経過時間が待機時間 ω_j 以上となったか否かを判定し（図15、ステップS34）、経過時間が待機時間 ω_j 未満である場合（図15、ステップS34にてNO）は、ステップS34を繰り返して自車両の出発指示を保留する。そして出発判断部102は、経過時間が待機時間 ω_j 以上となった場合（図15、ステップS34にてYES）に、自車両に対して出発指示を送信する（図15、ステップS35）。

[0149] 以上、本実施形態の車両交通システム1によれば、各車両201～20n各々が、定めた待機時間 ω_j に基づいて自律的に車両過密化運転を実行することが可能となる。したがって、車両201～20nの運行全体を集中管理する地上設備（運行管理装置10）を用いて運用する必要がなく、運行管理処理の分散を図ることができる。このようにして運行管理処理の分散化が成されれば、各運行管理系統（本実施形態の場合、車両201～20n）の何れかに不具合が生じた場合であっても、車両交通システム1の運用に及ぼす影響が最小限に留められるため、車両交通システム1全体の信頼性を向上させることができる。

[0150] また上述の第五、第六の実施形態による車両交通システム1は、さらに地上設備として旅客案内情報システム（PIS）を備えていてもよい。従来のPISは、予め定められたダイヤに基づいて車両の到着予定時刻を駅に設けられたスクリーンに表示するが、本実施形態による車両交通システム1の場合、ダイヤを利用しない運行（車両過密化運転、混雑解消運転）を行うことがあるので、ダイヤ情報のみに基づくのでは、どの車両がいつ到着するかを把握することができない。そこで本実施形態によるPISは、運行管理装置10（第六の実施形態の場合は、車両201～20nの各々）から対象車両20iの識別情報、位置情報、経路情報及び各駅における待機時間 ω_j を受信して、対象車両20iの各駅についての到着予定時刻を算出し、当該到着予定時刻を各駅に設置される表示スクリーンへ表示させる処理を行う。ここで対象車両20iの識別情報とは対象車両20iを特定できる固有のID（Identification）番号等であってよい。本実施形態によるPISは、識別情報から対象車両20iを特定した後は、その位置情報及び経路情報が把握できれば、その対象車両20iの走行速度等から、少なくとも次の停車駅までに要する時間を容易に推定することができる。

[0151] 図17は、本発明の第七の実施形態による車両交通システムの機能構成を示す図である。また図18は、本発明の第八の実施形態による車両交通システムの機能構成を示す図である。

図 17 に示すように、本発明の第七の実施形態による運行管理装置 10 は、上述した第一の実施形態による密度演算部 101 の機能と、第五の実施形態による間隔調整部 104 の機能と、の両方を備えている態様であってもよい。またこの場合、本実施形態による運行管理装置 10 の出発判断部 102 は、第一の実施形態による出発判断部 102 の機能と、第五の実施形態による出発判断部 102 の機能と、の両方を備えている態様であってもよい。

さらに運行管理装置 10 は、第一の実施形態及び第五の実施形態の両方の機能を有する場合において、第一の実施形態による密度演算部 101 及び出発判断部 102 の機能を有効とする場合は、第五の実施形態による間隔調整部 104 及び出発判断部 102 の機能を無効としてもよい。同様に、第五の実施形態による間隔調整部 104 及び出発判断部 102 の機能を有効とする場合は、第一の実施形態による密度演算部 101 及び出発判断部 102 の機能を無効としてもよい。このようにすることで、運行管理装置 10 は、第一の実施形態の機能による車両間隔の均一化機能と、第五の実施形態による車両密度の変更機能と、を適宜選択しながら運行することができる。

[0152] また図 18 に示すように、本発明の第八の実施形態による車両 201 ~ 20n は、上述した第四の実施形態による密度演算部 101 の機能と、第六の実施形態による間隔調整部 104 の機能と、の両方を備えている態様であってもよい。またこの場合、本実施形態による車両 201 ~ 20n の出発判断部 102 は、第四の実施形態による出発判断部 102 の機能と、第六の実施形態による出発判断部 102 の機能と、の両方を備えている態様であってもよい。

さらに車両 201 ~ 20n は、第四の実施形態及び第六の実施形態の両方の機能を有する場合において、第四の実施形態による密度演算部 101 及び出発判断部 102 の機能を有効とする場合は、第六の実施形態による間隔調整部 104 及び出発判断部 102 の機能を無効としてもよい。同様に、第六の実施形態による間隔調整部 104 及び出発判断部 102 の機能を有効とする場合は、第四の実施形態による密度演算部 101 及び出発判断部 102 の機

能を無効としてもよい。このようにすることで、各車両 201~20n は、第四の実施形態の機能による車両間隔の均一化機能と、第六の実施形態による車両密度の変更機能と、を適宜選択しながら運行することができる。

[0153] 図 19 は、他の実施形態による車両交通システムの機能構成を示す図である。

以上の各実施形態において説明した運行管理装置 10 は、単に、出発判断部 102 の判断に基づいて、車両 201、202、・・・、20n それぞれに出発指示を送信する機能部であると説明した。そして、各車両 201~20n は、運行管理装置 10 から受信する出発指示に基づいて運行するものとした。

しかし、運行管理装置 10 の実際の運用にあたっては、図 19 に示すように、運行管理装置 10 は、さらに運行進捗計算部 107、運転モード判断部 105 及びダイヤ情報記憶部 106 を備えていてもよい。

[0154] 運行進捗計算部 107 は、車両位置取得部 100 が取得した各車両 201~20n の位置情報、及び、ダイヤ情報記憶部 106 が記憶する運行ダイヤ情報を比較して、各車両 201~20n の実際の運行の進捗を示す進捗情報を算出する機能部である。なお、ダイヤ情報記憶部 106 が記憶する運行ダイヤ情報には、事前に各車両・駅毎に定められた出発最早時刻が記録されている。この出発最早時刻とは、運行ダイヤに基づいて定められた、各車両が各駅を出発すべき最も早い時刻である。経路判断部 103 は、運行進捗計算部 107 が算出した進捗情報を参照することで、現時点における各車両 201~20n がこの後に進行すべき経路を特定することができる。

[0155] 運転モード判断部 105 は、密度演算部 101 が算出した前後密度差 ΔD (または、前方密度 D_f 、後方密度 D_r) に基づいて、各車両 201~20n の運行モードを設定する機能部である。ここで運転モード判断部 105 が定める運転モードには、「通常運転モード」、「間隔調整モード」及び「過密化運転モード」が存在する。

通常運転モード時においては、運行管理装置 10 は、従来どおり、運行ダイ

ヤ情報に基づいた運行制御を行う。この場合、経路判断部 103 は、運行進捗計算部 107 が各車両 201 ~ 20n ダイヤ通りに運行できているか否かを判断した後、その結果に応じて、対象車両 20i について予め定められた経路を選択する。そして出発判断部 102 は、出発時刻（出発最早時刻）に合わせて出発指示を送信する。

一方、間隔調整モード時においては、運行管理装置 10 は、上記第一～第四の実施形態で説明した、前方密度 D_f 、後方密度 D_r に基づいて、互いの車両間隔を調整する運行制御を行う。

また、過密化運転モード時においては、運行管理装置 10 は、上記第五～第六の実施形態にで説明した、混雑情報に基づいて、時刻 T_1 、目標駅 H_m において意図的に過密化状態を形成する運行制御を行う。

[0156] 例えば、運転モード判断部 105 は、前後密度差 ΔD が密度差閾値 α 以下となっている場合には、通常運転モードで運行制御を行う（すなわち、対象車両 20i は、運行ダイヤ通りに各駅を出発する。）一方、運行管理装置 10 は、前後密度差 ΔD が密度差閾値 α を上回った場合には、車両間隔を調整するための間隔調整モードの運行制御に移行する。

このようにすることで、運行管理装置 10 は、運行の遅れが生じていない場合には、予め定められたダイヤ通りの運行サービスを提供することができる。

[0157] なお、出発判断部 102 は、間隔調整モードの運行制御に移行した場合には、上述したように、前方密度 D_f 、後方密度 D_r に基づいて対象車両 20i の出発時刻が調整される。この際、出発判断部 102 は、間隔調整モード時における対象車両 20i の出発時刻が、その対象車両 20i が当駅を本来出発すべき時刻である出発最早時刻よりも早い時刻とならないように調整してもよい。

このようにすれば、運行管理装置 10 は、対象車両 20i が当駅を本来出発すべき時刻よりも早い時刻で出発しないようにすることができるので、利用客は、乗車を予定していた車両に乗り遅れるのを防止することができる。

[0158] また、運転モード判断部 105 は、所定の混雑情報を入力したタイミングで直ちに過密化運転モードに切り替えて、過密化状態を形成する運行制御を開始する。

[0159] また、運行管理装置 10 の実際の運用にあたっては、図 19 に示すように、運行管理装置 10 の指示と各車両 201 ~ 20n の運行との間に、保安装置（連動装置）40 及び信号機 6 による処理が存在してもよい。

ここで、一般的な運行管理装置では、全車両を追跡し、その位置を把握することで、予め定められた運行ダイヤに対する各車両の運行の進捗を把握している。そして当該運行管理装置は、運行ダイヤに対する各車両の運行の進捗に基づき、進路要求を保安装置（連動装置ともいう）に伝達する。ここで保安装置とは、各車両の安全性を確保しながら運行の制御を行う運行制御装置である。そして保安装置は、運行管理装置からの進路要求を受信すると、安全性の面から車両の出発可否を判断する。ここで保安装置が出発を許可すると、保安装置はその進路に対応する信号機を青にし、車両は出発することができる。この信号機が赤のままであれば、車両は停止を維持する。

以下、保安装置 40 の進路に対応する信号機において青または赤を表示させる処理を、当該進路への進行を許可する、許可しないと表現する。

[0160] この場合において、出発判断部 102 は、対象車両 20i への出発指示送信前に、軌道 3 の経路情報に基づいて、経路判断部 103 により特定された対象車両 20i が進行すべき経路について、保安装置 40 に対して進路要求を送信し、進行の許可を得る処理を行う。

[0161] ここで図 19 に示すように、保安装置 40 は、車両防護判断部 400 と信号機制御部 401 を備えている。

車両防護判断部 400 は、運行管理装置 10 から、対象車両 20i が進行しようとする進路についての進路要求を受信すると、対象車両 20i を、安全性の面から、その進路に進行させてもよいか否かを判定する。車両防護判断部 400 は既知の技術であるので、その具体的な機能については説明を省略するが、例えば車両防護判断部 400 は、その進行先に他の車両が存在する

場合などには対象車両 20 i の進行の許可をせず、当該他の車両がその場からいなくなってから対象車両 20 i の進行を許可する。

[0162] なお、経路判断部 103 は、運行進捗計算部 107 の算出結果に基づいて、対象車両 20 i がこれから進行しようとする経路を特定する。このとき、複数の経路候補が選択可能である時は、経路判断部 103 は、その経路候補及び、それぞれの経路について予め定められた優先順位を示す情報を出発判断部 102 に出力してもよい。この場合、出発判断部 102 は、保安装置 40 に対し、与えられた優先順位の順番で各経路候補についての進路要求を送信する処理を行ってもよい。

[0163] 信号機制御部 401 は、車両防護判断部 400 が受信した進路要求に対し、その進路への進行の許可または不許可に応じて、実際にその進路に対応する信号機 6 を青または赤に切り替える制御を行う機能部である。

[0164] 以上のように、運行管理装置 10 は、保安装置 40 の制御に基づいて安全性が確保される状況下において、上述した各実施形態に基づく運行制御を行うものとしてもよい。このようにすれば、例えば、間隔調整モード時において出発判断部 102 が送信する、前方密度 D_f 、後方密度 D_r に応じた出発指示は、保安装置 40 の制御に基づく安全性が確保される条件を満たした上で発せられる。したがって、車両交通システム 1 は、高い安全性を確保しつつ、上述した各実施形態における各機能を発揮することができる。

[0165] なお、上述の運行管理装置 10 は、内部にコンピュータシステムを有している。そして、上述した運行管理装置 10 の各処理の過程は、プログラムの形式でコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記憶されており、このプログラムをコンピュータが読み出して実行することによって、上記処理が行われる。ここで、コンピュータ読み取り可能な記録媒体とは、磁気ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM (Compact Disk Read Only Memory) または半導体メモリ等をいう。また、このコンピュータプログラムを通信回線によってコンピュータに配信し、この配信を受けたコンピュータが当該プログラムを実行するようにしても良い。

産業上の利用可能性

[0166] 上述した運行管理装置、運行管理方法、車両、車両交通システム及びプログラムによれば、車両による輸送サービスの提供が不均一となった場合に、これをより迅速に解消する効果が得られる。また、ある車両を急遽車両基地に引き上げる場合や、故障車が路線上にいる場合などの突発的な事象が生じた場合であっても、ダイヤの調整を行うことなく運行を継続することができる。

符号の説明

- [0167] 1 車両交通システム
- 10 運行管理装置
 - 100 車両位置取得部
 - 101 密度演算部
 - 102 出発判断部
 - 103 経路判断部
 - 104 間隔調整部
 - 105 運転モード判断部
 - 106 ダイヤ情報記憶部
 - 107 運行進捗計算部
 - 200～20n 車両
 - 3 (3a、3b、3c) 軌道

請求の範囲

- [請求項1] 軌道に沿って走行する複数の車両の運行を管理する運行管理装置であって、
前記軌道上に存在する前記複数の車両の位置を取得する車両位置取得部と、
前記軌道上の所定範囲内を走行する前記複数の車両の密度を算出する密度演算部と、
所定の対象車両の走行方向前方における所定範囲内を走行する車両の密度を示す前方密度と、前記対象車両の走行方向後方における所定範囲内を走行する車両の密度を示す後方密度と、の何れか一方または両方に基づいて、前記対象車両に対して出発指示を送信する時刻を変更することで、前記対象車両の出発時刻を調整する出発判断部と、
を備える運行管理装置。
- [請求項2] 前記出発判断部は、
前記前方密度と、所定の前方密度閾値との大小関係に基づいて、前記対象車両の停車駅における出発時刻を調整する
請求項1に記載の運行管理装置。
- [請求項3] 前記出発判断部は、
前記後方密度と、所定の後方密度閾値との大小関係に基づいて、前記対象車両の停車駅における出発時刻を調整する
請求項1または請求項2に記載の運行管理装置。
- [請求項4] 前記出発判断部は、
前記前方密度から前記後方密度を差し引いた値である前後密度差が所定の密度差閾値よりも大きい場合には、前記対象車両の停車駅における出発時刻を遅らせる
請求項1から請求項3の何れか一項に記載の運行管理装置。
- [請求項5] 前記出発判断部は、さらに、
前記対象車両と、その走行方向前方の直近を走行する他の車両との車

間距離と、前記対象車両と、その走行方向後方の直近を走行する他の車両との車間距離と、の何れか一方または両方に基づいて、前記対象車両の停車駅における出発時刻を調整する

請求項 1 から請求項 4 の何れか一項に記載の運行管理装置。

[請求項6]

前記車両位置取得部は、

さらに、前記複数の車両の走行方向を取得し、

前記密度演算部は、

前記対象車両が走行する軌道上の走行方向前方において、当該対象車両の走行方向と逆方向に走行する車両が存在すると判定した場合には、前記前方密度を高める補正を行う

請求項 1 から請求項 5 の何れか一項に記載の運行管理装置。

[請求項7]

前記出発判断部は、さらに、

事前に各車両・駅毎に定められた出発最早時刻が記録された運行ダイヤ情報を参照し、前記出発時刻を、当該出発最早時刻よりも早い時刻とならないように調整する

請求項 1 から請求項 6 の何れか一項に記載の運行管理装置。

[請求項8]

前記出発判断部は、さらに、

前記対象車両へのお発指示の送信前に、前記軌道の経路情報に基づいて特定された当該対象車両が進行すべき経路について、安全性を確保しながら運行の制御を行う保安装置に対し、進行の許可を得る

請求項 1 から請求項 7 の何れか一項に記載の運行管理装置。

[請求項9]

請求項 1 から請求項 8 の何れか一項に記載の運行管理装置と、

前記運行管理装置から前記対象車両の識別情報、位置情報、及び経路情報を受信して、前記対象車両の各駅についての到着予定時刻を算出し、当該算出された到着予定時刻を、各駅に設置されている表示スクリーンへ表示させる旅客案内情報システムと、
を備える車両交通システム。

[請求項10]

軌道に沿って走行する車両であって、

前記軌道上に存在する自車両を含む複数の車両の位置を取得する車両位置取得部と、

前記軌道上の所定範囲内を走行する前記複数の車両の密度を算出する密度演算部と、

自車両の走行方向前方における所定範囲内を走行する他の車両の密度を示す前方密度と、自車両の走行方向後方における所定範囲内を走行する他の車両の密度を示す後方密度と、の何れか一方または両方に基づいて、自車両の停車駅における出発時刻を調整する出発判断部と、を備える車両。

[請求項11] 軌道に沿って走行する複数の車両の運行を管理する運行管理方法であって、

前記軌道上に存在する前記複数の車両の位置を取得し、

所定の対象車両の走行方向前方における所定範囲内を走行する車両の密度を示す前方密度と、前記対象車両の走行方向後方における所定範囲内を走行する車両の密度を示す後方密度と、を算出し、

前記前方密度と、前記後方密度と、の何れか一方または両方に基づいて、前記対象車両の停車駅における出発時刻を調整する運行管理方法。

[請求項12] 軌道に沿って走行する複数の車両の運行を管理する運行管理装置のコンピュータを、

前記軌道上に存在する前記複数の車両の位置を取得する車両位置取得手段、

前記軌道上の所定範囲内を走行する前記複数の車両の密度を算出する密度演算手段、

所定の対象車両の走行方向前方における所定範囲内を走行する車両の密度を示す前方密度と、前記対象車両の走行方向後方における所定範囲内を走行する車両の密度を示す後方密度と、の何れか一方または両方に基づいて、前記対象車両の停車駅における出発時刻を調整する時

刻調整手段、
として機能させるプログラム。