

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-153427

(P2015-153427A)

(43) 公開日 平成27年8月24日 (2015. 8. 24)

(51) Int.Cl.		F I			テーマコード (参考)
G06Q 50/10	(2012.01)	G06Q 50/10	1 8 0		5 L 0 9 6
G06T 7/20	(2006.01)	G06T 7/20	B		
		G06Q 50/10	1 1 0		

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2015-24801 (P2015-24801)	(71) 出願人	596170170
(22) 出願日	平成27年2月10日 (2015. 2. 10)		ゼロックス コーポレイション
(31) 優先権主張番号	14/179, 970		XEROX CORPORATION
(32) 優先日	平成26年2月13日 (2014. 2. 13)		アメリカ合衆国、コネチカット州 O 6 8
(33) 優先権主張国	米国 (US)		5 6、ノーウォーク、ピーオーボックス
			4 5 0 5、グローバー・アヴェニュー 4
			5
		(74) 代理人	100079049
			弁理士 中島 淳
		(74) 代理人	100084995
			弁理士 加藤 和詳
		(72) 発明者	クリストファー・アール・ダンス
			フランス共和国 グレノーブル 3 8 0 0
			O リュ・シャルル・テストゥー 3

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 需要管理のための複数の対象の追跡

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】空間的に分散した対象の集合に関する追跡パラメータを監視するシステムを提供する。

【解決手段】コンピュータ 10 は、第 1 の方法 O により、観察対象の集まりの現在の集合 40 を受け取る。第 1 の方法 O により、モバイル観察ユニットを用いて、追跡パラメータを観察する 4 2。モバイル観察ユニットを使用しない第 2 の方法 P を用いて、追跡パラメータを観察する 4 4。アプリケーションモジュール 4 6 は、観察処理 4 2 により生成される観察データ及び観察処理 4 4 により生成される観察データを用いて、政策決定等を行う。観察データ 4 2、4 4 とを組み合わせたデータから、将来の時間間隔でモバイル観察ユニットが観察する対象の集まりの選択 4 0 を更新する 5 0。モバイル観察ユニットの配置を決定する 5 2。モバイルユニット配置インターフェースモジュール 5 6 によりモバイル観察ユニットの配置をディスプレイ装置 5 8 に表示する。

【選択図】 図 1

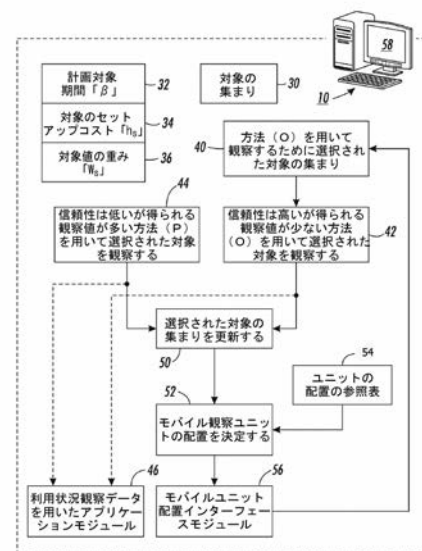


図 1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

空間的に分散した対象の集合に関する追跡パラメータを監視するシステムであって、
 前記空間的に分散した対象の集合内の選択部分集合に関する前記追跡パラメータの観察値を取得するよう設定される一連のモバイル観察ユニットを含む第 1 の観察システムと、
 少なくとも前記空間的に分散した対象の集合内の前記選択部分集合以外の前記空間的に分散した対象の集合内の対象に関して、前記一連のモバイル観察ユニットを使用しないで前記追跡パラメータの観察値を取得するよう構成される第 2 の観察システムと、
 コンピュータであって、

前記空間的に分散した対象の集合内の前記選択部分集合に属する対象に関しては、前記対象に関する現在の変化、および前記第 1 の観察システムを用いて前記対象に関して取得される観察値で動作する変化更新関数を計算し、

前記空間的に分散した対象の集合内の前記選択部分集合に属さない前記空間的に分散した対象の集合内の対象に関しては、前記対象に関する前記現在の変化、および前記第 2 の観察システムを用いて前記対象に関して取得される観察値で動作する変化更新関数を計算することにより、前記空間的に分散した対象の集合内の対象ごとの変化予測を生成するよう構成され、

前記空間的に分散した対象の集合内の前記選択部分集合を更新して、前記空間的に分散した対象の集合内の前記更新された選択部分集合に対する変化予測の集まりを最大にするようさらに構成されるコンピュータと、を含むシステム。

【請求項 2】

前記空間的に分散した対象の集合内の前記対象が一連の対象の集まり「C」にグループ分けされ、各対象集まり内の前記各対象が単一のモバイル観察ユニットにより観察可能となり、前記コンピュータが、前記空間的に分散した対象の集合内の前記選択部分集合を時間「t」で更新して、目標

【数 1】

$$\max_{M \rightarrow C} \sum_{s \in A_t} W_{s,t}$$

を最適化するよう構成され、「M」は前記一連のモバイル観察ユニットを示し、「M→C」は前記一連の対象の集まり「C」のうちの集まりへの前記一連のモバイル観察ユニット「M」のうちの前記モバイル観察ユニットの割り当てを示し、「A_t」は前記割り当て「M→C」により観察可能な前記空間的に分散した対象の集合内の前記部分集合を示し、「W_{s, t}」は将来の時間間隔に対する対象「s」に関する前記変化予測に依存する指数を示す、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記指数は「W_{s, t}」は、Whittle 指数である、請求項 2 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記対象に関する現在の変化、および前記第 1 の観察システムを用いて前記対象に関して取得された観察値で動作する前記変化更新関数は、カルマン更新関数であり、

前記対象に関する前記現在の変化、および前記第 2 の観察システムを用いて前記対象に関して取得された観察値で動作する前記変化更新関数は、カルマン更新関数である、請求項 2 に記載のシステム。

【請求項 5】

前記空間的に分散した対象の集合には、一連の駐車スペース区画が含まれ、前記モバイル観察ユニットには、モバイルカメラユニットのカメラにより見られる駐車スペース区画内の駐車スペースの利用状況を検知するよう構成される前記モバイルカメラユニットが含まれる、請求項 2 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、データ収集および追跡技術、需要管理技術、およびそれらの関連技術に関し、かつ、車両駐車リソース管理、世論調査などのこれらの用途にも関する。

【背景技術】

【0002】

問題の追跡では、一般に、リソース管理（リソースの使用を追跡するとき）、世論調査（関心のある話題に対する意見を追跡するとき）、政策決定などの目的で使用可能な追跡パラメータの傾向を予測する目的で、追跡パラメータの監視が必要である。追跡パラメータの値を長い時間観察して、これらの観察をモデリング、データフィッティングなどで分析して、傾向またはその他の予測情報を導き出す。実例として、駐車リソースの使用状態は、利用率（すなわち、有効な駐車スポットの総数に対する利用されている駐車スポットの利用率）を監視することにより追跡可能である。別の実例として、選挙前の世論調査では、追跡パラメータは特定の候補者を支持している有権者の割合でよい。

10

【0003】

追跡は、屋外の大型駐車スポット、路上駐車スポット、屋内ガレージの駐車スポットなど、あるいは、異なる地域（都市の中心部、郊外、東側、西側など）の駐車施設の利用状況の追跡など種々の対象のカテゴリに対して実行可能である。同様に、選挙の世論調査では、関心として、異なる人口層、異なる地域などに関する候補者の支持率を知ることができる。

【0004】

データの追跡には観察値が含まれる。例えば、駐車場の利用状況は、駐車券の販売、および／または、その後車両が駐車施設を出る際の精算から観察値を取得することができる。あるいは、例えば、地中センサ、カメラ、またはその他の直接測定センサを用いて駐車場の利用状況を直接観察することができる。意見の観察値は、例えば、ソーシャルメディアのウェブサイトでのデータマイニングを行うことで間接的に取得することができる、あるいは、有権者に支持候補を直接聞く調査を行うことで直接取得することができる。

20

【0005】

一般に、より間接的すなわち推論の追跡データと比較すると、追跡パラメータを直接測定することは信頼性が高い。その一方で、より間接的すなわち推論の追跡方法と比較すると、データを集めるために費やされるリソースに関して、直接追跡はコストがかかり得る。言い換えると、一般に、直接追跡データは、間接追跡と比較すると、与えられたリソースの支出に対して成果が少ない。例えば、駐車スポットごとに占有センサを設け、継続的に監視することはコストがかかり、それとは対照的に、利用率情報を既に有効な駐車券の売り上げと精算データに基づいて推測することが可能である。同様に、ソーシャルメディアのサイトのデータマイニングはウェブクローラなどにより自動的に実行可能であるが、一方で候補者の支持率の情報を直接取得するには、よりコストがかかるダイレクトメールおよび／または面接調査活動を行わなければならない。

30

【0006】

対象人口をサンプリングすることにより、直接追跡のコストを抑えることが可能である。例えば、一般に、世論調査は有権者の小さいサンプル集団に対して行われ、調査結果を外挿して、統計的な推定誤差を含む、全体の有権者を推測する。しかし、サンプリングされた追跡データの信頼性は、全ての対象の網羅的な追跡に比べると低い。駐車場の利用状況の監視の分野では、モバイルユニットとして構成可能なビデオベースの駐車占有センサを用いることが知られている。Bulan et al 著「Video-based real-time on-street parking occupancy detection system」, Journal of Electronic Imaging vol. 22 no. 4 pages 041109-1~041109-1（2013年10月~12月）を参照。

40

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0007】

50

本明細書で開示されるいくつかの実施形態では、非一時的な記憶媒体が、電子データ処理装置が読取および実行可能な、追跡方法を実行するための命令を格納し、この方法には、第1の方法（O）を適用して、対象の集合内の選択部分集合に関する追跡パラメータの観察値を取得する動作と、第1の方法とは異なる第2の方法（P）を適用して、少なくとも対象の集合内の選択部分集合以外の対象の集合内の対象に関する追跡パラメータの観察値を取得する動作と、対象の集合内の選択部分集合内の対象に関しては、第1の方法（O）を用いて取得された追跡パラメータの観察値で動作する変化更新関数（g）を用いて、または対象の集合内の選択部分集合内以外の対象に関しては、第2の方法（P）を用いて取得された追跡パラメータの観察値で動作する変化更新関数（f）を用いて、対象の集合内の対象ごとの変化予測を生成する動作と、対象の集合内の選択部分集合を更新して、対象の集合内の更新された選択部分集合に関する変化予測の集まりを最大にする動作と、を含む一連の動作を反復して繰り返すステップが含まれる。

10

【0008】

本明細書で開示されるいくつかの実施形態では、対象の集合に関する追跡パラメータを監視する追跡方法が開示される。この追跡方法には、現在の時間間隔中に第1の方法を適用して、対象の集合内の選択部分集合に関する追跡パラメータの観察値を取得するステップと、現在の時間間隔中に、第1の方法とは異なる第2の方法を適用して、少なくとも対象の集合内の選択部分集合以外の対象に関する追跡パラメータの観察値を取得するステップと、対象の集合内の選択部分集合内に対象が存在する場合は、その対象に関する現在の変化、および第1の方法を用いて現在の時間間隔中にその対象に関して取得された観察値で動作する変化更新関数を計算し、あるいは対象の集合内の選択部分集合内以外に対象が存在する場合は、その対象に関する現在の変化、および第2の方法を用いて現在の時間間隔中にその対象に関して取得された観察値で動作する変化更新関数を計算するよう設定されたコンピュータを用いて、対象ごとの将来の時間間隔に関する変化予測を生成するステップと、コンピュータを用いて、将来の時間間隔に関する対象の集合内の選択部分集合を更新して、対象の集合内の更新された選択部分集合に対する変化予測の集まりを最大にするステップと、が含まれる。

20

【0009】

本明細書で開示されるいくつかの実施形態では、空間的に分散した対象の集合に関する追跡パラメータを監視するシステムが開示される。このシステムは、空間的に分散した対象の集合内の選択部分集合に関する追跡パラメータの観察値を取得するよう設定された一連のモバイル観察ユニットを含む第1の観察システムと、少なくとも空間的に分散した対象の集合内の選択部分集合以外の空間的に分散した対象の集合内の対象に関する追跡パラメータの観察値を、一連のモバイル観察ユニットを用いずに取得するよう構成された第2の観察システムと、コンピュータと、を含む。このコンピュータは、空間的に分散した対象の集合内の選択部分集合に属する対象に関しては、その対象に関する現在の変化、および第1の観察システムを用いてその対象に関して取得された観察値で動作する変化更新関数を計算することにより、かつ、空間的に分散した対象の集合内の選択部分集合に属していない空間的に分散した対象の集合内の対象に関しては、その対象に関する現在の変化、および第2の観察システムを用いてその対象に関して取得された観察値で動作する変化更新関数を計算することにより、空間的に分散した対象の集合内の対象ごとの変化予測を生成するよう構成される。このコンピュータは、空間的に分散した対象の集合内の選択部分集合を更新して、空間的に分散した対象の集合内の更新された選択部分集合に対する変化予測の集まりを最大にするようさらに構成される。

30

40

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】図1は、追跡システムの図である。

【図2】図2は、ビデオカメラを用いる事例のモバイル観察ユニットを示す側面図である。

。

【図3】図3は、ビデオカメラを用いる事例のモバイル観察ユニットを示す上面図である。

50

。

【図4】図4は、路上駐車内のブロック面の形態の駐車スペース区画の集まりを観察する2台のモバイル観察ユニットを設置している様子を示す図である。

【図5】図5は、図4の中で設置されている各モバイルユニットにより観察可能な対象のブロック面の表を示す図である。

【図6】図6は、一連のモバイル観察ユニットにより観察される選択された対象の集まりを更新する動作のフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0011】

対象の集合に関する追跡パラメータの価値の高い観察値を取得する1つのアプローチは、一連の観察ユニットを用いることである。観察ユニットのコストがかかる場合は、観察ユニットの数を観察される対象の数より少なくしてもよい（ときには、大幅に少なくする）。そのような場合には、観察ユニットを複数の対象に割り当てる。一連の観察ユニットに代表される、限られたリソースを効率的に用いるには、このように割り当てること が有効である。

10

【0012】

全ての追跡観察値を一連の観察ユニットで生成する場合、特定の時間間隔で全ての対象をカバーするために、観察ユニットを対象の間で適切にローテーションさせる（例えば、「ラウンドロビン」アプローチ）。全ての対象が等しい値を有すると見なされていない場合、このローテーションを調整して低い値の対象よりも高い値の対象の観察により多くのリソースを費やすことが可能である。

20

【0013】

これらのアプローチでは、観察ユニットを使用する、1つだけの追跡方法を用いることを前提としている。しかし、追跡データを取得するために、コストの安い第2の方法が利用可能であれば、観察ユニットを割り当てる際に、観察ユニットをより良く利用するために、第2の方法により提供される追跡データをさらに考慮することが可能であることが、本明細書では確認される。

【0014】

その他に考慮することは、観察ユニットが複数の対象を観察可能かどうかである。例えば、各対象が駐車スペース区画である、駐車場の利用状況の追跡の場合、ビデオベースの駐車占有センサが複数の駐車スペース区画を同時に観察するよう設定可能である（すなわち、効率的かつ同時に観察する、例えば、異なる駐車スペース区画を見るための異なる角度の間を、駐車スペース利用状況を効率的にリアルタイムで取り込むために十分な速度で、カメラを回転させることにより）。

30

【0015】

本明細書で開示される通り、観察ユニットを用いる第1の方法により取得された観察データ、および観察ユニットを用いない第2の方法により取得された観察データの両方に基づいて、これらの変化予測が生成される。このような状況では、観察ユニットの割り当てを最適化することにより、好都合にも、観察ユニットの割り当てに対する変化予測の集まりが最大になる。変化予測の集まりは様々な形態をとることができ、いくつかの実施形態では、この集まりは、Whittle 指数に対する集まりである。Whittle 著の「Restless Bandits: Activity Allocation in a Changing World」、Journal of Applied Probability 25巻 287～298ページ（1988年）を参照。Whittle 指数とは、時間「t」でプロジェクト「i」を行わない見返りとして、意思決定者にプロジェクト「i」を行う度に補助金を払うよう意図した指数である。すなわち、時間「t」でプロジェクト「i」を行っても、行わなくても同じように魅力的にする補助金がWhittle 指数として知られている。しかし、将来の時間間隔に関する対象の変化予測に依存する別の指数を用いることも可能である。

40

【0016】

50

観察ユニットが対象のグループを観察可能な用途に関して、開示されているアプローチを改良して、一連の対象の集まりに対する観察ユニットの割り当てを最大にすることができる。各対象の集まりには、単一の観察ユニットで観察可能な対象の部分集合が含まれる。あるアプローチでは、対象の集合内の対象が一連の対象の集まり「C」にグループ分けされ、各対象集まり内の各対象が単一の観察ユニットにより観察可能となる。時間「t」で一連の観察ユニット「M」が観察するために、選択された対象の集合内の部分集合を選んで、目標

【数 1】

$$\max_{M \rightarrow C} \sum_{s \in A_t} W_{s,t}$$

10

を最適化する。なお、「 $M \rightarrow C$ 」は、一連の対象のうちの集まり「C」のうちの集まりへの一連のモバイル観察ユニット「M」のうちの観察ユニットの割り当てを示し、「 A_t 」は、割り当て「 $M \rightarrow C$ 」により観察可能な空間的に分散した対象の集合内の部分集合を示し、「 $W_{s,t}$ 」は、将来の時間間隔に対する対象「s」に関する変化予測に依存する、Whittle 指数などの指数を示す。なお、対象の集まりは重複する可能性がある。例えば、所与の対象「s」が、一連の対象の集まり「C」のうちの2つの以上の対象の集まりに属する可能性がある。

【0017】

実例を通して、駐車場の利用状況の追跡タスクを説明する。但し、開示される追跡技術は、対象の集合が、対象の集合より少ない一連の観察ユニットにより観察され（したがって、観察ユニットは、有用かつ最適に、数個の対象に割り当てられる）、観察ユニットに依存しない第2の方法によっても観察される、その他の追跡タスクに適用可能である。駐車場の利用状況を追跡するタスクに関して、追跡パラメータは、駐車場の利用状況の指標が好ましい。本明細書で使用される、駐車スペース区画の「収容力」は、その駐車スペース区画内に含まれる駐車スペース（すなわち、駐車ストール）の数と同じである。利用率は追跡パラメータとして好適に用いられ、駐車スペース区画に関して利用されているストールの数の収容力に対する割合として規定される。

20

【0018】

実例では、2つの追跡データ収集方法が用いられている。第1の方法では、ビデオカメラなどのモバイル追跡ユニットを用いる。例えば、Bulan et al 著「Video-based real-time on-street parking occupancy detection system」, Journal of Electronic Imaging vol. 22 no. 4 pages 041109-1~041109-15 (2013年)を参照。モバイル追跡ユニットは、一般に、ほぼリアルタイムで駐車場の利用状況を判定することができ、いくつかの実施形態では、モバイルユニットにより観察された、特定なブロック面に対する特定な週の特定な時間帯（例えば、月曜～金曜の午前9時～午前11時）に対する時間平均の利用率を用いることができるため有用である。

30

【0019】

第2の方法では、支払い情報を用いて、所与の時間での駐車スペース区画に関する利用率を計算する。例えば、収容力に対する支払い済みストールの数の割合（「終日」駐車に適した）、すなわち販売された駐車券と清算された駐車券との間の差として、駐車スペース区画の利用率を計算する。この第2の方法は、直接観察する方法と同様に、好適な時間平均、例えば、特定なブロック面に関する特定な週の特定な時間帯の時間平均支払い率を用いることができ有用である。支払いの追跡データは、一般に、モバイル観察ユニットにより生成される直接観察の追跡データより価値が低いことは理解されよう。例えば、いくつかの駐車スペースは利用されている可能性があるが、ドライバが駐車料金を払っていないか、あるいはドライバが追跡には正確に反映されていない駐車クーポン券を使っていたりする場合などがある。その一方で、支払い追跡データは、一般に、集金システムの一部として自動的に取得できるため、直接観察データよりも安い。

40

50

【0020】

実例の実施形態では、将来の利用状況の予測における、重みを付けられた二乗誤差の割り引かれた合計、マイナスのセットアップコストを最小にすることが目標である。この合計は、好適に、数週間（例えば、月曜～金曜の午前9時～午前11時、またはその他の時間帯）、および複数のブロック面またはその他の駐車スペース区画にわたる。問題の用途に関する正確な予測の重要性（例えば、より多くの駐車スペースを有する駐車スペース区画は、小さい駐車スペース区画より重要と見なされる、および／または、駐車料金が低い主要地域内の駐車スペース区画は、駐車料金が低い周辺の駐車スペース区画よりも重要であり得るなど）を反映させるために、重みが選択される。セットアップコストは駐車スペース区画で変化する可能性があり、モバイル観察ユニット（例えば、モバイル駐車カメラ）が道路交差点などのブロック面に配置されるごとに発生する。セットアップコストには、（実例を通して）観察ユニットの搬送コスト、画像内の各駐車ストールの関心のある領域を識別する調整コストなどが含まれ得る。一般に、各駐車スペース区画が対象として処理され、所与のモバイル観察ユニットは、2つの以上の駐車スペース区画を観察することが可能である。

10

【0021】

この実例では、以下の記号が用いられている。対象の集合（例えば、この例では、駐車スペース区画）は、対象の集合「S」と示される。一連のモバイル観察ユニットは、「M」と示される。時間の集合（または時間間隔）は、「T」と示される。対象の集まりの集合

20

【数2】

$$\mathcal{C} := \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$$

が規定され、各対象の集まり

【数3】

$$S_1, S_2, \dots, S_n$$

は規定された対象の集合内の部分集合「S」であり、これは単一のモバイル観察ユニットにより観察可能である。時間「 $t \in T$ 」で、センサ「 $m \in M$ 」は、1つの対象の集まりを観察し、このことは

30

【数4】

$$C_{m,t} \in \mathcal{C}$$

と示される。対象の集合の部分集合「S」は、時間「t」でモバイル観察ユニットを対象の集まりにいくつか割り当てることにより観察され、この割り当ては、

【数5】

$$\mathcal{A}_t := \bigcup_{m \in M} C_{m,t}.$$

と示される。各対象「 $s \in S$ 」は、重み

【数6】

$$w_s \in \mathbb{R}_+$$

およびセットアップコスト

【数7】

$$h_s \in \mathbb{R}_+$$

を有する。一対の変化更新関数

【数8】

$$f_s: \mathbb{R}_+ \rightarrow \mathbb{R}_+, g_s: \mathbb{R}_+ \rightarrow \mathbb{R}_+$$

50

が規定され、対象「s」の変化

【数 9】

$$V_{s,t} \in \mathbb{R}_+$$

が時間「t」で下記の通り更新されると解釈される：

【数 10】

$$V_{s,t+1} = \begin{cases} f_s(V_{s,t}) & \text{if } s \notin \mathcal{A}_t \\ g_s(V_{s,t}) & \text{if } s \in \mathcal{A}_t \end{cases} \quad (1)$$

これらの等式を、記号を用いて下記の式の通り組み合わせることができる。

【数 11】

$$V_{s,t+1} =: \phi_{\mathcal{A}_t}(V_{s,t}) \quad (2)$$

等式（1）では、記号

【数 12】

$$s \notin \mathcal{A}_t$$

は、時間「t」で対象「s」が、どのモバイル観察ユニットにも観察されていないことを示し、記号「 $s \in \mathcal{A}_t$ 」は、時間「t」には対象「s」はいくつかのモバイル観察ユニットにより観察されていることを示している。目標は、セットアップコスト、および割引係数「 $\beta \in (0, 1)$ 」、またはこの式の制限「 $\beta \rightarrow 1$ 」に関する重みを付けられた変化の割り引かれた合計が最小になるように、対象の部分集合への（より具体的には対象集まりへの）モバイル観察ユニットの割り当てを選択することである：

【数 13】

$$\min_{C, \cdot: \mathcal{M} \times \mathcal{T} \rightarrow \mathcal{C}} \left\{ \sum_{t \in \mathcal{T}} \beta^t \left(\sum_{s \in \mathcal{A}_t} h_s + \sum_{s \in \mathcal{S}} w_s V_{s,t} \right) : V_{s,t} = \phi_{\mathcal{A}_t}(V_{s,t-1}) \right\} \quad (3)$$

【0022】

図1～図3を参照すると、実例の追跡システムは、コンピュータ10（図1）、および一連のモバイル観察ユニットを含み、コンピュータ10は、本明細書で開示されているコンピュータ動作を行うためのソフトウェアまたはその他の実行可能命令によりプログラムされており、実例のモバイル観察ユニット12は、図2および図3でそれぞれ側面と上面が示されている。このモバイル観察ユニット12は、カメラ14を含み、このカメラ14はポスト16などの高い位置に取り付けられ、回転するように設定されている（好ましくは、全回転はしないと考えられるが、360度全体にわたって）。モバイル観察ユニット12は車輪を有する台座18をさらに含み、この台座18は、いくつかの実施形態では、連結部20を介してトラックに連結可能な被牽引車として構成されるが、平台型などのその他の搬送設備でもよい。この台座は、便宜的に手すり22などの、その他の特徴を含むことができる。このモバイル観察ユニット12は、電子データ処理装置をさらに含む、あるいは、電子データ処理装置と動作可能に接続する（いくつかの実施形態では、この電子データ処理装置には、コンピュータ10が含まれ得るが、他の実施形態では、台座18に配置されるオンボードコンピュータまたはデジタルプロセッサ（図示せず）が含まれ得る）。この電子データ処理装置は、カメラ14を制御して、対象（例えば、駐車スペース区画）のビデオ画像を取得し、そのビデオ画像を処理して、駐車スペース区画内の駐車スペースの利用状況をほぼリアルタイムで判定する。いくつかの好適なビデオ画像処理手順は、例えば、Bulan et al 著の「Video-based real-time on-street parking occupancy detection sy

10

20

30

40

50

stem」, Journal of Electronic Imaging vol. 22 no. 4 pages 041109-1~041109-1 (2013年10月~12月)で説明されている。

【0023】

さらに図4を参照すると、モバイル観察ユニット（実例では、図2および図3のユニット12）の集合「M」が、一連の対象の集まり「C」のうちの対象の集まりに割り当てられている。図4には、駐車スペース区画B1、B2、B3、B4、B5、B6、B7（この実例では、路上駐車ブロック面である）の集まりを観察するために、これらの2台のモバイル観察ユニット（図4には、モバイル観察ユニットM1およびM2としてそれぞれ示されている）が、道路交差点で割り当てられた様子を上から見た図が示されている。図4で見られる通り、モバイル観察ユニットM1は、4つのブロック面B1、B2、B3、B4をリアルタイムで観察するよう配置されている。「ほぼ」リアルタイムとは、モバイル観察ユニットM1のカメラ14（図2および図3参照）が、4つのブロック面B1、B2、B3、B4をそれぞれ見るために異なる角度の間で比較的矢継早に回転可能であることを意味する。一般に、駐車スペースは、車両により、少なくとも数分間占有される。そのため、カメラ14が回転して、その回転の数十秒から数分のサイクルの間に、各ブロック面を観察することができれば、4つのブロック面B1、B2、B3、B4の全ての駐車スペースを事実上（すなわち、ほぼ）リアルタイムで監視することが可能となる。（別の実施形態（図示せず）では、モバイル観察ユニットM1は、異なる駐車スペース区画を同時に見る複数の非回転カメラを含むことができる。さらに別の実施形態では、複数のブロック面を同時に見る、単一の非回転の広角カメラが設けられる。）例えば、ビデオ画像が、各駐車スペースを処理するために分割され、パターンマッチング、照合フィルタリング、特徴識別、またはその他の好適な技術を用いて、駐車スペースが利用されているか、あるいは空いているかが特定される。いくつかの実施形態では、例えば、カメラの角度の中心が各駐車スペースに合っていることを人間の操作者が確認し、かつ／または随意的にビデオの視野を手動で分割させることにより、モバイル観察ユニットM1を、セットアップの一部として調整する。

【0024】

引き続き図4を参照し、そしてさらに図5を参照すると、同様に、図4のモバイル観察ユニットM2は、4つのブロック面B1、B5、B6、B7をリアルタイムで観察するために、別の観察角度に回転可能である。図5の表で示される通り、2つの対象の集まり、すなわちモバイル観察ユニットM1が割り当てられる対象の集まり{B1、B2、B3、B4}、およびモバイル観察ユニットM2が割り当てられる対象の集まり{B1、B5、B6、B7}を規定することにより、この地理的配置を取り込むことが好ましい。なお、駐車スペース区画B1は両方の対象の集まりに属する。

【0025】

戻って図1を参照すると、一連の対象の集まり「C」が図の中で要素30として示されている。このデータがコンピュータ10に入力される。例えば、駐車スペース区画を1度調査して、図4に示されている配置などの、好適なモバイル観察ユニットの配置を決定し、これらの各配置から観察可能な駐車スペース区画を特定することによりこのデータは生成される。（この情報は、フォローアップ調査に基づいて適切に更新可能であり、例えば、駐車スペース区画の開閉を示すため更新することも可能である。）コンピュータ10は、図1のブロック32として示される、対象の選択の計画対象期間（または、割引係数）「 β 」も入力として受け取り、これにより、変化予測の作成において時間的に古い追跡データの好適な割引（または、いくつかの実施形態では、カットオフ）が提供される。さらに入力には、対象のセットアップコスト「 h_s 」および対象値の重み「 w_s 」が含まれ、これらは、ブロック34およびブロック36としてそれぞれ示されている。これらは、1回の調査、および／または他の情報に基づいて生成されることが好ましい。いくつかの実施形態では、対象のセットアップコスト「 h_s 」は、全ての駐車スペース区画に関して同じであり、いくつかの実施形態では、対象値の重み「 w_s 」は、全ての駐車スペース区画

に関して同じである。あるいは、対象のセットアップコスト「 h_s 」を選択して、駐車スペース区画「 s 」を観察するためのモバイル観察ユニットのセットアップの難しさの度合いを反映させることができる。同様に、いくつかの実施形態では、対象値の重み「 w_s 」を設定して、例えば、重み「 $w_s = P \times N$ 」を設定することにより、各駐車スペース区画の相対値を反映させることができる。なお、「 P 」は（駐車スペース区画内の駐車スペースごとの）支払われた駐車場の利用率であり、「 N 」はその区画内の駐車スペースの数である。あるいは、重みは、政策決定閾値に対する追跡パラメータの近似値の事前評価の増加関数でよい。例えば、いくつかの都市では、利用率が60%未満になると駐車料金が下がり、利用率が80%を超えると駐車料金が上がる。したがって、利用率が約40～70%のブロック面に関しては、約0～30%の利用率ブロック面よりもより正確な推定が必要とされる。その他の種々のセットアップコスト、および／または重みの正規化方式も使用可能である。

【0026】

引き続いて図1を参照すると、コンピュータ10は、第1の方法（O）により、つまりモバイル観察ユニットにより、観察するために選択された対象の集まりの現在の集合も受け取る。第1の方法（O）により観察するために選択された、この対象の集まりの集合はブロック40として図1に示され、一連の対象の集まり「 C 」のうちの対象の集まりへの一連のモバイル観察ユニット「 M 」のモバイル観察ユニットの割り当てに対応する（すなわち、規定される）。本明細書で開示される通り、この割り当て40は初期入力値であるが、コンピュータ10により行われるその後の処理により、その後の時間間隔に関して、この割り当ては更新される。ブロック42で示される通り、現在の時間間隔中、第1の方法（O）により、割り当て40に従って割り当てられたモバイル観察ユニットを用いて、追跡パラメータ（実例の利用率などの駐車場の利用状況の指標）が観察される。この観察処理42により、対象「 S 」の集合全体（駐車スペース区画）の部分集合「 A_t 」だけが観察されるということは理解されよう。同時に、ブロック44に示される通り、第2の方法（P）によりモバイル観察ユニットを使用しない方法（P）を用いて、追跡パラメータが観察される。例えば、この観察処理44は駐車料支払い情報に依存する。観察処理44は、観察処理40により観察されない、対象「 S 」の集合全体の部分集合「 $S \setminus A_t$ 」だけを観察することができる、あるいは、観察処理44は対象「 S 」の集合全体を観察することができる。一般に、支払い情報は、モバイル観察ユニットにより観察されるかどうかにかかわらず、全ての駐車スペース区画に対して有効であるため、一般的には、全ての駐車スペース区画を観察する観察処理44を適用することは有用である（このように、「 A_t 」に関する「二重データ」を作成する）。

【0027】

観察処理42、44の実行の中で、コンピュータ10が行う処理は、その他でどのくらい処理が行われるかによって、変化し得る。例えば、各モバイル観察ユニットがビデオ画像を処理して利用率の観察値を生成するオンボードコンピュータを含む実施形態では、方法（O）を用いる処理42では、単純に、モバイル観察ユニットから受け取られた利用率の観察値を受け取り格納することができる。さらに、このデータをモバイル観察ユニットのバッファに格納し、時々、例えば、週に一度、コンピュータ10へオフロードすることもできる。その他の実施形態では、モバイル観察ユニットのカメラ14により取得された未加工のビデオ画像を、例えば、インターネットを介してコンピュータ10に送信し、個々の駐車スペースに対応する画像の領域を分割するために必要なビデオ画像処理である処理42を実行し、照合フィルタリング、またはその他の画像処理を行って各駐車スペースが利用されているか空いているかを確かめ、利用率などの好適な駐車場の利用状況の指標を計算することも考えられる。同様に、方法（P）を用いる観察処理44を、別の駐車料支払い処理システムにより生成された利用状況データを受け取り、格納することに限定することができる。あるいは、観察処理44は、駐車料支払いレシートなどの未加工のデータを受け取り、この未加工のデータから利用状況データを生成することができる。

【0028】

第1の方法（O）を用いる観察処理42により生成される駐車場の利用状況の観察データ、および第2の方法（P）を用いる観察処理44により生成される駐車場の利用状況の観察データは、アプリケーションモジュール46により好適に利用される。このアプリケーションモジュール46は、コンピュータ10またはその他のコンピュータあるいは電子データ処理装置で実行することができる。例えば、アプリケーションモジュール46により、利用率の観察値を用いて、政策決定（例えば、駐車料金の設定、駐車スペース区画を増やすか減らすかなど）を行ったり、訪問者を駐車エリアに誘導する電子道路標識を点灯させたり、駐車監視員を派遣したりすることができる（例えば、支払い情報により推定される利用状況に比べて、モバイル観察ユニットにより観察された利用状況が高い駐車スペース区画では、未払いの駐車料金が増えている可能性が高いため）。

10

【0029】

さらに、本明細書で開示されている通り、モバイル観察ユニットを用いる第1の方法（O）により提供される駐車場の利用状況の観察データと、モバイル観察ユニットを用いない第2の方法（P）（例えば、支払い情報）により提供される利用状況の観察データとを組み合わせたデータを、動作50で活用して、将来の時間間隔でモバイル観察ユニットが観察する対象の集まりの選択40を更新する。時間「t」で一連の観察ユニット「M」が観察するために選択される対象の集合内の部分集合を選んで、目標

【数14】

$$\max_{M \rightarrow C} \sum_{s \in A_t} W_{s,t}$$

20

を最適化する。なお、「 $M \rightarrow C$ 」は、対象の集まりへのモバイル観察ユニットの割り当てを示し、「 A_t 」は、割り当て「 $M \rightarrow C$ 」により観察可能な空間的に分散した対象の集合内の部分集合を示し、「 $W_{s,t}$ 」は、将来の時間間隔に対する、対象「s」に関する変化予測に依存する（例えば、等式（1）および等式（2）の「 $V_{s,t+1}$ 」に依存する）、Whittle指数などの指数を示す。最適化された割り当てが与えられると、動作52でモバイル観察ユニットの配置が決定される。この観察ユニットの配置の決定は、例えば、対象の集まりごとのモバイル観察ユニットの配置（例えば、GPS座標、道路交差点、またはその他の好適な地理座標により明記された）を載せた参照表54を用いて行うことができる。この参照表54は対象の集まり30を生成するために行われる調査の一部として好適に生成される。次いで、モバイル観察ユニットの配置は、モバイルユニット配置インターフェースモジュール56の動作により人間のユーザに伝えられる。このモバイルユニット配置インターフェースモジュール56は、例えば、コンピュータ10のディスプレイ装置58に表示される電子マップに重ねられて、モバイル観察ユニットの配置を示す、かつ／または、好適なGPS座標、道路交差点、またはその他の配置識別手段を用いて、モバイル観察ユニット配置をディスプレイ装置58に表示することができる。次いで、人間の操作者は、示された配置場所にモバイル観察ユニットを移送する作業を行って、対象の集まりの選択40を物理的に更新し、追跡パラメータ（駐車場の利用状況）の監視を継続する。

30

【0030】

図6を参照すると、図1の更新動作50により好適に行われる、将来の時間間隔でモバイル観察ユニットが観察する、選択された対象の集まり40を更新する例示的な処理が示されている。与えられる値には、一連の対象「S」、一連のモバイル観察ユニット「M」、一連の観察時間間隔「T」、一連の集まり「C」、割引係数「 β 」、および割り当てられた重み「 w_s 」、割り当てられたセットアップコスト「 h_s 」、および変化更新関数「 f_s, g_s 」を含む各対象「s」に関するデータ「 $\langle w_s, h_s, f_s, g_s \rangle_{s \in S}$ 」が含まれる（等式（1）および等式（2）を参照）。これらの情報を与えると、時間「t」でのスケジュールは次の通り生成される。動作70で、対象「s」ごとのWhittle指数「 $W_{s,t}$ 」が生成される（より一般的には、動作70で将来の時間間隔に対する対象「s」に関する変化予測に依存する指数が生成される）。動作72で、最大の重みを付けられた範囲が計算される。あるアプローチでは、

40

50

【数 1 5】

$$(C_{m,t}: m \in \mathcal{M})$$

を、重みを付けられた範囲の問題の解に対する近似解とする：

【数 1 6】

$$\max_{C_{\cdot,t}: \mathcal{M} \rightarrow \mathcal{C}} \sum_{s \in \mathcal{A}_t} W_{s,t} \quad (4)$$

すなわち、対象の集まりへのモバイル観察ユニットの割り当て「 $\mathcal{M} \rightarrow \mathcal{C}$ 」を決定して、Whittl e 指数の合計（または、変化予測に依存する他の指数の合計）を最大にする。その後、図 1 を参照して既に説明した動作 4 2 および動作 4 4 を実行して、追跡パラメータの支払いおよびモバイルユニットの観察値（利用率などの好適な駐車場の利用状況の指標を用いる駐車場の利用状況）を受け取る。動作 4 2 では、モバイルユニット「 $m \in \mathcal{M}$ 」ごとに、対象

【数 1 7】

$$C_{m,t}$$

が観察される。動作 4 4 では、駐車料金の支払い観察値に基づいて、（少なくとも）各対象「 $s \in \mathcal{S} \setminus \mathcal{A}_t$ 」の利用状況の観察値が受け取られる（集合「 $\mathcal{S} \setminus \mathcal{A}_t$ 」は、対象の集まりへのモバイル観察ユニットの割り当て「 $\mathcal{M} \rightarrow \mathcal{C}$ 」により観察される部分集合「 $\mathcal{A}_t$ 」以外の対象の集合「 $\mathcal{S}$ 」内の全ての対象からなる。より一般的には、動作 4 4 では、部分集合「 $\mathcal{A}_t$ 」に属する付加的な対象を観察することができ、いくつかの実施形態では、動作 4 4 を適用して対象の集合「 $\mathcal{S}$ 」内の全ての対象を観察する）。動作 7 4 では、予測の変化「 $V_{s, t+1} = \phi_{\mathcal{A}_t}(V_{s, t})$ 」が更新され、処理はブロック 7 0 に戻って、Whittl e 指数を再計算し、（動作 7 2 に従って）次の観察の時間間隔に関する部分集合「 $\mathcal{A}_t$ 」を計算する。

【0 0 3 1】

動作 7 0 では、「Sofia S. Villar, Restless bandit index policies for dynamic sensor scheduling optimization, PhD thesis, Statistics Department, Universidad Carlos III de Madrid, 2012 年 4 月」で開示されたアプローチに従って、Whittl e 指数を計算することが好ましい。しかし、Whittl e 指数の計算 7 0 を修正して、モバイル観察ユニットを用いる方法（O）により生成される観察値（処理 4 2）、およびモバイル観察ユニットを用いない方法（P）により生成される観察値（処理 4 4）の両方を利用する。記号を簡単にするために、対象「 s 」を考慮し、指数「 s 」を「 $V_{s, t}, w_s, h_s, f_s, g_s, W_{s, t}$ 」から外す。現在の变化「 V_t 」を考慮すると、マッピング

【数 1 8】

$$\pi: \mathbb{R}_+ \rightarrow \mathbb{R}_+$$

およびその繰り返しは以下の式により規定される：

10

20

30

40

【数 1 9】

$$\pi(x) := \begin{cases} f(x) & \text{if } x \leq V_t \\ g(x) & \text{otherwise} \end{cases}$$

および

(5)

$$\pi^{(n)}(x) := \begin{cases} x & \text{if } n = 0 \\ \pi(\pi^{(n-1)}(x)) & \text{for } n = 1, 2, \dots \end{cases}$$

「 $n = 0, 1, 2, \dots$ 」に関する指標

10

【数 2 0】

$$\alpha^{(n)}(x) := 1_{\pi^{(n)}(x) > V_t}$$

を加えると、Whitt index は下記の通りである：

【数 2 1】

$$W_t := -h + w \frac{\sum_{n=0}^{\infty} \beta^n (\pi^{(n)}(f(V_t)) - \pi^{(n)}(g(V_t)))}{1 + \sum_{n=0}^{\infty} \beta^n (\alpha^{(n)}(g(V_t)) - \alpha^{(n)}(f(V_t)))}$$
(6)

20

近似値を求めるために、これらの合計は多くの時間間隔後、例えば、1000個の時間間隔後に切り捨てることができる。

【0032】

次に、動作72（重みを付けられた範囲の問題に対する解決）の実施形態を説明する。時間「 t 」を考慮し、指数「 t 」を

【数 2 2】

$$C_{m,t}, W_{s,t}$$

から外す。動作72では、対象の集合内の更新された選択部分集合（対象の集まりへの対象のグループ化により強制された）に対する変化予測の集まりを最大にするために、いくつかの集合

30

【数 2 3】

$$G := \{C_m : C_m \in \mathcal{C}, m \in \mathcal{M}\}$$

を選ぶ必要がある。変化予測の集まりとして動作70で計算されたWhitt index の合計を用いて、集合

【数 2 4】

$$G := \{C_m : C_m \in \mathcal{C}, m \in \mathcal{M}\}$$

を選択する：

40

【数 2 5】

$$\text{maximize} \quad \sum_{s \in \bigcup_{m \in \mathcal{M}} C_m} W_s$$
(7)

全ての「 $s \in S$ 」に関して「 $W_s \geq 0$ 」の場合、この問題に関する欲張り法は

【数 2 6】

$$\left(1 - \frac{1}{e}\right)$$

50

、すなわち最適解の近似値となり、次の通り進む：（１）

【数２７】

$$G_0 = \emptyset$$

と設定する。（２）「 $i = 1, \dots, |M|$ 」に関して

【数２８】

$$\sum_{S \in G_{i-1} \cup S} W_S$$

を最大にする「 $S \in C$ 」を選択し、「 $G_i = G_{i-1} \cup S$ 」を設定する。（３）「 $G = G_{|M|}$ 」に戻る。

【００３３】

異なる数のブロック面を監視可能な「 k 」個の異なる種類のモバイルユニットが存在する場合、異なる種類「 $M_1, \dots, M_k$ 」の一連のモバイルユニットに対応する対象「 $C_1, \dots, C_k$ 」の部分集合の異なるグループを供給することにより、これに対応可能である。問題は、分割マトロイド制約および良好な近似値を伴う部分モジュール最大化の場合は、局所的な欲張り法であるということである。（Fisher et al 著「An analysis of approximations for maximizing submodular set functions—II」、in Polyhedral combinatorics, pages 73–87 (Springer 1978)、Goundan et al 著「Revisiting the greedy approach to submodular set function maximization」、Optimization online, pages 1–25 (2007年)を参照）。この方法では、各種のモバイルユニットに欲張り法を順番に適用し、その近似値の保証は、それらの種類が考慮された正確な順序には依存しない。

【００３４】

実例の実施形態ではWhittle指数が用いられているが、更新された対象の集合内の選択部分集合（対象の集まりへの対象のグループ化により強制された）に対して、他の変化予測の集まりを最大にすることができる。あるアプローチでは、スケーリングされた追跡エラー変化（STEV）の修正物が使用される。STEVヒューリスティックでは、駐車スペース区画ごとに追跡エラー変化「 $V_{s,t}$ 」を管理する。それぞれが１つの対象を観察可能な「 m 」個の観察ユニットを考慮すると、STEVヒューリスティックでは、各繰り返しで最も大きな重みを付けられた追跡エラー変化を伴う対象を選ぶ：

【数２９】

$$\max_S \left\{ \sum_{s \in S} w_s V_{s,t} : S \subseteq \mathcal{S}, |S| = m \right\} \quad (8)$$

モバイルユニットが個々の対象ではなく対象の部分集合（すなわち、対象の集まり）を見る場合、「 $w_s V_{s,t}$ 」に代えられた「 $W_{s,t}$ 」と、等式（１）および等式（２）の通りに、観察される対象および観察されない対象に関して更新される「 $V_{s,t}$ 」とを用いて、等式（７）を適用することができる。いくつかの限られたケースでは、STEVの使用を考慮することができる。

【００３５】

ランダムウォークの制限において、特定な対象「 s 」の状態「 X_t 」はランダムウォークで進展すると想定する：

【数３０】

$$X_t = X_{t-1} + e_t \quad (9)$$

「 e_t 」は、変化「 v 」を伴う独立したゼロ平均（必ずしも、ガウス分布ではない）の

ランダムな変数であり、その観察値にはノイズがない。次いで、追跡エラーは以下の命題で進展する。

【 0 0 3 6 】

命題 1 : 対象「s」の追跡変化「 V_t 」が、以下の式の通り進展すると想定すると：
【数 3 1】

$$V_t = \begin{cases} 0 & \text{if } s \text{ is observed at } t \\ V_{t-1} + v & \text{if } s \text{ is not observed at } t \end{cases} \quad \text{for some } v \in \mathbb{R}_+. \quad (10)$$

セットアップコスト

10

【数 3 2】

$$h \in \mathbb{R}_+$$

、重み

【数 3 3】

$$w \in \mathbb{R}_+$$

、および割引係数「 β 」に関するWhittle指数「 $W(V)$ 」は、以下の通りである：

【数 3 4】

20

$$W(V) = \begin{cases} -h + wv \frac{T(1-\beta) - (1-\beta^T)}{(1-\beta)^2} & \text{for } 0 < \beta < 1 \\ -h + \frac{wv}{2}(T-1)T & \text{as } \beta \rightarrow 1 \end{cases} \quad (11)$$

なお、等式 (11) では、

【数 3 5】

$$T := \frac{V}{v} + 1$$

30

である。ランダムウォークと類似する更新

【数 3 6】

$$f(\cdot), g(\cdot)$$

を考慮すると、これにより以下のヒューリスティック指標が導き出される：

【数 3 7】

$$\hat{W}(V) := -h + \frac{w}{2v_x}(V - g(V))(f(V) - g(V)) \quad (12)$$

40

【 0 0 3 7 】

大きい「 V 」の制限（合計の近似値を求めるために、数多くの期間が必要な観察値の間の長い時間間隔に関与する設定で有用な）では、対象「s」の状態「 X_t 」および「フリー」観察値「 Y_t 」（例えば、支払いデータ）が以下の式の通り進展する場合：

【数 3 8】

$$X_t: X_{t-1} + N(0, v), \quad Y_t: X_t + N(0, y) \quad (13)$$

なお、「 $N(0, x)$ 」は、平均ゼロおよび変化「 x 」を伴う独立した正規分布のランダム変数を示し、カルマンフィルタに関する追跡エラー変化は、以下の命題に従って進展

50

する。

【 0 0 3 8 】

命題 2 : 対象「s」の追跡エラー変化「 V_t 」が以下の式の通り進展すると想定すると
:

【数 3 9】

$$V_t = \begin{cases} 0 & \text{if } s \text{ is observed at } t \\ f(V_{t-1}) & \text{if } s \text{ is not observed at } t \end{cases} \quad \text{where } f(x) := \frac{(x+v)y}{x+v+y} \quad (14)$$

いくつかの

【数 4 0】

10

$$v \in \mathbb{R}_+, y \in \mathbb{R}_+$$

に関し、

【数 4 1】

$$f_\infty := \lim_{n \rightarrow \infty} f^{(n)}$$

を「f」の繰り返しの制限にすると、セットアップコスト

【数 4 2】

$$h \in \mathbb{R}_+$$

20

、重み

【数 4 3】

$$w \in \mathbb{R}_+$$

、および割引係数「 $\beta = 1$ 」に関して、Whit t l e 指数「 $W(V)$ 」は以下の式を満たす：

【数 4 4】

$$\lim_{v \uparrow f_\infty} \frac{\widehat{W}(V)}{W(V)} = 1 \quad \text{where} \quad \widehat{W}(V) = -h + w \int_0^V \frac{x \, dx}{f(x) - x} \quad (15)$$

30

但し、

【数 4 5】

$$r := \sqrt{v(4y+v)}$$

に関しては以下の式に従う：

【数 4 6】

$$\int_0^V \frac{x}{f(x) - x} dx = \left[\frac{vy}{2r} \log \left| \frac{2x+v+r}{2x+v-r} \right| - \frac{y}{2} \log |x^2 + vx - vy| - x \right]_0^V \quad (16)$$

40

【 0 0 3 9 】

別の例として、ラウンドロビンのヒューリスティックが使用され得る。このヒューリスティックは、対象に関する任意の順番、および所与の「m」個の観察ユニットを選択し、その順番に従って、各時間「t」で、次の「m」個の対象を観察する。したがって、「m = 2」かつ「n = 5」の場合、(1, 2)、(3, 4)、(5, 1)、(2, 3)、…の順番の対象の対を観察する。このヒューリスティックを適用して、対象の集まりに対象を分けることにより、上記のような観察を、各モバイルユニットが対象の部分集合（例えば、対象の集まり 30 のうちの対象の集まり）を観察可能なケースまで広げることができる

50

。

【 0 0 4 0 】

次に、変化予測を更新する動作 7 4 の実施形態を説明する。この動作 7 4 では、カルマン更新が用いられる。いくつかの

【数 4 7】

$$a_x, a_y, a_p \in \mathbb{R}$$

および変化

【数 4 8】

$$v_x, v_y, v_p \in \mathbb{R}_+$$

10

に関して、対象の状態「 X_t 」、モバイルユニット観察値「 Y_t 」、および支払い観察値「 P_t 」が、次の通り分布している想定すると：

【数 4 9】

$$X_t: N(a_x X_{t-1}, v_x), \quad Y_t: N(a_y X_t, v_y), \quad P_t: N(a_p X_t, v_p) \quad (17)$$

上記の式 (17) から観察履歴「 $H_t := (Z_s; 1 \leq s \leq t)$ 」を構築することができる：

【数 5 0】

$$Z_t = \begin{cases} Y_t & \text{if a mobile unit observation was made at time } t \\ P_t & \text{if only a payment observation was made at time } t \end{cases} \quad (18)$$

20

「 Y_t 」を観察する場合、事後平均

【数 5 1】

$$\hat{X}_t := \mathbb{E}[X_t | H_t]$$

および変化

【数 5 2】

$$V_t := \mathbb{E}[(\hat{X}_t - X_t)^2 | H_t]$$

30

はカルマン更新を満たす。(Thiele, Sur la compensation de quelques erreurs quasi-systématiques par la methode des moindres carres, CA Reitzel, 1880; Gelb, Applied optimal estimation, The MIT Press, 1974を参照)：

【数 5 3】

$$\hat{X}_t = \frac{a_x v_y \hat{X}_{t-1} + a_y U_t Y_t}{a_y^2 U_t + v_y}, \quad V_t = \frac{v_y U_t}{a_y^2 U_t + v_y} \quad \text{where} \quad U_t := a_x^2 V_{t-1} + v_x \quad (19)$$

40

支払い観察値「 P_t 」を観察する場合、「 a_y, v_y 」を「 a_p, v_p 」に入れ替えて、同じように更新する。

【 0 0 4 1 】

さらに、「 H_t 」を考慮した、いくつかの計画対象期間「 $k \geq 0$ 」対して予測「 X_{t+k} 」が望まれる場合、更新は下記の通りとなる：

【数 5 4】

$$\mathbb{E}[X_{t+k} | H_t] = a_x^k \hat{X}_t, \quad \mathbb{E}[(\hat{X}_{t+k|t} - X_{t+k})^2 | H_t] = a_x^{2k} V_t + v_x \sum_{r=0}^{k-1} a_x^{2r} \quad (20)$$

50

【0042】

開示されている追跡方法を、電子データ処理装置（例えば、コンピュータ10）により読取り可能かつ実行可能な命令を格納する非一時的な記憶媒体として具現化し、これにより、この開示されている追跡方法の1つ以上の実施形態を実行することが可能であることは理解されよう。非一時的記憶媒体には、例えば、ハードディスク、またはその他の磁気記憶媒体、リード・オンリ・メモリ（ROM）、ランダム・アクセス・メモリ（RAM）、またはその他の電子記憶媒体、光ディスクまたはその他の光記憶媒体、およびそれらの種々の組み合わせなどが含まれる。

【0043】

実例は駐車場の利用状況に適用しているが、開示されているアプローチは、例えば、人、意見、バイク、タンク、飛行機、エネルギー時系列、財務時系列、ロボットの関節の状態の追跡などの様々な状況における種々のパラメータの追跡に適している。対象および対象の集まりはタスクに依存する。例えば、世論調査では、対象はその意見を追跡される人が好ましく、対象の集まりは、特定な人口層、地域などの利用可能なメーリングリスト、インターネットグループなどにより規定することができる。アンケート調査書（観察ユニットに対応する）を特定な対象の集まり、すなわち特定なメーリングリスト、インターネットグループなどに送って、第1の方法を用いて、追跡観察値を取得することができる。第2の方法は、信頼性は高くないかもしれないが、関心のある話題に関する意見を投稿するインターネットのサイトのマイニングなど、より数多くの観察値を得られる方法である。観察ユニットはまた、様々な形態をとることができる。例えば、実例のビデオベースのモバイル観察ユニットを、レーダーセンサ、赤外線センサ、圧力センサ、圧電または誘電センサなどのその他のセンサ類と入れ替えることも可能である。

【0044】

時間の区分は、何を観察するかにより、異なる解釈を有し得る。例えば、時刻（0.2秒ごと）の集合は、時間間隔の結合はないと見なされ得る（例えば、いくつかの駐車場の利用状況の追跡タスクでは、月曜～金曜の午前9時から午前10時が有効である）。種々の追跡タスクの観察サイクルは、（例えば、ネットワークルータまたはマイクロプロセッサの追跡タスクでは）ナノ秒から（例えば、調査ベースの世論調査にでは）数年の範囲に及び得る。さらに、各時間でどのような種類の観察が行われているかを考慮し、かつ観察値に依存するのではなくフィルタのパラメータを考慮したカルマンフィルタに関しては、変化のシーケンスはあらかじめ知られているため、その用途のスケジュールをあらかじめ計算することは可能である。

【0045】

最大範囲の問題は、CPLXなどのツールを用いる、あるいは可変近隣検索法を適用することによる整数のプログラムフォーミュレーションに適用される分岐限定法などの種々の代替方法により解決可能である。

【0046】

観察ユニットの割り当てを最適化するために用いられる最適化目標が、対象「s」の変化のいくつかの関数、例えば、

【数55】

$$c_s(V_{s,t})$$

に参与する場合、開示されている更新のアプローチは、好適な関数

【数56】

$$c_s(\cdot)$$

に適用可能なままである。変化が閾値を超えた場合、およびその場合に限って観察することが、割引時間の単位ごとの観察値の平均数に対する制限が与えられた対象「s」に関する最適な政策である関数に、好適な関数の集合は少なくとも対応する。これには、単調に増加する関数

10

20

30

40

50

【数 5 7】

 C^1

の大きな集合が含まれる。この方法をそのような関数

【数 5 8】

 $c_s(\cdot)$

に拡張するために、等式 (6) の Whittie 指数の計算を以下の式に置き換える：

【数 5 9】

$$W_{s,t} = -h_s + \frac{\sum_{n=0}^{\infty} \beta^n (c_s(\pi_s^{(n)}(f_s(V_{s,t}))) - c_s(\pi_s^{(n)}(g_s(V_{s,t}))))}{1 + \sum_{n=0}^{\infty} \beta^n (\alpha_s^{(n)}(g_s(V_{s,t})) - \alpha_s^{(n)}(f_s(V_{s,t})))} \quad (21)$$

10

【0047】

実例では、事前に知られている情報（例えば、駐車料金、駐車スペース区画内のスペースの数）に基づいて重み「 w_s 」が割り当てられているが、その他に、Whittie 指数の計算 70 を繰り返すごとに発見的に重みを割り当てることも考えられる。政策の変更に関する用途では、本当の使用率が政策決定の境界の付近にある場合に（例えば、いくつかの駐車場の利用状況の追跡の用途では境界利用率が 40%～90%）、正確な推定値が最も重要である。リアルタイムのデータではなく履歴データに基づく駐車案内では、空いているストールまでの移動距離を最小限にするようドライバを案内することが望ましく、利用率が高い（例えば、90%を超える）場合に、より正確な情報が重要である。というのも、利用率が高いと、移動距離が長くなってしまいうためである。同様にリアルタイムのデータではなく履歴データに基づき得る監視員の派遣に関しては、未払いの利用率に関心がある、つまり非常に低い利用状況（例えば、40%未満）の関心は少ない。回顧的な政策評価では、都市は、大抵、利用不足と混雑という最大の問題を解決することに関心がある。これらのタスクでは、高い利用状況および低い利用状況（例えば、90%超、または 40%未満）に対して、正確な推定値が最も重要である。これらの特定のタスクのそれぞれに対して、Whittie 指数の計算 70 を繰り返すごとに発見的に重み「 w_s 」を割り当てて、関心の高い範囲の利用状況を有する駐車スペース区画により高い重みを与えることができる。

20

30

【0048】

上記に開示された特徴および機能、およびその他の特徴および機能、またはその代替形態は、望ましくは、多様なシステム、すなわち用途に組み込むことが可能であることは理解されよう。また、その中の種々の現在予見されない、あるいは予期されない、代替形態、修正形態、変更形態、または改良形態が、今後、当業者により実施され得るが、それらも以下の請求項により包含されることを意図するものとする。

【図 2】

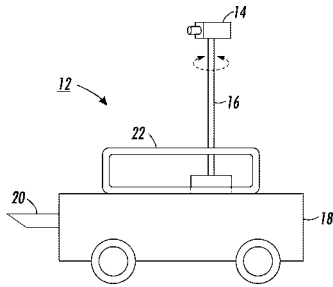


図 2

【図 3】

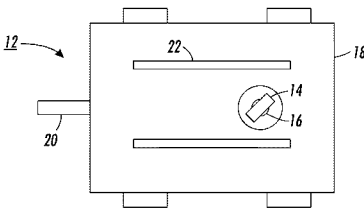


図 3

【図 4】

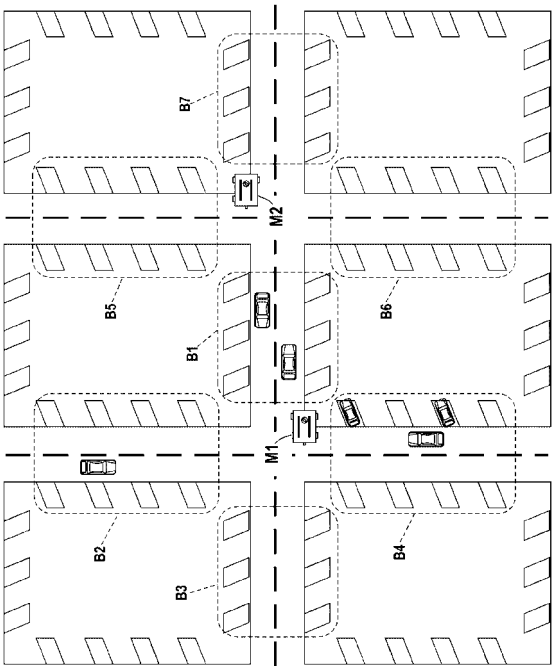


図 4

【図 5】

モバイルユニット	対象の集まり
M1	{ B1, B2, B3, B4 }
M2	{ B1, B5, B6, B7 }

図 5

【図 6】

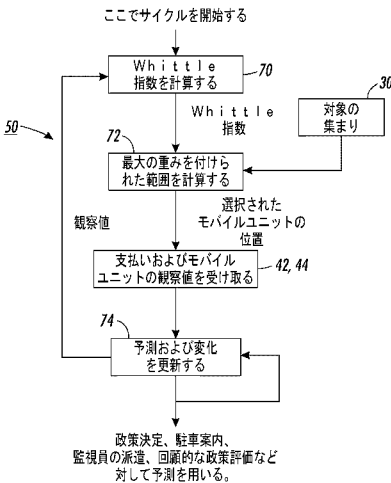


図 6

【図 1】

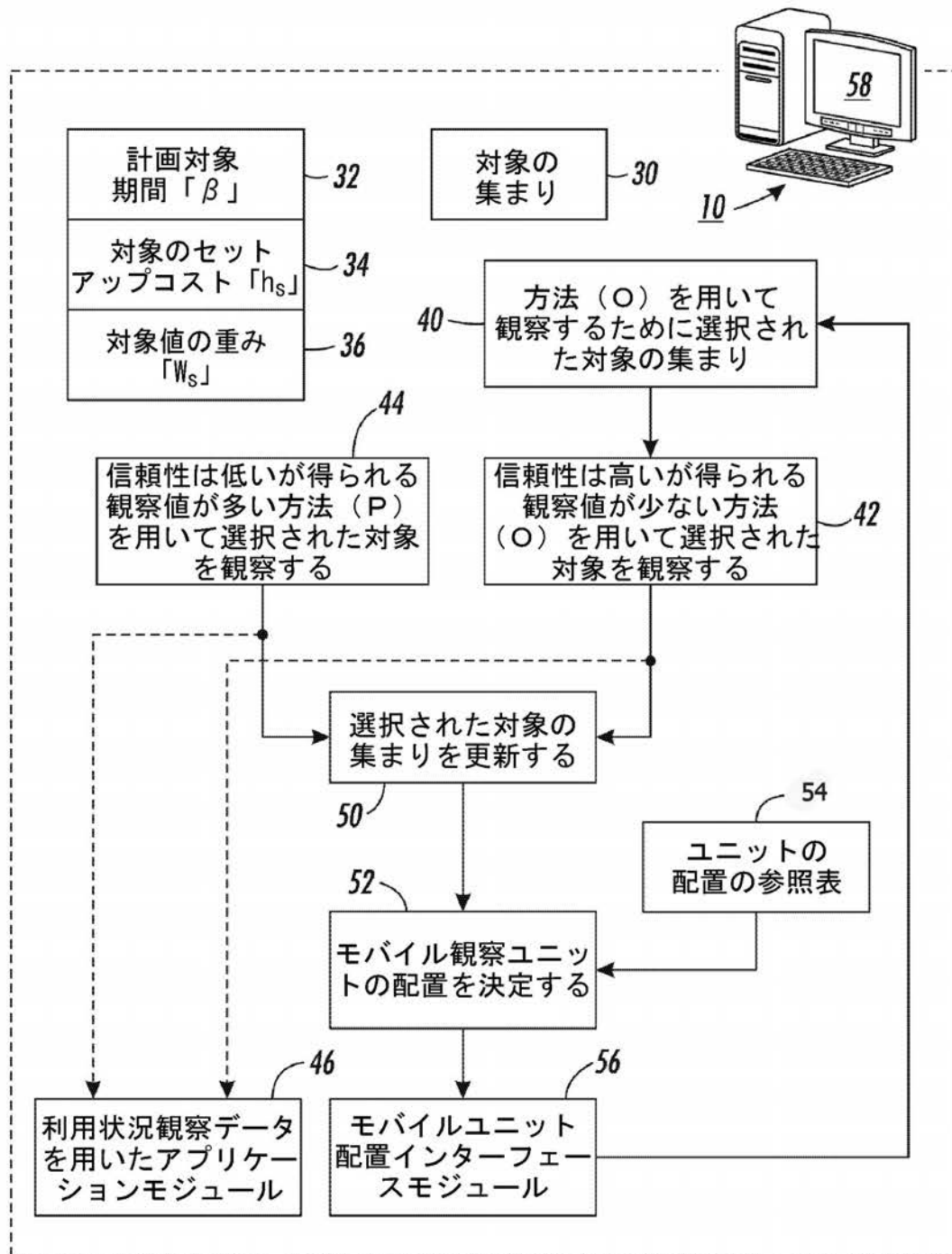


図 1

フロントページの続き

(72)発明者 ロベルト・レイモン・ロドリゲス

フランス共和国 グレノーブル 38000 リュ・アンペール 33

Fターム(参考) 5L096 BA04 CA04 HA04 HA05 MA07