

明 細 書

発明の名称： 運用ノウハウ推定装置、運用ノウハウ推定方法

技術分野

[0001] この発明は、上水道または下水道のプラント（以下、「上下水道プラント」と称する）の計測値と制御値を分析し、上下水道プラントの状態に関する計測値からプラントの運転操作に関する制御値を決定するための運用ノウハウを推定する技術に関する。

背景技術

[0002] 上下水道プラントは、浄水場および下水処理場などの場内施設に加えて、市街地に埋設された配管網などを備えて構成される。このように広範囲に設置された上下水道プラントを効率的に運用するため、運転員は中央に設置された監視制御システムを用いて、上下水道プラントの状態を認識し運転操作を行う。運転員は、正常時には運用計画を効率的に実現するために運転条件の変更操作を行い、異常時には上下水道プラントへの影響を最小限に抑えるための対応操作を行う。このような上下水道プラントの状態認識と運転操作に関する知識は、運用ノウハウと呼ばれる。

[0003] 従来、データから運用ノウハウなどの知識を抽出することを目的とした装置が開発されている。知識抽出の精度は使用するデータに依存するため、知識抽出の精度向上を目的として、予めデータベースに蓄積したデータから十分な精度で知識が抽出できない場合に新規データを追加し再度知識抽出を行う技術がある。

[0004] 例えば、特許文献１に記載の知識抽出装置は、複数項目を持つデータが二つのクラス（例：成か否、有か無）の何れに属するかを決定する判別知識を、同種データを分析することで獲得する。その際、特許文献１に記載の知識抽出装置は、正解率等を用いて判別知識の精度を算出し、それが不十分な場合は、マイニングに使うデータを新たに追加する。特許文献１に記載の知識抽出装置は、このことを判別知識の精度が満足となるまで繰り返す。特許文

献 1 に記載の知識抽出装置は、それでも精度が満足でない場合は、項目を追加する。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開 2 0 0 4 - 3 8 4 1 2 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 上下水道プラントの運転員は、上下水道プラントの状態に関する計測値と上下水道プラントの運転操作に関する制御値を基に上下水道プラントの状態を認識し運転操作を行う。上下水道プラントの状態認識と運転操作に関する運用ノウハウは、計測値と制御値の時系列データの関係を分析することによって得られる。しかし、この分析を行うためには、計測値と制御値の時系列データに、これらの時系列データのパターンを分類した分類情報が付されている必要がある。この分類情報を、運転員が時系列データに付与する作業負荷が高いという課題があった。

[0007] 本発明は、上記の問題点を解決するためになされたものであり、上下水道プラントの運用ノウハウを推定するために必要な分類情報を計測値及び制御値の時系列データに付与する運転員の作業負荷を削減することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明の運用ノウハウ推定装置は、水道プラントの状態に関する計測値および運転操作に関する制御値の時系列データである対象時系列データを取得するデータ取得部と、対象時系列データを区間ごとにクラスタリングアルゴリズムによって分類し、分類結果である分類情報を対象時系列データの区間に付与する分類情報付与部と、分類情報毎に計測値と制御値が同時に成立する条件付き確率を算出し、条件付き確率に基づき、計測値に対して設定すべき制御値を表す運用ノウハウを推定するノウハウ推定部と、運用ノウハウに

基づき水道プラントの状態認識または運転操作を支援する表示情報を作成し、表示部に表示させる表示制御部と、を備える。

- [0009] 本発明の運用ノウハウ推定方法は、水道プラントの状態に関する計測値および運転操作に関する制御値の時系列データである対象時系列データを取得し、前記対象時系列データを区間ごとにクラスタリングアルゴリズムによって分類し、前記分類の結果である分類情報を前記対象時系列データの区間に付与し、前記分類情報毎に前記計測値と前記制御値が同時に成立する条件付き確率を算出し、前記条件付き確率に基づき、前記計測値に対して設定すべき前記制御値を表す運用ノウハウを推定し、前記運用ノウハウに基づき前記水道プラントの状態認識または運転操作を支援する表示情報を作成し、前記表示情報を表示部に表示させる。

発明の効果

- [0010] 本発明によれば、水道プラントの運用ノウハウを推定する際に必要な分類情報が時系列データに付加されるため、分類情報を時系列データに付加する運転員の作業負担を削減することができる。本発明の目的、特徴、態様、および利点は、以下の詳細な説明と添付図面とによって、より明白となる。

図面の簡単な説明

- [0011] [図1]実施の形態1の運用ノウハウ推定装置の構成を示すブロック図である。
[図2]ラベルが付与された水位Hの時系列データを示す図である。
[図3]ラベルが付与された送水量Qの時系列データを示す図である。
[図4]水位Hおよび送水量Qの時系列データ並びにラベルのデータ形式を示す図である。
[図5]運用ノウハウの推定方法と運用ノウハウのデータ形式を示す図である。
[図6]送水量Qに関する運転ガイダンス画面を示す図である。
[図7]送水量Qに関する異常兆候監視画面を示す図である。
[図8]実施の形態2の運用ノウハウ推定装置の構成を示すブロック図である。
[図9]大小属性の推定方法を模式的に表した図である。
[図10]水位Hと送水量Qの散布図である。

[図11]図10に示した各属性が付与された区間内のデータ数を基にして算出された条件付き確率を示す図である。

[図12]送水量Qに関する実施の形態2の運転ガイダンス画面を模式的に表した図である。

[図13]送水量Qに関する実施の形態2の異常兆候監視画面を模式的に表した図である。

[図14]送水量Qに関する教育支援情報表示画面を模式的に表した図である。

[図15]通常時のデータと工事期間のデータとを区別した、水位Hと送水量Qの散布図である。

[図16]図15に散布図として表した時系列データを基に実施の形態2のノウハウ推定部が算出する条件付き確率を示す図である。

[図17]実施の形態3の運用ノウハウ推定装置の構成を示すブロック図である。

[図18]イベント判定部が時系列データとその属性とからイベント発生期間を判定する方法を説明する図である。

[図19]図15に散布図として表した水位Hおよび送水量Qの時系列データを基に、実施の形態3のノウハウ推定部が算出する条件付き確率を示す図である。

[図20]実施の形態4の運用ノウハウ推定装置の構成を示すブロック図である。

[図21]運用ノウハウの推定精度が推定精度基準を満たす場合の水位Hと送水量Qの散布図である。

[図22]運用ノウハウの推定精度が推定精度基準を満たさない場合の水位Hと送水量Qの散布図である。

[図23]通常時と工事期間を区別した水位Hと送水量Qの散布図である。

[図24]通常時と工事期間を区別した期間Eと送水量Qの散布図である。

[図25]対応操作不明データにより得られる期間Eと反応槽リン濃度Cの散布図である。

[図26]対応操作データにより期間を区別した対応操作不明データにより得られる期間Eと反応槽リン濃度Cの散布図である。

[図27]薬剤注入量Lと反応槽リン濃度Cの散布図である。

[図28]実施の形態5の運用ノウハウ推定装置の構成を示すブロック図である。

[図29]実施の形態6の運用ノウハウ推定装置の構成を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0012] < A. 実施の形態1 >

< A-1. 構成 >

図1は、実施の形態1の運用ノウハウ推定装置1001の構成を示すブロック図である。図1に示すように、運用ノウハウ推定装置1001は、データ入出力部101、ラベル推定部102、ノウハウ推定部103、表示制御部104、表示部105、計測値記録部201、制御値記録部202および運用ノウハウ記録部203を備えて構成される。

[0013] 運用ノウハウ推定装置1001は、入力装置と、出力装置と、中央演算処理装置（central processing unit、すなわち、CPU）と、主記憶装置と、二次記憶装置と、たとえば、イントラネットなどのネットワークに接続するための通信機器とを備える。

[0014] 図1におけるデータ入出力部101は、入力装置によって実現される。データ入出力部101は、通信機器によって実現されてもよい。また、図1におけるラベル推定部102、ノウハウ推定部103、および表示制御部104は、CPUが計算に必要なデータを二次記憶装置に保存し、または、計算に必要なデータを二次記憶装置から読み出しつつ、主記憶装置に格納されたソフトウェアプログラムを実行することによって実現される。

[0015] また、図1における表示部105は、出力装置によって実現される。図1における計測値記録部201、制御値記録部202および運用ノウハウ記録部203は、主記憶装置または二次記憶装置によって実現される。

[0016] データ入出力部 101 は、上下水道プラント（以下、単に「水道プラント」と称する）の状態に関する計測値（以下、単に「計測値」と称する）と運転操作に関する制御値（以下、単に「制御値」と称する）を収集する。計測値記録部 201 は、データ入出力部 101 が収集した計測値の時系列データを記録する。制御値記録部 202 は、データ入出力部 101 が収集した制御値の時系列データを記録する。

[0017] ラベル推定部 102 は、計測値記録部 201 から得られる計測値の時系列データと制御値記録部 202 から得られる制御値の時系列データから、計測値および制御値の時系列データまたはそれら进行处理した時系列データをパターン分類したラベルを当該時系列データに付与する。ラベルは、時系列データのある期間（区間）毎に付与される。ラベル推定部 102 は、*k-means* 法またはワード法等のクラスタリングアルゴリズムを用いて時系列データを分類する。すなわち、ラベルは、時系列データを区間ごとに分類した分類情報である。以下、ラベル推定部 102 がラベルを付与する対象の時系列データを、単に「対象時系列データ」と称する。

[0018] ノウハウ推定部 103 は、ラベル推定部 102 から対象時系列データのラベルを取得し、対象時系列データのラベルを状態変数とした条件付き確率で定義される運用ノウハウを推定し、運用ノウハウ記録部 203 に記録する。

[0019] 表示制御部 104 は、運用ノウハウ記録部 203 から、対象時系列データ、対象時系列データのラベル、および運用ノウハウを取得し、これらに基づき、水道プラントの状態把握または運転操作を支援するための表示情報を作成し、当該表示情報を表示部 105 に表示させる。表示情報の一例として、制御値の推奨値を運転員に伝える運転ガイダンス画面、または水道プラントの異常兆候を運転員に伝える異常兆候監視画面がある。これらの画面については後述する。

[0020] < A - 2 . 動作 >

図 2 と図 3 は、ラベルが付与された対象時系列データを示す図である。ラベル推定部 102 は、*k-means* 法またはワード法等のクラスタリン

グアルゴリズムによって対象時系列データを期間毎に分類する。ラベル推定部102は、類似すると判定した波形に同一ラベルを付与し、相違すると判定した波形に異なるラベルを付与する。

[0021] 図2は、計測値である水位Hの時系列データを示している。横軸は時刻Tである。図2において、時刻が古い順に H_{L1} , H_{L1} , H_{L1} , H_{L2} , H_{L3} , H_{L1} , H_{L4} , H_{L5} のラベルが水位Hに付与されている。

[0022] 図3は、制御値である送水量Qの時系列データを示している。図3において、時刻が古い順に Q_{L1} , Q_{L1} , Q_{L1} , Q_{L2} , Q_{L1} , Q_{L1} , Q_{L3} , Q_{L4} のラベルが送水量Qに付与されている。

[0023] 図4は、対象時系列データとラベルのデータ形式を示す図である。図4の表に示されるように、計測値である水位Hの時系列データは、時刻T毎の値で構成される。例えば、水位Hの時刻 t_1 における計測値は h_{t_1} である。同様に、制御値である送水量Qの時系列データも、時刻T毎の値で構成される。例えば、送水量Qの時刻 t_1 における計測値は q_{t_1} である。また、時系列データのラベルは、ラベルが付与された期間ごとに、ラベルを示す値を有している。例えば、水位Hのラベルは、時刻 t_1 と t_2 の間で H_{L1} である。また、送水量Qのラベルは、時刻 t_1 と t_2 の間で Q_{L1} である。

[0024] 図5は、運用ノウハウの推定方法と運用ノウハウのデータ形式を模式的に表した図である。図5における表の各列は、事象X、事象Y、 $n(X_i \times Y_j)$ 、 $P(Y|X)$ である。事象Xは、水位Hの時系列データのラベルを元とする集合の直積 H_L である。事象Yは、送水量Qの時系列データのラベルを元とする集合の直積 Q_L である。 $n(X_i \times Y_j)$ は、事象Xと事象Yの直積集合 $(X \times Y)$ の各要素が運用ノウハウの抽出対象期間に発生した頻度である。 $P(Y|X)$ は、事象Xが発生した場合の事象Yの条件付き確率である。

[0025] 事象Xは、水位Hの時系列データの5種類のラベルにより、 $X = H_L = \{H_{L1}, H_{L2}, H_{L3}, H_{L4}, H_{L5}\}$ と定義される。事象Yは、送水量Qの時系列データの4種類のラベルにより、 $Y = Q_L = \{Q_{L1}, Q_{L2}, Q_{L3}, Q_{L4}\}$ と定義される。直積集合 $(X \times Y)$ の各元の要素数は、 $(H_L \times Q_L)$ の各要素

の発生頻度であり、 $n(H_{Li} \times Q_{Lj})$ である。このとき、事象 X が発生した場合の事象 Y の条件付き確率 $P(Y | X)$ は、水位 H の時系列データのラベル H_L が決定したときに送水量 Q の時系列データのラベル Q_L が Q_{L1} , Q_{L2} , Q_{L3} , Q_{L4} のいずれになるかの条件付き確率 $p(Q_L | H_L)$ で表される。 $p(Q_L | H_L) = (p(Q_L, H_L)) / (p(H_L)) = n(H_{Li} \times Q_{Lj}) / n(H_{Li})$ である。ここで、 $n(H_{Li}) = \sum_j n(H_{Li} \times Q_{Lj})$ である。

[0026] 図6は、送水量 Q に関する実施の形態1の運転ガイダンス画面を模式的に表した図である。この運転ガイダンス画面には、送水量 Q の決定に関する運用ノウハウを表す条件付き確率 $p(Q_L | H_L)$ の、状態変数 Q_L , H_L に関するトレンドグラフが表示される。さらに、表示制御部104は、現在の時系列データのパターンを、同一ラベルの過去の時系列データのパターンと比較し、類似度が最も高い過去の時系列データのパターンの値を推奨値として算出する。表示制御部104は、CCT（相互相関関数法）またはDTW（動的時間伸縮法）等の類似度計算手法を用いて時系列データの類似度を計算することができる。図6の運転ガイダンス画面には、送水量 Q の現在値 q_1 と推奨値 q_2 が表示されている。

[0027] 図7は、送水量 Q に関する実施の形態1の異常兆候監視画面を模式的に表した図である。この異常兆候監視画面には、送水量 Q の決定に関する運用ノウハウを表す条件付き確率 $p(Q_L | H_L)$ の、状態変数 Q_L と H_L に関するトレンドグラフが表示される。さらに、表示制御部104は、現在の時系列データのパターンを、各ラベルの過去の時系列データのパターンと比較し、現在の時系列データに最も類似度が高い過去の時系列データのラベルを判定する。表示制御部104は、CCT（相互相関関数法）またはDTW（動的時間伸縮法）等の類似度計算手法を用いて時系列データの類似度を計算することができる。

[0028] 現在の時系列データに最も類似度が高い過去の時系列データが通常パターンとして登録されている場合、表示制御部104は、現在の時系列データと最も類似度が高い過去の時系列データとの乖離度が大きくなった場合に、異

常兆候と判定する。また、現在の時系列データに最も類似度が高い過去の時系列データが異常パターンとして登録されている場合、表示制御部１０４は、現在の時系列データと最も類似度が高い過去の時系列データとが一致する場合に、異常兆候と判定する。表示制御部１０４は、異常兆候を判定すると、その旨を表す表示情報を作成する。図７の異常兆候監視画面では、送水量Ｑの時系列データの現在のパターンが、過去の通常時の送水量Ｑの時系列データのパターンと乖離したため、異常兆候と判定されたことが表示されている。

[0029] <Ａ－３．効果>

以上に説明したように、実施の形態１の運用ノウハウ推定装置１００１は、水道プラントの状態に関する計測値および運転操作に関する制御値の時系列データである対象時系列データを取得するデータ取得部であるデータ入力部１０１と、対象時系列データを区間ごとにクラスタリングアルゴリズムによって分類し、分類結果である分類情報を対象時系列データの区間に付与する分類情報付与部であるラベル推定部１０２と、分類情報毎に計測値と制御値が同時に成立する条件付き確率を算出し、条件付き確率に基づき、計測値に対して設定すべき制御値を表す運用ノウハウを推定するノウハウ推定部１０３と、運用ノウハウに基づき水道プラントの状態認識または運転操作を支援する表示情報を作成し、表示部１０５に表示させる表示制御部１０４と、を備える。従って、運用ノウハウ推定装置１００１によれば、運転員が対象時系列データに分類情報を付与しなくても、ラベル推定部１０２によって分類情報を付与し、分類情報を用いて対象時系列データを分析することにより水道プラントの運用ノウハウを推定することができる。

[0030] また、実施の形態１の運用ノウハウ推定装置１００１により実行される運用ノウハウ推定方法によれば、水道プラントの状態に関する計測値および運転操作に関する制御値の時系列データである対象時系列データを取得し、前記対象時系列データを区間ごとにクラスタリングアルゴリズムによって分類し、前記分類の結果である分類情報を前記対象時系列データの区間に付与し

、前記分類情報毎に前記計測値と前記制御値が同時に成立する条件付き確率を算出し、前記条件付き確率に基づき、前記計測値に対して設定すべき前記制御値を表す運用ノウハウを推定し、前記運用ノウハウに基づき前記水道プラントの状態認識または運転操作を支援する表示情報を作成し、前記表示情報を表示部に表示させる。従って、実施の形態1の運用ノウハウ推定方法によれば、運転員が対象時系列データに分類情報を付与しなくても、対象時系列データに自動的に分類情報が付与され、分類情報を用いて対象時系列データが分析され、水道プラントの運用ノウハウが推定される。

[0031] また、実施の形態1の運用ノウハウ推定装置1001において、分類情報付与部であるラベル推定部102は、対象時系列データのパターン分類を行い、パターン分類の結果を分類情報として対象時系列データに付与する。従って、運用ノウハウ推定装置1001によれば、運転員が対象時系列データに分類情報を付与しなくても、ラベル推定部102によってパターン分類の結果である分類情報を付与し、分類情報を用いて対象時系列データを分析することにより水道プラントの運用ノウハウを推定することができる。

[0032] <B. 実施の形態2>

<B-1. 構成>

図8は、実施の形態2の運用ノウハウ推定装置1002の構成を示すブロック図である。図8に示すように、運用ノウハウ推定装置1002は、実施の形態1の運用ノウハウ推定装置1001の構成と比較すると、ラベル推定部102に代えて属性推定部106を備えている。

[0033] 運用ノウハウ推定装置1002は、入力装置と、出力装置と、中央演算処理装置（central processing unit、すなわち、CPU）と、主記憶装置と、二次記憶装置と、たとえば、イントラネットなどのネットワークに接続するための通信機器とを備える。

[0034] 図8におけるデータ入出力部101は、入力装置によって実現される。データ入出力部101は、通信機器によって実現されてもよい。また、図8におけるノウハウ推定部103、表示制御部104および属性推定部106は

、CPUが計算に必要なデータを二次記憶装置に保存し、または、計算に必要なデータを二次記憶装置から読み出しつつ、主記憶装置に格納されたソフトウェアプログラムを実行することによって実現される。

[0035] また、図8における表示部105は、出力装置によって実現される。図8における計測値記録部201、制御値記録部202および運用ノウハウ記録部203は、主記憶装置または二次記憶装置によって実現される。

[0036] データ入出力部101は、上下水道プラントを構成する機器から上下水道プラントのプロセスに関する計測値を収集し、上下水道プラントを構成する機器へ上下水道プラントの運転操作に関する制御値を入力する。

[0037] 属性推定部106は、計測値記録部201から計測値の時系列データを取得し、制御値記録部202から制御値の時系列データを取得し、これらの時系列データまたはこれらの時系列データを処理した時系列データである対象時系列データに対して、大小属性を推定し付与する。大小属性とは、時系列データの値の大小に関する運転員の認識を表し、「上限異常」、「高い」、「平常」、「低い」、「下限異常」等を属性値として有する。属性推定部106は、対象時系列データにクラスタリングアルゴリズムを適用することで、大小属性を推定する。属性推定部106は、時系列データの増加または減少の境界に着目した手法を用いる場合、対象時系列データの増加および減少の境界となる極小値および極大値を抽出し、抽出した極小値および極大値の分布をクラスタリングし、各クラスを最もよく分離する値を属性値の境界とし、値の大小関係に基づいて大小属性を付与する。

[0038] ノウハウ推定部103は、属性推定部106から対象時系列データの属性値を取得し、属性値間の因果関係で表現される運用ノウハウ、または複数の属性値の組み合わせで定義されるプラント状態の状態遷移で表現される運用ノウハウを推定し、運用ノウハウ記録部203に記録する。

[0039] 表示制御部104は、運用ノウハウ記録部203から対象時系列データ、対象時系列データのラベル、および運用ノウハウを取得し、これらに基づき、水道プラントの状態把握または運転操作を支援するための表示情報を作成

し、当該表示情報を表示部105に表示させる。表示情報の一例として、実施の形態1で説明した運転ガイダンス画面または異常兆候監視画面の他に、複数ラベルの組み合わせで定義されるプラントの状態遷移を運転員に伝える教育支援情報表示画面がある。教育支援情報表示画面については後述する。

[0040] < B - 2 . 動作 >

図9は、属性推定部106による大小属性の推定方法を模式的に表した図である。時系列データ400aは、運用ノウハウの抽出に用いる計測値または制御値の時系列データ、若しくはそれら进行处理した時系列データであり、図9の例では水位Hの時系列データを表している。属性推定部106は、時系列データ400aから属性400bを推定するために、時系列データ400aの極大値401aと極小値401bを抽出し、極大値401aの分布402aと極小値401bの分布402bをそれぞれクラスタリングし、属性値の境界を決定する。例えば、極大値の分布の境界値の一つとして図9に示す403aがあり、極小値の分布の境界値の一つとして図9に示す403bがある。

[0041] 属性推定部106は、k-means法またはワード法等のクラスタリングアルゴリズムを用いて、極大値の分布402aと極小値の分布402bのクラスタリングを行う。属性400bは、計測値または制御値の時系列データもしくはそれら进行处理した時系列データの、大小に関する運転員の認識を推定した結果を表しており、極大値401aの分布402aや極小値401bの分布402bを分類したクラス毎に付与される。例えば、極大値401aの分布402aと極小値401bの分布402bが図9のように6つのクラスに分類されている場合、属性400bは、大小関係の順に上限異常、非常に高い、高い、平常、低い、下限異常と付与される。

[0042] 図10と図11は、運用ノウハウの推定方法およびデータ形式を模式的に表した図である。図10は水位Hと送水量Qの散布図である。水位Hに関して、 $H_A = \{H_{A1} \text{ (低)}, H_{A2} \text{ (高)}\}$ の2つの属性、送水量Qに関して、 $Q_A = \{Q_{A1} \text{ (低)}, Q_{A2} \text{ (高)}\}$ の2つの属性が付与されている。

- [0043] 図 11 は、図 10 に示した各属性が付与された区間内のデータ数を基にして作成された条件付き確率を示している。図 11 における表の各列は、事象 X 、事象 Y 、 $n(X_i \times Y_j)$ 、 $P(Y | X)$ である。事象 X は、水位 H の時系列データの属性を元とする集合の直積 H_A である。事象 Y は、送水量 Q の時系列データの属性を元とする集合の直積 Q_A である。 $n(X_i \times Y_j)$ は、事象 X と事象 Y の直積集合 $(X \times Y)$ の各要素が運用ノウハウの抽出対象期間に発生した頻度である。 $P(Y | X)$ は、事象 X が発生した場合の事象 Y の条件付き確率である。
- [0044] 事象 X は、水位 H の時系列データの 2 つの属性により、 $X = H_A = \{H_{A1} (\text{低}), H_{A2} (\text{高})\}$ と定義される。事象 Y は、送水量 Q の時系列データの 2 つの属性により、 $Y = Q_A = \{Q_{A1} (\text{低}), Q_{A2} (\text{高})\}$ と定義される。直積集合 $(X \times Y)$ の各元の要素数は、 $(H_A \times Q_A)$ の各要素の発生頻度であり、 $n(H_{Ai} \times Q_{Aj})$ である。このとき、事象 X が発生した場合の事象 Y の条件付き確率 $P(Y | X)$ は、水位 H の時系列データの属性 H_A が決定したときに送水量 Q の時系列データの属性 Q_A が Q_{A1} 、 Q_{A2} のいずれになるかの条件付き確率 $p(Q_A | H_A)$ で表される。 $p(Q_A | H_A) = (p(Q_A, H_A)) / (p(H_A)) = n(H_{Ai} \times Q_{Aj}) / n(H_{Ai})$ である。ここで、 $n(H_{Ai}) = \sum_j n(H_{Ai} \times Q_{Aj})$ である。
- [0045] 水位 H が H_{A1} (低) の区間に入っているとき、送水量 Q を Q_{A2} (高) に設定する条件付き確率 $p(Q_{A2} | H_{A1}) = 11 / 12$ が最も高い。そのため、ノウハウ推定部 103 は、水位 H が H_{A1} (低) の区間に入っているときは送水量 Q を Q_{A2} (高) に設定する運転方法が典型的な制御値である、という運用ノウハウを推定することができる。同様に、水位 H が H_{A2} (高) のとき送水量 Q を Q_{A1} (低) に設定する条件付き確率 $p(Q_{A1} | H_{A2}) = 10 / 11$ が最も高い。そのため、ノウハウ推定部 103 は、水位 H が H_{A2} (高) の区間に入っているとき送水量 Q を Q_{A1} (低) に設定する運転方法が典型的な制御値である、という運用ノウハウを推定することができる。
- [0046] 図 12 は、送水量 Q に関する実施の形態 2 の運転ガイダンス画面を模式的

に表した図である。この運転ガイダンス画面には、送水量 Q の決定に関する運用ノウハウを表す条件付き確率 $p(Q_A | H_A)$ の、状態変数 Q_A と H_A に関するトレンドグラフなどが表示される。さらに、表示制御部104は、現在時刻の H_A の属性値と事前条件が一致する条件付き確率 $p(Q_A | H_A)$ の中から最も高いものを選択し、選択した $p(Q_A | H_A)$ における Q_A の属性値と当該属性値をとる Q の値の範囲を推奨値として算出する。表示制御部104が算出したこれらの情報は、送水量 Q に関する運転ガイダンス画面に表示される。図12では、送水量の現在値の属性（低）と、送水量の推奨値の範囲とその属性（高）が表示されている。

[0047] 図13は、送水量 Q に関する実施の形態2の異常兆候監視画面を模式的に表した図である。この異常兆候監視画面には、送水量 Q の決定に関する運用ノウハウを表す条件付き確率 $p(Q_A | H_A)$ の、状態変数 Q_A と H_A に関するトレンドグラフが表示される。さらに、表示制御部104は、事前条件が現在時刻の H_A の属性値と一致し、かつ、事後条件が現在時刻の Q_A の属性値と一致する条件付き確率が、予め定められた閾値を下回ると、異常兆候と判定する。そして、表示制御部104は、異常兆候と判定すると、事前条件が現在時刻の H_A の属性値と一致する条件付き確率の中から最も高い値をとる条件付き確率 $p(Q_A | H_A)$ を選択し、選択した $p(Q_A | H_A)$ における Q_A の属性値と当該属性値をとる Q の値の範囲を推奨値として表示する。

[0048] 図14は、送水量 Q に関する教育支援情報表示画面を模式的に表した図である。この教育支援情報表示画面では、送水量 Q の決定に関する運用ノウハウを表す条件付き確率 $p(Q_A | H_A)$ の、状態変数 Q_A と H_A に関するトレンドグラフ1300が表示される。トレンドグラフ1300における黒丸1302、1303は着目時刻を示している。さらに、表示制御部104は、状態変数 Q_A と H_A の直積 $H_{Ai} \times Q_{Aj}$ で定義されるプラント状態毎の発生頻度 $n(H_{Ai} \times Q_{Aj})$ とプラント状態間の状態遷移の回数を基に、状態遷移図1301を作成する。状態遷移図1301において、各ノード1304-1307がプラント状態 $H_{Ai} \times Q_{Aj}$ を表し、各エッジが各ノード1304-1307

7間の状態遷移を表す。プラント状態の発生頻度 $n(H_{Ai} \times Q_{Aj})$ は各ノード1304-1307の大きさ等で表され、プラント状態間の状態遷移回数はエッジの太さ等で表される。ノード1304-1307のうち、着目時刻におけるプラント状態を表すノード1304は、他のノード1305-1307よりも太い線で、あるいは異なる色で描かれ、他のノード1305-1307と区別される。運転員は、トレンドグラフ1300上で黒丸1302, 1303の位置を左右にずらすことによって、着目時刻を前後に変化させることが可能である。着目時刻の変化に応じて、状態遷移図1301において他のノードと区別して表示されるノードも変化する。

[0049] <B-3. 効果>

実施の形態2の運用ノウハウ推定装置1002において、分類情報付与部である属性推定部106は、対象時系列データの値の大きさに対する水道プラントの運転員の認識を表す大小属性を、クラスタリングアルゴリズムによる区間ごとの分類によって推定し、大小属性を分類情報として対象時系列データの区間に付与する。従って、運用ノウハウ推定装置1001によれば、運転員が対象時系列データに大小属性を付与しなくても、ラベル推定部102によって大小属性を付与し、属性を用いて対象時系列データを分析することにより水道プラントの運用ノウハウを推定することができる。

[0050] <C. 実施の形態3>

実施の形態2の運用ノウハウ推定装置1002は、水道プラントの対象時系列データに対し、属性を推定し付与する。しかし、運用ノウハウ推定装置1002は、運転員が運転操作の判断に用いるイベントの発生期間、または当該イベントへの対応操作が行われた期間（以下、これらの期間を合わせて「イベント発生期間」と呼ぶ）を区別せず全期間を通して運用ノウハウを推定するため、運用ノウハウの推定精度が低下するという課題があった。その例を図15と図16を用いて説明する。

[0051] 図15は、水位Hと送水量Qの散布図であり、通常時のデータと工事期間のデータとを含んでいる。図15中、黒丸は通常時のデータを表し、白四角

は工事期間のデータを表している。図16は、15に散布図として表した水位Hおよび送水量Qの時系列データを基に実施の形態2のノウハウ推定部103が算出する条件付き確率を示している。実施の形態2のノウハウ推定部103は、通常時のデータと工事期間のデータを区別せずに条件付き確率を推定する。

[0052] 図16に示すように、水位Hが H_{A2} （中）の区間に入っているとき、送水量Qが Q_{A1} （低）の区間に入っているデータ数 $n(H_{A2} \times Q_{A1}) = 9$ と Q_{A2} （高）の区間に入っているデータ数 $n(H_{A2} \times Q_{A2}) = 8$ は同程度である。そのため、運用ノウハウ推定装置1002は、水位Hが H_{A2} （中）のときに送水量Qを Q_{A2} （高）と Q_{A1} （低）のどちらに設定すべきかを高い条件付き確率で推奨できない。

[0053] そこで、実施の形態3の運用ノウハウ推定装置では、以下のようにイベント発生期間を考慮することにより、運用ノウハウを高精度に推定する。

[0054] < C-1. 構成 >

図17は、実施の形態3の運用ノウハウ推定装置1003の構成を示すブロック図である。図17に示すように、運用ノウハウ推定装置1003は、実施の形態2の運用ノウハウ推定装置1002の構成に加えて、イベント判定部107を備えている。イベント判定部107は、属性推定部106から水道プラントの対象時系列データとその属性値を取得し、これらの情報からイベント発生期間を判定し、通常時とイベント発生期間の情報を含む期間情報を対象時系列データに付与する。通常時とは、イベント発生期間以外の期間のことである。ノウハウ推定部103は、通常時またはイベント発生期間毎に運用ノウハウを推定することにより、運用ノウハウの推定精度を向上することができる。

[0055] 運用ノウハウ推定装置1003は、入力装置と、出力装置と、中央演算処理装置（central processing unit、すなわち、CPU）と、主記憶装置と、二次記憶装置と、たとえば、イントラネットなどのネットワークに接続するための通信機器とを備える。

[0056] 図17におけるデータ入出力部101は、入力装置によって実現される。データ入出力部101は、通信機器によって実現されてもよい。また、図17におけるノウハウ推定部103、表示制御部104、属性推定部106、およびイベント判定部107は、CPUが計算に必要なデータを二次記憶装置に保存し、または、計算に必要なデータを二次記憶装置から読み出しつつ、主記憶装置に格納されたソフトウェアプログラムを実行することによって実現される。

[0057] また、図17における表示部105は、出力装置によって実現される。図17における計測値記録部201、制御値記録部202および運用ノウハウ記録部203は、主記憶装置または二次記憶装置によって実現される。

[0058] <C-2. 動作>

イベント判定部107の動作内容について説明する。図18は、イベント判定部107が時系列データ700aとその属性700bとからイベント発生期間を判定する方法を説明する図である。時系列データ700aは水位Hの時系列データであり、属性700bは時系列データ700aの大小属性を表している。

[0059] イベント判定部107は、イベント判定ルールに基づき時系列データ700aにイベント発生期間を付与する。具体的には、イベント判定部107は、まず、時系列データ700aの極大値701aまたは極小値701bの時系列での変化パターンに基づいて、通常時のパターンを抽出する。時系列データ700aは、期間702aにおけるように、極値の属性700bが「非常に高い→低い→平常→低い→非常に高い」と変化するパターンを最も多く含む。そのため、イベント判定部107は、極値の属性700bが「非常に高い→低い→平常→低い→非常に高い」と変化する期間を通常時とする。図18において、時系列データ700aは、通常時において、期間702aに示すパターンを最小単位として繰り返す。次に、時系列データ700aは、期間702bにおいて、極値の属性700bが「非常に高い→平常→非常に高い→平常→非常に高い」と変化し、通常時のパターンと異なる。そのため

、イベント判定部107は、期間702bのうち通常時と異なるパターンである「平常→非常に高い→平常→」の期間をイベント3の発生期間と判定する。同様に、イベント判定部107は、時系列データ700aが通常時と異なるパターンを示す期間をイベント1、イベント2の発生期間と判定する。なお、イベント判定部107は、時系列データ700aにおける極値の時間間隔をイベントの判定に用いても良い。

[0060] 図19は、図15に散布図として表した水位Hおよび送水量Qの時系列データを基に運用ノウハウ推定装置1003のノウハウ推定部103が算出した、水位Hと送水量Qの属性を状態変数とする条件付き確率を示している。イベント判定部107が通常時のデータと工事期間のデータを区別するため、図19において、事象Xは水位Hの属性 H_A に加えて期間の属性 $E_A = \{E_{A1} \text{ (通常)}, E_{A2} \text{ (工事)}\}$ を含んでいる。従って、送水量Qを Q_{A2} (高)と Q_{A1} (低)のどちらに設定すべきかを表す条件付き確率 $P(Y|X)$ は、期間の属性 E_A と水位の属性 H_A と送水量の属性 Q_A を用いて、 $p(Q_A|H_A, E_A)$ と表される。図19において、水位の属性 $H_A = H_{A2}$ (中)で水道プラントが通常時の $E_A = E_{A1}$ (通常)のとき、 $p(Q_A = Q_{A1} | H_A = H_{A2}, E_A = E_{A1}) = 9/10$ であるのに対して $p(Q_A = Q_{A2} | H_A = H_{A2}, E_A = E_{A1}) = 1/10$ である。従って、ノウハウ推定部103は、通常時に水位Hの属性が H_{A2} である場合、送水量Qを Q_{A1} (低)に設定することが典型的な制御方法であるという運用ノウハウを推定することができる。また、水位 $H_A = H_{A2}$ (中)でプラントが工事期間の $E_A = E_{A2}$ (工事)のときは、 $p(Q_A = Q_{A1} | H_A = H_{A2}, E_A = E_{A2}) = 0/8$ であるのに対して $p(Q_A = Q_{A2} | H_A = H_{A2}, E_A = E_{A2}) = 8/8$ である。従って、ノウハウ推定部103は、工事期間に水位Hの属性が H_{A2} である場合、送水量Qを Q_{A2} (高)に設定することが典型的な制御方法であるという運用ノウハウを推定することができる。

[0061] 以上の説明では、実施の形態3の運用ノウハウ推定装置1003を、実施の形態2の運用ノウハウ推定装置1002にイベント判定部107を加えた

構成として説明した。しかし、実施の形態３の運用ノウハウ推定装置１００３は、実施の形態１の運用ノウハウ推定装置１００１にイベント判定部１０７を加えた構成であっても良い。

[0062] <Ｃ－３．効果>

実施の形態３の運用ノウハウ推定装置１００３は、計測値の時系列データから、水道プラントの運転員が運転操作の判断に用いるイベントの発生期間を検出するイベント判定部（１０７）を備える。そして、ノウハウ推定部１０３は、イベントの発生期間とそれ以外の期間とを区別して、分類情報毎に計測値と制御値が同時に成立する条件付き確率を算出する、これにより、運用ノウハウ推定装置１００３によれば、イベントの発生期間とそれ以外の期間とを区別して運用ノウハウが推定されるため、運用ノウハウの推定精度が向上する。

[0063] <Ｄ．実施の形態４>

実施の形態３の運用ノウハウ推定装置１００３では、計測値または制御値に運用ノウハウの推定に必要な情報が含まれていない場合など、運用ノウハウの推定に用いる時系列データが悪い場合に、運用ノウハウの推定精度が不十分となるという課題があった。実施の形態４の運用ノウハウ推定装置１００４では、以下の構成により上記の課題を解決する。

[0064] <Ｄ－１．構成>

図２０は、実施の形態４の運用ノウハウ推定装置１００４の構成を示すブロック図である。運用ノウハウ推定装置１００４は、実施の形態３の運用ノウハウ推定装置１００３の構成に加えて、精度基準記録部２０４、対応操作不明データ記録部２０５、操作根拠不足データ記録部２０６、不足情報入力部１０８およびノウハウ再推定部１０９を備えている。

[0065] 運用ノウハウ推定装置１００４は、入力装置と、出力装置と、中央演算処理装置（central processing unit、すなわち、ＣＰＵ）と、主記憶装置と、二次記憶装置と、たとえば、イントラネットなどのネットワークに接続するための通信機器とを備える。

- [0066] 図20におけるデータ入出力部101、不足情報入力部108は、入力装置によって実現される。データ入出力部101、不足情報入力部108は、通信機器によって実現されてもよい。また、図20における、ノウハウ推定部103、表示制御部104、属性推定部106、イベント判定部107およびノウハウ再推定部109は、CPUが計算に必要なデータを二次記憶装置に保存し、または、計算に必要なデータを二次記憶装置から読み出しつつ、主記憶装置に格納されたソフトウェアプログラムを実行することによって実現される。
- [0067] また、図20における表示部105は、出力装置によって実現される。図20における計測値記録部201、制御値記録部202、運用ノウハウ記録部203、精度基準記録部204、対応操作不明データ記録部205、および操作根拠不足データ記録部206は、主記憶装置または二次記憶装置によって実現される。
- [0068] 精度基準記録部204は、運用ノウハウの推定精度基準を記録する。
- [0069] ノウハウ推定部103は、イベント判定部107から大小属性と期間属性を付与済みの対象時系列データを取得し、取得した対象時系列データからプラントの状態と運転操作に関する運用ノウハウを推定する。また、ノウハウ推定部103は、推定した運用ノウハウと精度基準記録部204から取得した推定精度基準を基に、対象時系列データのうち推定精度基準を満たすデータ、対応操作が不明な対応操作不明データ、および対応操作の根拠が不足する操作根拠不足データを判定する。
- [0070] 対応操作不明データ記録部205は、ノウハウ推定部103で対応操作不明データと判定された対象時系列データを記録する。操作根拠不足データ記録部206は、ノウハウ推定部103で操作根拠不足データと判定された対象時系列データを記録する。
- [0071] 不足情報入力部108は、対応操作不明データ記録部205から対応操作不明データを取得し、操作根拠不足データ記録部206から操作根拠不足データを取得し、これらのデータを基に、ユーザである運転員等に対応操作デ

ータと操作根拠データの入力を求め、当該入力を受け付ける。

[0072] ノウハウ再推定部 109 は、不足情報入力部 108 から得られる対応操作データと対応操作不明データ、または不足情報入力部 108 から得られる操作根拠データと操作根拠不足データを基に、プラントの状態と運転操作に関する運用ノウハウを再推定することで運用ノウハウの推定精度を向上する。

[0073] 運用ノウハウ記録部 203 は、ノウハウ推定部 103 とノウハウ再推定部 109 から得られる運用ノウハウを記録する。

[0074] < D - 2 . 動作 >

実施の形態 4 のノウハウ推定部 103 は、対象時系列データを基に運用ノウハウを推定する他、相互情報量などの統計量を用いて運用ノウハウの推定精度が推定精度基準を満たすか否かを判定する。

[0075] 図 21 は、水位 H と送水量 Q の散布図であり、運用ノウハウの推定精度が推定精度基準を満たす場合の例である。実施の形態 4 のノウハウ推定部 103 は、送水量 Q の属性値 Q_A と水位 H の属性値 H_A の相互情報量 $I(Q_A; H_A)$ を算出する。相互情報量 $I(Q_A; H_A)$ は、水位の属性値 H_A を知ることによって送水量の属性値 Q_A に関して得られる情報量を表している。ノウハウ推定部 103 は、相互情報量 $I(Q_A; H_A)$ が閾値 I_{TH} 以上であれば、運用ノウハウの推定精度が推定精度基準を満たすと判定する。つまり、相互情報量 $I(Q_A; H_A)$ は、送水量 Q の時系列データと水位 H の時系列データから推定される運用ノウハウの推定精度の尺度であり、その閾値 I_{TH} が運用ノウハウの推定精度基準となる。ここで、 $I_{TH} = 0.2 [\text{bit}]$ とする。図 21 の例では、 $H_{A1} \wedge Q_{A1}$ が成立する確率 $p(H_{A1}, Q_{A1}) = 1/22$ であり、以下同様に、 $p(H_{A2}, Q_{A1}) = 9/22$ 、 $p(H_{A1}, Q_{A2}) = 11/22$ 、 $p(H_{A2}, Q_{A2}) = 1/22$ 、 $p(H_{A1}) = 12/22$ 、 $p(H_{A2}) = 10/22$ 、 $p(Q_{A1}) = 10/22$ 、 $p(Q_{A2}) = 12/22$ である。従って、相互情報量 $I(Q_A; H_A)$ は以下のように表される。

[0076]

[数1]

$$\begin{aligned}
 I(Q_A; H_A) &= \sum_{q_A \in Q_A} \sum_{h_A \in H_A} p(h_A, q_A) \log \frac{p(h_A, q_A)}{p(h_A)p(q_A)} \\
 &= p(H_{A1}, Q_{A1}) \log \frac{p(H_{A1}, Q_{A1})}{p(H_{A1})p(Q_{A1})} + p(H_{A2}, Q_{A1}) \log \frac{p(H_{A2}, Q_{A1})}{p(H_{A2})p(Q_{A1})} \\
 &\quad + p(H_{A1}, Q_{A2}) \log \frac{p(H_{A1}, Q_{A2})}{p(H_{A1})p(Q_{A2})} + p(H_{A2}, Q_{A2}) \log \frac{p(H_{A2}, Q_{A2})}{p(H_{A2})p(Q_{A2})} \\
 &= 0.56 \text{ [bit]}
 \end{aligned}$$

[0077] 従って、 $I(Q_A; H_A) \geq I_{TH}$ となり、ノウハウ推定部 103 は、運用ノウハウの推定精度が推定精度基準を満たすと判定する。

[0078] 図 22 は、水位 H と送水量 Q の散布図であり、運用ノウハウの推定精度が推定精度基準を満たさない場合の例である。図 21 の例と同様に、相互情報量の閾値 $I_{TH} = 0.2 \text{ [bit]}$ とする。図 22 の例では、 $p(H_{A1}, Q_{A1}) = 3/46$ 、 $p(H_{A2}, Q_{A1}) = 9/46$ 、 $p(H_{A3}, Q_{A1}) = 10/46$ 、 $p(H_{A1}, Q_{A2}) = 11/46$ 、 $p(H_{A2}, Q_{A2}) = 9/46$ 、 $p(H_{A3}, Q_{A2}) = 4/46$ 、 $p(H_{A1}) = 14/46$ 、 $p(H_{A2}) = 18/46$ 、 $p(H_{A3}) = 14/46$ 、 $p(Q_{A1}) = 22/46$ 、 $p(Q_{A2}) = 24/46$ である。従って、 $I(Q_A; H_A) = 0.12 \text{ [bit]}$ であり、 $I(Q_A; H_A) < I_{TH}$ となる。従って、ノウハウ推定部 103 は、運用ノウハウの推定精度が推定精度基準を満たないと判定する。

[0079] 運用ノウハウの推定精度が推定精度基準を満たさない場合、ノウハウ再推定部 109 は運用ノウハウの再推定を行う。ノウハウ再推定部 109 は、例えば操作根拠不足データ記録部 206 に記録された操作根拠不足データと不足情報入力部 108 に入力された操作根拠データを用いて、運用ノウハウの再推定を行う。ここで、ユーザが、「期間 E のうち e_1 以降が工事期間であり、 e_1 より前が通常時である」という操作根拠データを不足情報入力部 108 に入力したとする。この操作根拠データは、操作根拠不足データの期間に関する属性情報ともいえる。

[0080] ノウハウ再推定部 109 は、この操作根拠データによって、操作根拠不足

データを通常時のデータと工事期間のデータに区別することができる。この区別により、図 2 2 に示した水位 H と送水量 Q の散布図は、図 2 3 のように表される。図 2 3 において、通常時のデータ (E_{A1}) は黒丸で表され、工事期間のデータ (E_{A2}) は白四角で表されている。図 2 4 は、通常時と工事期間を区別した期間 E と送水量 Q の散布図である。図 2 4 においても、通常時のデータ (E_{A1}) は黒丸で表され、工事期間のデータ (E_{A2}) は白四角で表されている。

[0081] 図 2 3 の例において、ノウハウ再推定部 1 0 9 は、データの発生頻度を基に水位 H 、送水量 Q 、期間 E の属性ごとの同時発生確率を計算する。 $p(H_{A1}, Q_{A1}, E_{A1}) = 3/46$ 、 $p(H_{A2}, Q_{A1}, E_{A1}) = 9/46$ 、 $p(H_{A3}, Q_{A1}, E_{A1}) = 0/46$ 、 $p(H_{A1}, Q_{A2}, E_{A1}) = 11/46$ 、 $p(H_{A2}, Q_{A2}, E_{A1}) = 1/46$ 、 $p(H_{A3}, Q_{A2}, E_{A1}) = 0/46$ 、 $p(H_{A1}, Q_{A1}, E_{A2}) = 0/46$ 、 $p(H_{A2}, Q_{A1}, E_{A2}) = 0/46$ 、 $p(H_{A3}, Q_{A1}, E_{A2}) = 10/46$ 、 $p(H_{A1}, Q_{A2}, E_{A2}) = 0/46$ 、 $p(H_{A2}, Q_{A2}, E_{A2}) = 8/46$ 、 $p(H_{A3}, Q_{A2}, E_{A2}) = 4/46$ 、 $p(H_{A1}, E_{A1}) = 14/46$ 、 $p(H_{A2}, E_{A1}) = 10/46$ 、 $p(H_{A3}, E_{A1}) = 0/46$ 、 $p(H_{A1}, E_{A2}) = 0/46$ 、 $p(H_{A2}, E_{A2}) = 8/46$ 、 $p(H_{A3}, E_{A2}) = 14/46$ 、 $p(Q_{A1}, E_{A1}) = 12/46$ 、 $p(Q_{A2}, E_{A1}) = 12/46$ 、 $p(Q_{A1}, E_{A2}) = 10/46$ 、 $p(Q_{A2}, E_{A2}) = 12/46$ 、 $p(E_{A1}) = 24/46$ 、 $p(E_{A2}) = 22/46$ である。従って、相互情報量 $I(Q_A; H_A | E_A) = 0.40$ [bit] となる。ここで、相互情報量 $I(Q_A; H_A | E_A)$ は、期間の属性 E_A が E_{A1} (通常) か E_{A2} (工事) かを区別した上で水位の属性 H_A を知ることによって送水量の属性 Q_A に関して得られる情報量である。 $I(Q_A; H_A | E_A) \geq I_{TH}$ となり、ノウハウ再推定部 1 0 9 は、運用ノウハウの推定精度が推定精度基準を満たすと判定する。そして、ノウハウ再推定部 1 0 9 は、条件付き確率 $p(Q_A | H_A, E_A)$ を算出し、 $p(Q_A | H_A, E_A)$ から運用ノウハウを再推定する。

- [0082] 図25は、対応操作不明データの例を示す、期間Eと反応槽リン濃度Cの散布図である。反応槽リン濃度Cは、通常時においては C_{A2} （中）または C_{A1} （低）の値をとるが、イベント1の期間 E_{A2} において C_{A3} （高）の値をとり、その後 C_{A2} （中）および C_{A1} （低）に戻るという、通常とは異なるパターンとなっている。しかし、イベント1の期間 E_{A2} における制御値の時系列データがないため、ノウハウ推定部103は反応槽リン濃度Cの時系列データに対応操作不明データと判定したものとする。なお、図25において通常時のデータは黒丸、イベント1期間中のデータは白四角で表されている。
- [0083] そこで、ノウハウ再推定部109は、対応操作不明データ記録部205に記録された対応操作不明データと不足情報入力部108に入力された対応操作データを用いて、運用ノウハウの再推定を行う。ここで、ユーザが、「イベント1への対応操作期間が e_4 から e_5 、および e_6 から e_7 である」と、「 e_4 から e_5 に薬剤注入量Lを l_1 増加させ、 e_6 から e_7 に薬剤注入量Lを l_1 減少させた」という対応操作データを不足情報入力部108に入力したとする。すなわち、この対応操作データは、対応操作不明データにおけるイベントの発生期間における制御値の時系列データである。
- [0084] ノウハウ再推定部109は、この対応操作データによって、対応操作不明データを、 e_2 以前と e_3 以降の通常時（ E_{A1} ）か、 e_2 から e_4 、 e_5 から e_6 、および e_7 から e_3 までのイベント1発生時の対応操作不実施期間（ E_{A2-1} ）か、 e_4 から e_5 までのイベント1発生時の薬剤注入量Lの増加期間（ E_{A2-2} ）か、 e_6 から e_7 までのイベント1発生時の薬剤注入量Lの減少期間（ E_{A2-3} ）か、に区別することができる。この区別により、図25に示した期間Eと反応槽リン濃度Cの散布図は、図26のように表される。図26において、期間属性 E_{A1} のデータは黒丸で表され、期間属性 E_{A2-1} のデータは斜線ハッチングの四角で表され、期間属性 E_{A2-2} のデータは黒四角で表され、期間属性 E_{A2-3} のデータは梨地ハッチングの四角で表されている。
- [0085] 図27は、薬剤注入量Lと反応槽リン濃度Cの散布図である。図27においても、期間属性 E_{A1} のデータは黒丸で表され、期間属性 E_{A2-1} のデータは

斜線ハッチングの四角で表され、期間属性 E_{A2-2} のデータは黒四角で表され、期間属性 E_{A2-3} のデータは梨地ハッチングの四角で表されている。

[0086] 図 27 の例において、ノウハウ再推定部 109 は、データの発生頻度を基に、薬剤注入量 L と反応槽リン濃度 C の、属性ごとの同時発生確率を計算する。 $p(L_{A1}, C_{A1}) = 2/22$ 、 $p(L_{A2}, C_{A1}) = 4/22$ 、 $p(L_{A3}, C_{A1}) = 0/22$ 、 $p(L_{A1}, C_{A2}) = 0/22$ 、 $p(L_{A2}, C_{A2}) = 13/22$ 、 $p(L_{A3}, C_{A2}) = 0/22$ 、 $p(L_{A1}, C_{A3}) = 0/22$ 、 $p(L_{A2}, C_{A3}) = 1/22$ 、 $p(L_{A3}, C_{A3}) = 2/22$ 、 $p(L_{A1}) = 2/22$ 、 $p(L_{A2}) = 18/22$ 、 $p(L_{A3}) = 2/22$ 、 $p(C_{A1}) = 6/22$ 、 $p(C_{A2}) = 13/22$ 、 $p(C_{A3}) = 3/22$ である。従って、相互情報量 $I(L_A; C_A) = 0.49$ [bit] となる。ここで、相互情報量 $I(L_A; C_A)$ は、反応槽リン濃度の属性 C_A を知ることによって薬剤注入量増減値の属性 L_A に関して得られる情報量である。 $I(L_A; C_A) \geq I_{TH}$ となり、ノウハウ再推定部 109 は、運用ノウハウの推定精度が推定精度基準を満たすと判定する。そして、ノウハウ再推定部 109 は、条件付き確率 $p(L_A | C_A)$ を算出し、 $p(L_A | C_A)$ から運用ノウハウを再推定する。

[0087] 以上では、実施の形態 4 の運用ノウハウ推定装置 1004 を、実施の形態 3 の運用ノウハウ推定装置 1003 の構成にノウハウ再推定部 109 等を追加した構成として説明した。しかし、実施の形態 4 の運用ノウハウ推定装置 1004 は、実施の形態 1 または実施の形態 2 の運用ノウハウ推定装置 1001、1002 の構成にノウハウ再推定部 109 等を追加した構成であっても良い。

[0088] <D-3. 効果>

実施の形態 4 の運用ノウハウ推定装置 1004 は、ユーザからの入力を受け付ける入力部である不足情報入力部 108 と、運用ノウハウを再推定するノウハウ再推定部 109 を備える。ノウハウ推定部 103 は、計測値の時系列データから判定されたイベントの発生期間における制御値の時系列データが存在しない場合、計測値の時系列データを対応操作不明データと判定する

。不足情報入力部 108 は、対応操作不明データにおけるイベントの発生期間における制御値の時系列データを対応操作データとしてユーザから受け付ける。ノウハウ再推定部 109 は、対応操作不明データと対応操作データに基づき運用ノウハウを再推定する。従って、運用ノウハウ推定装置 1004 によれば、対応操作不明データがある場合でも、ユーザから受け付けた対応操作データにより対応操作不明データを補完することによって、高精度に運用ノウハウを推定することができる。

[0089] また、実施の形態 4 の運用ノウハウ推定装置 1004 において、ノウハウ推定部 103 は、計測値の時系列データと制御値の時系列データとの相互情報量が予め定められた閾値以下である場合に、計測値および制御値の時系列データを操作根拠不足データと判定する。不足情報入力部 108 は、操作根拠不足データの期間に関する属性情報を操作根拠データとしてユーザから受け付ける。ノウハウ再推定部 109 は、操作根拠不足データと操作根拠データに基づき運用ノウハウを再推定する。従って、運用ノウハウ推定装置 1004 によれば、操作根拠不足データがある場合でも、ユーザから受け付けた操作根拠データにより操作根拠不足データを補完することによって、高精度に運用ノウハウを推定することができる。

[0090] < E. 実施の形態 5 >

実施の形態 4 の運用ノウハウ推定装置 1004 では、対象時系列データに対して運転員の認識を表す属性情報を推定し付与するが、対象時系列データの値によっては付与される属性情報の数が運転員の認識と比較して多数になるという課題があった。実施の形態 5 の運用ノウハウ推定装置 1005 では、以下の構成により上記の課題を解決する。

[0091] 図 28 は、実施の形態 5 の運用ノウハウ推定装置 1005 の構成を示すブロック図である。運用ノウハウ推定装置 1005 は、実施の形態 4 の運用ノウハウ推定装置 1004 の構成に加えて、属性付与制約記録部 207 を備えている。

[0092] 運用ノウハウ推定装置 1005 は、入力装置と、出力装置と、中央演算処

理装置 (central processing unit、すなわち、CPU) と、主記憶装置と、二次記憶装置と、たとえば、イントラネットなどのネットワークに接続するための通信機器とを備える。

[0093] 図28におけるデータ入出力部101、不足情報入力部108は、入力装置によって実現される。データ入出力部101、不足情報入力部108は、通信機器によって実現されてもよい。また、図28における、ノウハウ推定部103、表示制御部104、属性推定部106、イベント判定部107およびノウハウ再推定部109は、CPUが計算に必要なデータを二次記憶装置に保存し、または、計算に必要なデータを二次記憶装置から読み出しつつ、主記憶装置に格納されたソフトウェアプログラムを実行することによって実現される。

[0094] また、図28における表示部105は、出力装置によって実現される。図28における計測値記録部201、制御値記録部202、運用ノウハウ記録部203、精度基準記録部204、対応操作不明データ記録部205、操作根拠不足データ記録部206、および属性付与制約記録部207は、主記憶装置または二次記憶装置によって実現される。

[0095] 属性付与制約記録部207は、属性付与制約を記録する。属性推定部106は、属性を推定する際、属性付与制約記録部207に記録された属性付与制約を考慮した上で属性を推定する。

[0096] 例えば、属性付与制約は、「時系列データの変化幅が最大変化幅の一定割合以下となる区間に、複数の属性を付与してはいけない」である。時系列データの最大変化幅は、最大値と最小値から算出される。この場合、属性推定部106は、時系列データの変化幅が最大変化幅の一定割合以下となる区間に複数の属性が推定されていれば、それらを統合した属性を算出し、時系列データの当該区間に付与する。このように、属性付与制約は、1つの属性情報を付与する対象時系列データの区間長に関する制約である。

[0097] 以上では、実施の形態5の運用ノウハウ推定装置1005を、実施の形態4の運用ノウハウ推定装置1004の構成に属性付与制約記録部207を加

えた構成として説明した。しかし、実施の形態5の運用ノウハウ推定装置1005は、属性推定部106を備える実施の形態2または実施の形態3の運用ノウハウ推定装置1002, 1003の構成に、属性付与制約記録部207を加えた構成であっても良い。

[0098] 実施の形態5の運用ノウハウ推定装置1005によれば、分類情報付与部である属性推定部106は、1つの属性情報を付与する対象時系列データの区間長に関する制約である属性付与制約に従って、属性情報を対象時系列データの区間に付与する。従って、実施の形態5の運用ノウハウ推定装置1005によれば、対象時系列データの如何を問わず、対象時系列データに付与される属性情報が運転員の認識と比較して多数になることを避けることができる。

[0099] <F. 実施の形態6>

実施の形態4の運用ノウハウ推定装置1004では、対象時系列データにおいてイベント発生期間の判定を行う。しかし、対象時系列データの値によっては、判定されるイベントの種類が運転員の認識と比較して多数になるという課題があった。実施の形態6の運用ノウハウ推定装置1006では、以下の構成により上記の課題を解決する。

[0100] 図29は、実施の形態6の運用ノウハウ推定装置1006の構成を示すブロック図である。運用ノウハウ推定装置1006は、実施の形態4の運用ノウハウ推定装置1004の構成に加えて、イベント検出感度記録部208を備えている。イベント検出感度記録部208は、イベント検出感度を記録する。イベント検出感度は、対象時系列データの2つの区間で同一イベントが発生しているとみなすことのできる、両区間における特徴量の一致度を示す。

[0101] 運用ノウハウ推定装置1006は、入力装置と、出力装置と、中央演算処理装置（central processing unit、すなわち、CPU）と、主記憶装置と、二次記憶装置と、たとえば、イントラネットなどのネットワークに接続するための通信機器とを備える。

[0102] 図29におけるデータ入出力部101、不足情報入力部108は、入力装置によって実現される。データ入出力部101、不足情報入力部108は、通信機器によって実現されてもよい。また、図29における、ノウハウ推定部103、表示制御部104、属性推定部106、イベント判定部107およびノウハウ再推定部109は、CPUが計算に必要なデータを二次記憶装置に保存し、または、計算に必要なデータを二次記憶装置から読み出しつつ、主記憶装置に格納されたソフトウェアプログラムを実行することによって実現される。

[0103] また、図29における表示部105は、出力装置によって実現される。図29における計測値記録部201、制御値記録部202、運用ノウハウ記録部203、精度基準記録部204、対応操作不明データ記録部205、操作根拠不足データ記録部206、およびイベント検出感度記録部208は、主記憶装置または二次記憶装置によって実現される。

[0104] イベント判定部107は、イベント検出感度記録部208に記録されたイベント検出感度に従って対象時系列データのイベント判定を行う。例えば、イベント検出感度が70%である場合、イベント判定部107は、対象時系列データの2つの区間における特徴量の一致度が70%以上であれば、両区間において同一イベントが発生し、一致度が70%未満であれば、両区間において別イベントが発生していると判定する。また、イベント判定部107は、対象時系列データの極値の属性のパターンによってイベントを判定する場合、対象時系列データの通常時における極値の属性のパターンと、判定対象区間における極値の属性パターンの一致度が70%未満である場合に、判定対象区間でイベントが発生していると判定する。また、イベント判定部107は、対象時系列データの極値の時間間隔によってイベントを判定する場合、対象時系列データの通常時における極値の時間間隔のパターンと、判定対象区間における極値の時間間隔のパターンとの一致度が70%未満である場合に、判定対象区間でイベントが発生していると判定する。

[0105] 以上では、実施の形態6の運用ノウハウ推定装置1006を、実施の形態

4の運用ノウハウ推定装置1004の構成にイベント検出感度記録部208を加えた構成として説明した。しかし、実施の形態6の運用ノウハウ推定装置1006は、属性推定部106を備える実施の形態2または実施の形態3の運用ノウハウ推定装置1002, 1003の構成に、イベント検出感度記録部208を加えた構成であっても良い。

[0106] 実施の形態6の運用ノウハウ推定装置1006は、イベント判定部107におけるイベントの発生期間の検出条件となる、計測値の時系列データにおける特徴量の一致度を規定するイベント検出感度を記録するイベント検出感度記録部208を備える。イベント判定部は、イベント検出感度に基づきイベントの発生期間を検出する。従って、実施の形態6の運用ノウハウ推定装置1006によれば、対象時系列データの如何を問わず、対象時系列データから検出されるイベントの種類が運転員の認識と比較して多数となることを避けることができる。

[0107] なお、本発明は、その発明の範囲内において、各実施の形態を自由に組み合わせたり、各実施の形態を適宜、変形、省略したりすることが可能である。この発明は詳細に説明されたが、上記した説明は、すべての態様において、例示であって、この発明がそれに限定されるものではない。例示されていない無数の変形例が、この発明の範囲から外れることなく想定され得るものと解される。

符号の説明

[0108] 101 データ入出力部、102 ラベル推定部、103 ノウハウ推定部、104 表示制御部、105 表示部、106 属性推定部、107 イベント判定部、108 不足情報入力部、109 ノウハウ再推定部、201 計測値記録部、202 制御値記録部、203 運用ノウハウ記録部、204 精度基準記録部、205 対応操作不明データ記録部、206 操作根拠不足データ記録部、207 属性付与制約記録部、208 イベント検出感度記録部、1001-1006 運用ノウハウ推定装置。

請求の範囲

- [請求項1] 水道プラントの状態に関する計測値および運転操作に関する制御値の時系列データである対象時系列データを取得するデータ取得部と、
前記対象時系列データを区間ごとにクラスタリングアルゴリズムによって分類し、分類結果である分類情報を前記対象時系列データの区間に付与する分類情報付与部と、
前記分類情報毎に前記計測値と前記制御値が同時に成立する条件付き確率を算出し、前記条件付き確率に基づき、前記計測値に対して設定すべき前記制御値を表す運用ノウハウを推定するノウハウ推定部と、
前記運用ノウハウに基づき前記水道プラントの状態認識または運転操作を支援する表示情報を作成し、表示部に表示させる表示制御部と、を備える、
運用ノウハウ推定装置。
- [請求項2] 前記分類情報付与部は、前記対象時系列データのパターン分類を行い、前記パターン分類の結果を前記分類情報として前記対象時系列データに付与する、
請求項1に記載の運用ノウハウ推定装置。
- [請求項3] 前記分類情報付与部は、前記対象時系列データの値の大きさに対する前記水道プラントの運転員の認識を表す大小属性を、前記分類によって推定し、前記大小属性を前記分類情報として前記対象時系列データの区間に付与する、
請求項1に記載の運用ノウハウ推定装置。
- [請求項4] 前記計測値の時系列データから、前記水道プラントの運転員が運転操作の判断に用いるイベントの発生期間を検出するイベント判定部をさらに備え、
前記ノウハウ推定部は、前記イベントの発生期間とそれ以外の期間とを区別して、前記分類情報毎に前記計測値と前記制御値が同時に成

立する前記条件付き確率を算出する、
請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の運用ノウハウ推定装置
。

[請求項5] 前記イベント判定部は、前記計測値の時系列データにおける極値の変化パターンに基づき、前記イベントの発生期間を検出する、
請求項 4 に記載の運用ノウハウ推定装置。

[請求項6] 前記イベント判定部は、前記計測値の時系列データにおける極値の時間間隔に基づき、前記イベントの発生期間を検出する、
請求項 4 に記載の運用ノウハウ推定装置。

[請求項7] ユーザからの入力を受け付ける入力部と、
前記運用ノウハウを再推定するノウハウ再推定部をさらに備え、
前記ノウハウ推定部は、前記計測値の時系列データから判定された前記イベントの発生期間における前記制御値の時系列データが存在しない場合、前記計測値の時系列データを対応操作不明データと判定し、
前記入力部は、前記対応操作不明データにおける前記イベントの発生期間における前記制御値の時系列データを対応操作データとして前記ユーザから受け付け、
前記ノウハウ再推定部は、前記対応操作不明データと前記対応操作データに基づき、前記運用ノウハウを再推定する、
請求項 4 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の運用ノウハウ推定装置
。

[請求項8] 前記ノウハウ推定部は、前記計測値の時系列データと前記制御値の時系列データとの相互情報量が、予め定められた閾値以下である場合に、前記計測値の時系列データと前記制御値の時系列データとを、操作根拠不足データと判定し、
前記入力部は、前記操作根拠不足データの期間に関する属性情報を操作根拠データとして前記ユーザから受け付け、

前記ノウハウ再推定部は、前記操作根拠不足データと前記操作根拠データに基づき、前記運用ノウハウを再推定する、
請求項7に記載の運用ノウハウ推定装置。

[請求項9] 前記分類情報付与部は、1つの前記属性情報を付与する前記対象時系列データの区間長に関する制約である属性付与制約に従って、前記属性情報を前記対象時系列データの区間に付与する、
請求項3に記載の運用ノウハウ推定装置。

[請求項10] 前記イベント判定部において前記イベントの発生期間を検出するための、前記計測値の時系列データにおける特徴量の一致度を規定するイベント検出感度を記録するイベント検出感度記録部をさらに備え、
前記イベント判定部は、前記イベント検出感度に基づき前記イベントの発生期間を検出する、
請求項4から請求項7のいずれか1項に記載の運用ノウハウ推定装置。

[請求項11] 水道プラントの状態に関する計測値および運転操作に関する制御値の時系列データである対象時系列データを取得し、
前記対象時系列データを区間ごとにクラスタリングアルゴリズムによって分類し、
前記分類の結果である分類情報を前記対象時系列データの区間に付与し、
前記分類情報毎に前記計測値と前記制御値が同時に成立する条件付き確率を算出し、
前記条件付き確率に基づき、前記計測値に対して設定すべき前記制御値を表す運用ノウハウを推定し、
前記運用ノウハウに基づき前記水道プラントの状態認識または運転操作を支援する表示情報を作成し、
前記表示情報を表示部に表示させる、
運用ノウハウ推定方法。