(39) BIMとセンサを活用した既存建築物の環境改善支援システムの開発に関する検討

中山　一希[1]・矢吹　信喜[2]・福田　知弘[3]・道川　隆士[4]

[1]学生会員　大阪大学大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 博士前期課程

[2]フェロー会員　大阪大学教授　大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻
（〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1）
E-mail: yabuki@see.eng.osaka-u.ac.jp

[3]正会員　大阪大学准教授　大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻
[4]非会員　大阪大学特任助教　環境イノベーションデザインセンター

近年，大量のセンサが環境中に設置されるようになりつつある．大量のセンサにより得られたデータを有効活用する手段としてデータマイニングがあるが，センサデータ単体からのデータマイニングでは有用な知識の発見は難しく，センサの周辺情報などのコンテクスト情報を加味したデータマイニング手法が有効である．本研究では，建築分野で盛んに利用されるようになってきているBIMデータを用いることで，センサデータから建物の環境改善に有効な知識を発見し，発見した知識を用いて環境改善に対する行動を支援することのできるシステムの開発を行った．

Key Words : *data mining, BIM, sensor, environmental manipulation, knowledge model*

1. はじめに

今後，センサの小型化・低価格化が進み，膨大な数のセンサが環境中に設置され，大量のセンサデータがデータベースに蓄積されるようになると予想される．実際，近年，様々なEMS（Energy Management System）等が開発・利用されつつある．しかし，現行の主なEMSでは，小型のセンサを用いたモニタリングデータの単なる“見える化”にとどまっており，センサデータの更なる有効活用の手段が求められている．大量のセンサデータの活用手段として，センサデータを活用して何らかの環境改善を行うことが考えられる．

センサデータから環境改善に有用な知識を発見する方法としてデータマイニングが挙げられる．データマイニングとは，膨大なデータから有意な知識を発掘するためのプロセスのことであり，金融，小売，土木等の様々な分野で応用されている．

センサデータの殆どは数値であるため，単にセンサデータのみを用いてデータマイニングを行っただけでは，何らかの規則を導き出すことは可能だが，期待されるような知識を発見できる可能性は低い．

センサデータに加えて，センサのコンテクストを用いたデータマイニングの手法がYabuki et al.(2011)[1]によって開発され，センサ周辺のコンテクストを用いたデータマイニングの有効性が示されている．

また，センサのコンテクスト情報を表現するのに，プロダクトモデル（3次元データモデル）が有効である．プロダクトモデルを用いることで，センサと周辺の壁や窓等との位置関係が容易に把握できるからである．しかし，建築・建設分野でよく用いられるプロダクトモデルであるIFCモデルではセンサに関する情報を十分記述できないのため，センサデータを詳しく表現するためにはIFCモデルの拡張が求められる．

さらにデータマイニングによって得られた知識を活用するために，得られた知識のうち有用なものをデータベースに蓄積することによって，ルールベースを構築することが有効である．ルールベースを用いてコンピュータと対話的に処理を行うことで，問題解決の支援が可能になる．

そこで，本研究では，大量のセンサによる計測データから自動的に建物の環境改善に関する課題の発見と支援を行うために，センサ周辺の情報をモデル化し，そのモデルを活用してデータマイニングを行い，データマイニングによって得られた知識をルールベース化し，そのル

ールベースによって推論システムを作成し，環境改善の支援を行うことが出来るシステムの開発を目的とした．

2. システムの概要

システムは大きく，データマイニングを行い知識発見を行う部分と，発見した知識を用いた環境改善支援の2つの部分に分けられる．ここでは、それぞれの概要について説明する．

(1) データマイニング手法

開発したシステムでは、センサデータとコンテクストデータを用いたデータマイニングの手法として、Yabuki et al. が開発した DMSC 手法を用いた．DMSC 手法は以下の**図 1** に示すようなプロセスである．DMSC 手法の特徴は，コンテクストを収集しデータウェアハウスを構築する事，センサデータを離散化することで，データマイニングしやすくしたことである．

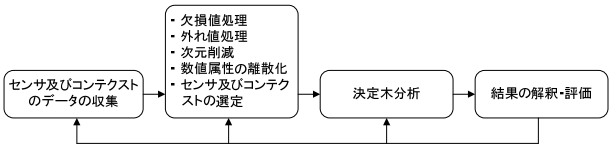

図 1 DMSC 手法のプロセス

(2) 環境改善支援のための推論システム

環境改善を支援するために，データマイニングによって得られた知識や既知の知識のモデル化を行い，センサデータモデルと知識モデルとの統合化を行うことによって，大量の環境計測データから自動的に課題を発見できるような方法論を開発した．次に，統合化されたモデルを用いて，知識から推論を行い，何らかの結論を導き出すための推論システムを開発した．

a) センサデータモデルと知識モデルとの統合化

蓄積データの活用のためには，何らかの数学的なモデル（データモデル）に従って蓄積していくことが有効である．しかし，センサデータモデルや建物情報のモデル等は対象領域別に開発されており，コンピュータによる一元的な処理は困難である．そのため，これらのモデルの統合化を行った．

b) 知識のモデル化

環境改善に関する知識を事実（facts）とルール（rules）の2つに分けた．事実（facts）に関しては，建築物のライフサイクルを通じたプロダクトモデルである IFC（Industry Foundation Classes）を用いることとした．オブジェクト志向モデルであるIFCの表記に従うことにより，建物において構造や部材，個々の電子機器といった膨大かつ複雑な情報をコンピュータによって一元的に管理することが可能となる．ルール（rules）に関しては，IF-THENのルール形式で記述した．

c) センサデータモデルと知識モデルの統合化

センサデータモデルは，計測時間や計測値，識別ID等のデータがモデル化されている．これらは，知識のモデル化において事実（facts）として扱うことが可能であると考え，同様にIFCの表記に従った．IFC中には，センサに関する情報の一部（サイズや設置場所等）は既にモデル化されているため，既にあるモデルに属性情報として付加することで，統合化を行った．統合化の際に，センサデータモデルにデータ型等の情報を加えるため，異なるセンサ間や知識モデルと関連付けたコンピュータ処理が可能となる．

d) 推論システムの開発

統合化されたモデルを用いて，様々な知的処理をコンピュータに行わせるために，推論システムを開発した．推論システムでは，プロダクションシステムをベースとしたシステムを作成した．プロダクションシステムは，IF-THENのルールの集合からなる知識ベースと，現在の状態を表すワーキングメモリ（WM），及び推論エンジンから構成される．推論エンジンは知識ベース内のルールの条件部と，WM内の要素のマッチングを行う．マッチングに成功した場合，推論エンジンはそのルールのアクション部を実行に移す．アクションを実行した結果，新たな状態にWMが書き換えられ，これを繰り返すことによりルールの集合を基に推論し，推論結果を導く．

コンピュータがデータから推論を行うために，センサデータモデルと知識モデルとを統合化したものを用いる推論エンジンをProlog言語により開発した．

3. まとめ

大量のセンサデータから環境改善を支援するシステムの開発を行った．大量のセンサデータから環境改善に有用な知識を発見する手法として，コンテクストを用いたデータマイニングを採用し，センサデータ周辺のコンテクストを表現する方法として，IFCを採用し，拡張を行うことでセンサの詳細な記述を可能にした．また発見した知識を用いて自動的に行動を支援するための推論システムの開発を行った．これらにより，コンピュータにより自動的に環境改善行動の支援を可能にした．

参考文献

1) Nobuyoshi Yabuki, Yoshihiro Yoshida, Shota Tsukamoto, Tomoiro Fukuda: Data Storage and Data Mining of Building Monitoring Data with Contexts, Proceedings of the 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC2011), pp.377-378, 2011.