

分散システム設計における設計知識の表現と利用

木下 哲男* 菅原 研次** 白鳥 則郎***

* 沖電気工業 (株) 総合システム研究所
〒108 東京都港区芝浦 4-11-22

** 千葉工業大学情報工学科
〒275 習志野市津田沼 2-17-1

*** 東北大学工学部情報工学科
〒980 仙台市青葉区荒巻字青葉

あらまし

分散処理システムをはじめとする情報処理システムの開発では、利用者の多様な要求を反映した利用者指向システムを設計することが重要である。こうした利用者指向システムの設計開発を効率的に行なうためには、熟練設計者の経験的知識などの様々な設計知識と、それらを利用するための仕組みが必要となる。本稿では、知識型設計方法論に基づいて、設計タスクに係わる様々な知識を形式化し、設計プロセスにおいて効果的に利用する手法について議論する。

和文キーワード 知識表現モデル、設計方法論、知識型設計支援

Representation and Utilization of Design Knowledge for Distributed Computing System Design

Tetsuo Kinoshita * Kenji Sugawara ** Norio Shiratori ***

* Systems Laboratories, OKI Electric Industry Co., Ltd.
4-11-22, Shibaura, Minato-ku, Tokyo 108

** Dept. of Information Engineering, Chiba Institute of Technology
2-17-1, Tsudanuma, Narashino 275

*** Dept. of Information Engineering, Tohoku University
Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai 980

Abstract

In a development of an information processing system including a distributed computing system, it's important to design and implement a user-oriented system which satisfies various users' requirements. In order to develop the user-oriented system, many kinds of design knowledge such as design heuristics of expert designers may be required. In this paper, a technique for representing and utilizing various design knowledge in a design process is discussed based on the knowledge-based design methodology.

英文 key words Knowledge Representation Model, Design Methodology, Knowledge-based Design Support

1. まえがき

情報通信システムの発展と利用者層の拡大に伴って、利用者の多様な要求を反映した使い易いシステム（利用者指向システム）を提供することが重要な課題となっている。こうした利用者指向システムでは、システムの利用者の持つ様々な要求が、システムの機能や構成要素に的確に反映されることが必要である。例えば、情報通信システムをベースとする利用者指向の分散システムでは、基盤となるコミュニケーションネットワークシステム、ネットワークを介して利用者に提供されるサービス機能、更には利用者との接点となるヒューマンインタフェースなど、分散システムを構成する多数の要素が、様々な利用者の多様な要求に基づいて設計開発される。

一方、こうした利用者指向システムの設計開発を、一貫した設計思想の下で効果的に行なうためには、熟練設計者の経験的知識を含む多様な設計知識と、それらを利用するための仕組みが必要となる。従来、様々な設計問題を対象として、設計方法論や設計技法に関する多くの研究が行なわれ、実際に設計現場で利用されるCADシステムやCASEツールなども多数開発されてきた。しかしながら、種々の設計知識を設計タスクの中で効果的に利用する技法、あるいは利用者指向設計を行なう上で重要な設計の上流工程に関する設計技法や支援手法に関しては、多くの課題が残されている。

こうした課題を解決するための一つのアプローチとして、知識型設計方法論（Knowledge-based Design Methodology: KDM）と呼ばれる枠組が提案され、知識工学的手法に基づく設計支援環境の検討が進められている[1],[2]。その目的は、利用者指向システムを実現するための知識型設計支援環境を提供することであり、本方法論の適用により、設計タスクに係わる種々の設計知識が形式化され、それらの知識を設計プロセスで利用するための基本的枠組みが構成される。本稿では、分散システム設計に係わる幾つかの設計タスクに対する知識型設計方法論の適用事例に基づいて、知識型設計方法論における設計知識の表現と利用の枠組について議論する。

2. 知識型設計方法論における知識表現体系

利用者指向システムの設計においては、利用者要求や設計条件（これを問題依存知識と呼ぶ）を設計

対象に最大限に反映させることが必要である。知識型設計方法論に基づく設計タスクモデリングでは、対象設計タスクに係わる種々の設計知識（これを領域依存知識と呼ぶ）を利用した問題依存知識の解釈・操作・変換によって、設計目標を系統的に導出するトップダウンな設計プロセスを構成する[1]。ここで、問題依存知識としては、種々の利用者要求、設計制約条件、設計対象、あるいは設計状態に関する情報などが含まれ、領域依存知識には、設計者の経験的知識（設計ヒューリスティックス）や設計ドメインの基本知識などが含まれる。

こうした問題依存知識や領域依存知識を形式的に獲得・表現・蓄積し、設計プロセスの過程で効果的に利用するための手段として、知識型設計方法論では以下の3つの知識表現体系を導入している。

- ・知識モデル：設計ステージにおける問題依存知識を表現するもので、設計タスクのモデリングに基づいて適宜定義される。
- ・マッピング：設計プロセスを駆動する領域依存知識を表現するもので、上位の知識モデルから下位の知識モデルに対する写像として形式化される。
- ・背景知識：マッピングを補完する種々の領域依存知識を表現するもので、知識モデルの構造に関する知識（モデル化知識）、対象設計ドメインにおける基本的知識、あるいは設計履歴や設計事例に関する知識などが、知識モデルとマッピングに基づいて形式化され表現される。

これらの知識に基づく知識型設計方法論の設計プロセスモデルを図1に示す。この設計プロセスモデルを適用することにより、対象設計タスクの設計プロセスは、マッピングと背景知識を利用した知識モデルの変換プロセスとしてモデル化される。これを、知識型設計方法論に基づく対象設計タスクの知識型設計支援プロセスと呼ぶ。知識型設計支援プロ

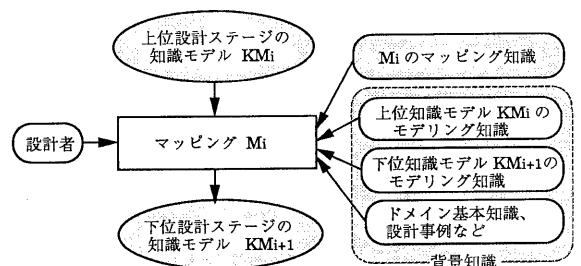


図1 知識型設計方法論 (KDM) の設計プロセスモデル

セスでは、i) 領域依存知識を利用した問題依存知識の抽象化（正規化）／詳細化（補完・精密化）などが系統的に行なえる、ii) 設計者との協調的なインタラクションが組み込み易い、iii) Generate&Test（検索・試行）型の処理の自動化と効率化が期待できる、iv) 設計プロセスの効果的な制御とその高度化が図れる、v) 設計支援情報（領域依存知識）を利用した設計者のアクティブな支援機能が組み込める、などの利点がある。

3. 知識型設計方法論に基づく 設計知識の表現・利用の諸相

タイプの異なる設計タスクに対する知識型設計方法論の適用例を紹介し、知識型設計方法論における設計知識の定式化のアプローチについて議論する。

3. 1 分散システムの要求定義タスク

利用者指向システム的设计開発の上流工程において、利用者要求から形式化された要求仕様を導出する知識型設計支援方式（KRD/CCS）を定式化した。

KRD/CCSでは、利用者から与えられる種々の要求（問題依存知識）を形式的に表現する2種類の知識モデルと、分散システムの要求仕様を表現する知識モデルを定義した。

1) 抽象システムモデル（Abstract System Model: ASM）：利用者サイドから分散システムの論理機能を記述するモデルであり、設計対象となる分散システムを仮想的に単一のシステム（仮想化分散システム）として捉え、利用者要求（初期要求と呼ぶ）を仮想化分散システムに対する利用者コマンドの形式で表現する（図2）。利用者コマンドは、基本的に要求機能と入出力オブジェクトによって与えられ、分散システム上の多数の構成要素は、利用者コマンドの機能の実現に必要なリソースとして一元的にモデル化される[3]。

2) 解析済み要求モデル（Analyzed Requirement Model: ARM）：抽象システムモデルとして与えられた利用者の初期要求には、不正確で曖昧な記述や相互に矛盾する記述などが含まれる。そこで、抽象システムモデルの分析や詳細化、あるいは記述の抽象化や統合によって、正規化された初期要求を表現するモデルである[4]。

3) 利用者視点仮想マシン（User's view Virtual Machine: UVM）：解析済み要求モデルの変換に

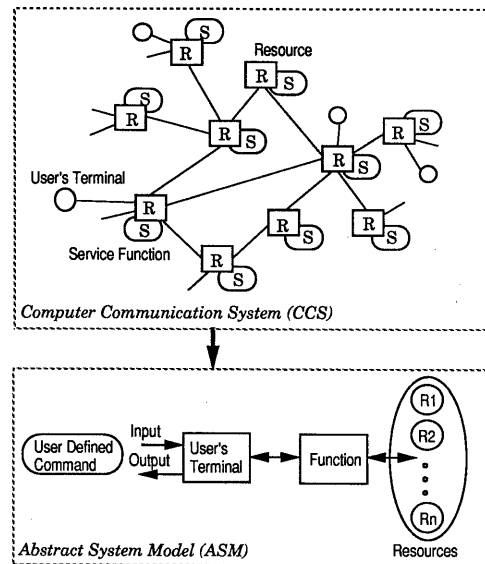


図2 抽象システムモデル (ASM)

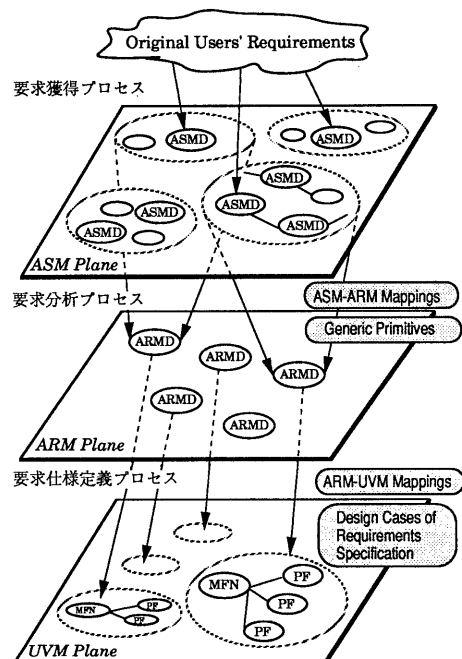


図3 KRD/CCSの知識型設計プロセス

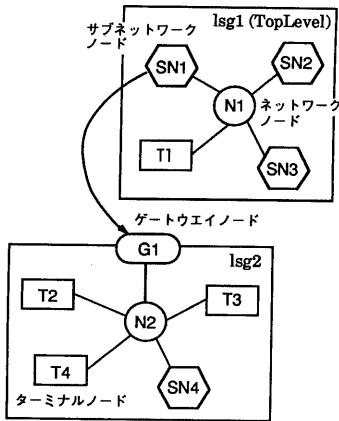


図4 コミュニケーションネットワークアーキテクチャモデル (CNAM)

よって、利用者の視点からみた分散システムの論理機能に関する要求仕様を表現するモデルである。これは、仮想化分散システムの利用者コマンドに相当するマクロファンクション、及びそれを実現するための基本機能を表すプリミティブファンクションという2種類の機能要素によって表現される。

一方、上記知識モデル相互間のマッピングによって、KRD/CCSの知識型要求定義プロセスが構成される(図3)。KRD/CCSでは、要求解析プロセスと要求定義プロセスに対して、ジェネリックプリミティブと要求仕様設計事例という2種類の背景知識を導入してマッピングを行なう。ジェネリックプリミティブは、知識モデル(ASMとARM)を構成する標準的な記述要素を概念階層として表現したもので、これによって初期要求の正規化が行なわれる。また、要求仕様設計事例は、既設計の分散システムの要求仕様定義の設計事例を表現したもので、ある要求機能を表すARMと、それに基づいて定義されたUVMのペアによって事例が表現されている。これらの詳細は省略するが、上記3種類の知識モデルの定義に基づいて形式化された背景知識をマッピングの過程で併用することにより、要求仕様の導出が効率的に行なえることが確認されている。

3.2 プロトコル設計タスク [5]

コミュニケーションネットワークの設計において、利用者要求に即したコミュニケーションプロトコルの概念仕様を導出する設計工程を支援する枠組(KDM/P)の定式化を行なった。ここでは、分散シ

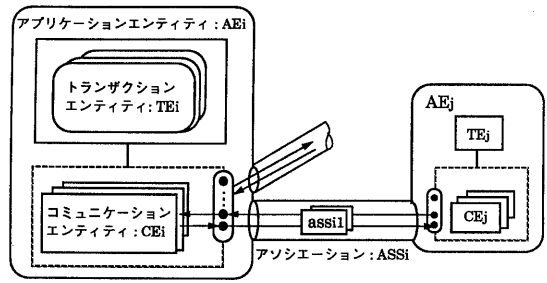


図5 コミュニケーションプロトコルアーキテクチャモデル (CPAM)

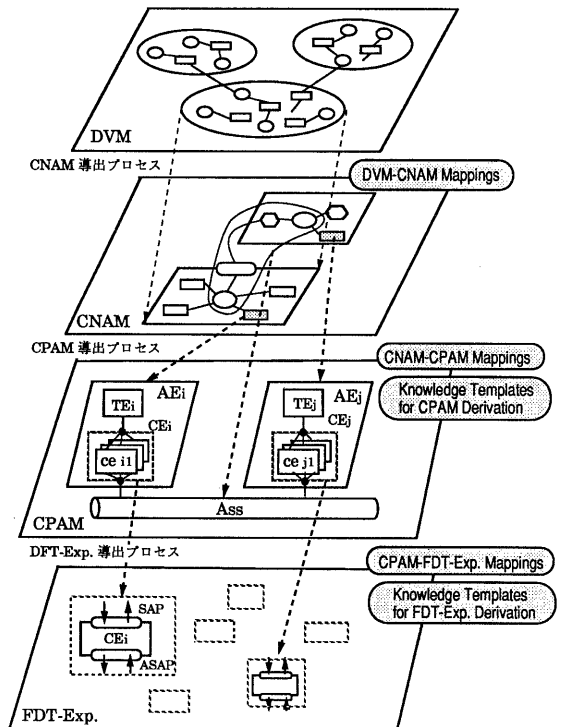


図6 KDM/Pの知識型設計プロセス

ステムの概念設計仕様に基づいて、コミュニケーションプロトコルの設計仕様のFDT-Expressions表現を導出する。そのため、KDM/Pでは、次の3種類の知識モデルを導入した。

- 1) 設計者視点仮想マシン (Designer's view Virtual Machine: DVM) : 分散システムの概念設計仕様を表現するモデルであり、分散システムの要求仕様

(これは、例えば、3.1で述べたUVMとして与えられる)に基づいて定義される。

2) コミュニケーションネットワークアーキテクチャモデル (CNAM) : コミュニケーションネットワーク系の概念仕様を表現するモデルで、DVMから抽出される。このモデルでは、図4に示すように、利用者ターミナル、リソース群、サブネットワーク、及びゲートウェイなどを表すノードとそれらを接続するリンクによるグラフによって論理構造が表現され、各ノードで定義される要求グラフによって論理機能が表現される。

3) コミュニケーションプロトコルアーキテクチャモデル (CPAM) : コミュニケーションプロトコルの設計仕様を表現するモデルで、OSI参照モデルのアプリケーション層に対応するモデリングが行なわれている (図5)。プロトコルの設計仕様は、CNAMのターミナルノードに割り付けられた要求機能を表すアプリケーションエンティティと、それらを接続するCNAM上の論理的経路を表すアソシエーションによって与えられる。そして、設計仕様の詳細は、アプリケーションエンティティにおいて、詳細化要求グラフを表現するトランザクションエンティティと、そこで利用される通信機能を表すコミュニケーションエンティティによって与えられる。

これらの知識モデルに基づくKDM/Pの知識型設計プロセスを図6に示す。ここでは、3種類のマッピング (DVM-CNAMマッピング、CNAM-CPAMマッピング、及びCPAM-FDT-Exp.マッピング) が定義される。また、CPAM導出とFDT-Exp.導出の背景知識が、知識テンプレートと呼ばれる形式で利用される。知識テンプレートは、プロトコル設計に関する経験的知識を与えるもので、CPAMで利用される標準的な通信機能の概念仕様や、CPAMに基づいて導出されるFDT-Exp.表現の標準形などが表現される。

3.3 インタフェース設計タスク [6]

分散システムの構成要素となる情報処理システムのインタフェース設計において、利用者の要求に基づくインタフェースの設計とそのプロトタイプ化過程を支援する枠組 (KDM/UI) を定式化した。

KDM/UIでは、図7に示したインタフェース設計の基本モデル (BM) に基づいて形式化されたインタフェースの要求仕様 (Mr) と設計仕様 (Md) が表現される。これらの仕様は、次の3種類の知識モデルの組みによって与えられる。

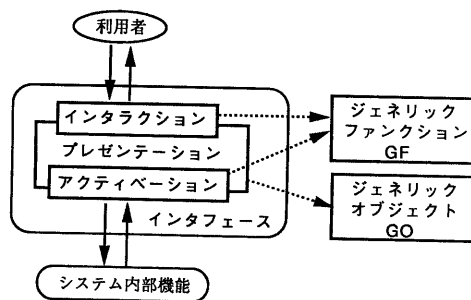


図7 インタフェース設計の基本モデル

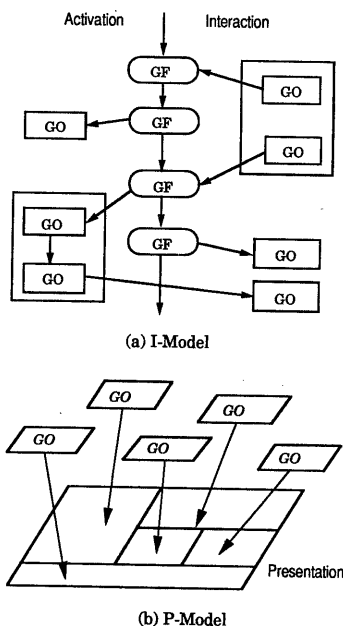


図8 I-ModelとP-Model

1) インタラクションモデル (I-Model) : BMにおけるインタラクションとアクティベーションに関する仕様を与えるもので、インタフェースを介して実行される利用者タスクの操作系列として表現される (図8)。操作系列の要素は、インタラクションとアクティベーションに関する要求機能とそれが作用するインタフェースの構成要素からなり、これらはそれぞれジェネリックファンクション (GF)、及びジェネリックオブジェクト (GO) と呼ばれる要素を用いて仕様化される。

2) プレゼンテーションモデル (P-Model) : BMにおけるプレゼンテーション (インタフェースの表現)

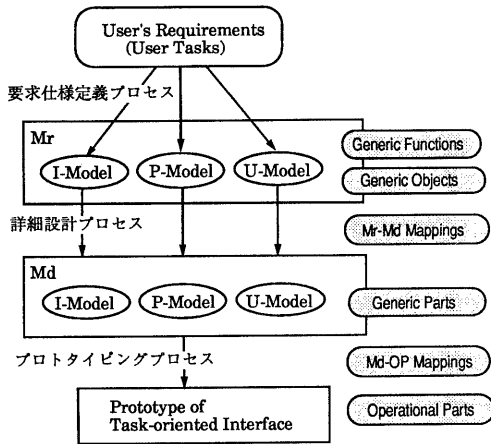


図9 KDM/UIの知識型設計プロセス

に関する仕様を与えるもので、ジェネリックオブジェクト (GO) の組み合わせによって仕様化される。

3) ユーザモデル (U-Model) : 個々の利用者に関する設計情報を与えるもので、利用者タスクの構造や利用者固有の制御情報などが形式的に表現される。

KDM/UIの知識型設計支援プロセスを図9に示す。要求定義プロセスでは、利用者要求から要求仕様Mrが導出され、詳細設計プロセスでは、Mrから設計仕様Mdが導出される。ここでは、インタフェースの要求/設計仕様の構成知識を与えるGFとGOを利用して、I-ModelとP-Modelが段階的に構成される。また、Md中のGFとGOが論理的な機能部品 (Generic Parts: GP) に置換され、設計仕様の詳細化が行なわれる。更に、プロトタイプングプロセスでは、論理機能部品GPを実際のプログラム部品 (Operational Parts: OP) に置換することにより、インタフェースのプロトタイプが生成される。

このように、KDM/UIでは、要求仕様から設計仕様を導出するMr-Mdマッピング、及び設計仕様からプロトタイプを生成するMd-OPマッピングを効果的に行うために、要求仕様/設計仕様の構成知識を与えるGF、GO、およびGP、また、プロトタイプの構成要素を与えるOPが、インタフェース設計の背景知識として利用されている。

3.4 設計知識の表現・利用方式の特長

知識型設計方法論に基づく設計支援の枠組は、設計知識の表現と利用という観点からみると次のような特長を持つ。

(1) 知識構造化の基盤としての知識モデル

設計プロセスで様々な設計知識を利用するためには、それらの知識に対する適切な知識表現形式を与えることが重要である。知識型設計方法論では、設計者の視点に基づく設計タスクモデリングによって種々の知識モデルが定義される。知識モデルは、設計タスクにおける問題依存知識の知識表現モデルであると共に、マッピングや背景知識の形式化における設計対象モデルとしての役割も果たす。従って、知識型設計方法論の枠組では、タイプの異なる設計知識が知識モデルを基盤として統一的に構造化されるので、それらの知識を設計タスクの中で協調的に利用するための知識表現形式の定義も容易となる。

(2) 様々な設計問題解決を実現するマッピング

知識型設計方法論では、設計プロセスを知識モデルの変換に基づく問題解決プロセスとして捉え、問題解決知識/戦略がマッピングとして統一的に定義される。こうしたマッピングの段階的な拡充により、様々な設計手法を反映した問題解決機能を実現することができる。また、マッピングの実装方式の工夫により、知識型設計支援系と従来型の設計支援系とを相互に接続することも可能である。

一方、設計プロセスの代表的モデルとして、詳細化型モデルと変換型モデルがあるが[7]、知識型方法論に基づく設計プロセスモデルでは、基本的には変換型モデルに基づくモデリングが行なわれている。しかしながら、知識モデルとして与えられる設計目標や設計問題の分割・詳細化を行なうためのマッピングを適宜定義することにより、詳細化型モデルに属する設計プロセスを構成することもできる。

(3) 設計問題解決を支援する背景知識

知識モデルとマッピングによって、対象設計タスクに特化した設計問題解決の基本的枠組みが与えられる。これをベースとして、より高度で柔軟な設計問題解決の枠組みを構成するために、マッピングを補完する設計問題固有の様々な知識が背景知識として定式化される。前述した知識型設計方法論の適用例では、知識モデルの構成要素知識を提供する種々のプリミティブ、あるいは設計の経験的知識を表現

した知識テンプレートや設計事例などが、個々の設計問題解決を支援する背景知識として提供されている。ところで、適用例で述べた要求仕様設計事例は、事例ベース推論[8]で利用される対象問題に関する事例と同様の役割を持つものである。従って、このような設計事例を利用するマッピングにおいては、事例ベース推論の枠組の適用も考えることができる。但し、知識型設計方法論では、知識モデルによって設計事例を構造化する基盤が与えられており、事例の操作に関する知識も知識モデルに基づくマッピングとして整理できるので、通常の事例ベース推論の場合に比べて、設計事例の表現・蓄積、及び流用がより容易に行なえるものと考えている。

4. むすび

本稿では、知識型設計方法論に基づいて、設計タスクに係わる様々な知識を知識モデル、マッピング、背景知識という3種類の知識表現体系によって構造化し、設計プロセスにおいて効果的に利用する手法について議論した。今後、より高度で柔軟な知識型設計支援を提供する際の重要な課題である設計知識の表現・利用手法について、知識型設計方法論の洗練や拡張も含めて検討を進める予定である。

文献

- [1] T.Kinoshita, et al., "Knowledge-based Design Support System for Computer Communication System", IEEE J. SAC, Vol. 6, No.5, pp.850-861, 1988.
- [2] N. Shiratori, et al., "Using Artificial Intelligence in Communication System Design", IEEE Software Mag., Vol.9, No.1, pp.38-46, 1992.
- [3] 木下、他、"コンピュータコミュニケーションシステム設計における初期要求知識獲得について"、情処研報、89-DPS-42-2, 1989.
- [4] 菅原、他、"分散処理システムの機能要求定義"、情処研報、89-DPS-41-5, 1989.
- [5] T.Kinosihta, et al., "Knowledge-based Protocol Design for Computer Communication Systems", IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol.E75-D, No.1, pp.156-169, 1992.
- [6] T. Kinoshita, et al., "Formalization of Interface Design Method and Construction of Design Support System based on Knowledge-based Design Methodology", Trans. IPSJ, Vol.31, No.6, pp.907-915, 1990.
- [7] J.Mostow, "Toward Better Models of the Design Process", AI Mag. AAAI, Vol.6, No.1, pp.44-57, 1985.
- [8] S.Slade, "Case-Based Reasoning: A Research Paradigm", AI Mag. AAAI, Vol.12, No.1, pp.42-55, 1991.