データベースからの学習機能を持つ確率推論システム BAYONET

BAYONET: Probabilistic Reasoning System with Learning from Database

本村 陽一 † 原 功 †
Yoichi Motomura † Isao HARA †

† 電子技術総合研究所
† Electrotechnical Laboratory

Abstract: In this article, a system for the research on probabilistic reasoning and learning from data base is reported. This system is based on a Bayesian network model, and also it is expanded by neural networks for non-linear, continuous domain like many real world applications. Thus, this system can adapt to various kind of data, and it can apply for more wide-spread applications. Structural knowledge acquisition from large data base is recent promising research issue, and Bayesian network is also expected to abstract such knowledge in the structure of the network. For this purpose, learning structure of Bayesian network is studied actively. In order to evaluate variety of structure selection algorithm, this system supports dynamical changing of local tree structures. To handle practical large data base tractably, this system can connect to major commercial, and non-commercial data base software in learning scheme by JDBC. These features and GUI operations can help to find structural knowledge from large data bases.

1 はじめに

複雑で完全には観測できない不確定な要因を含む実世界の問題を忠実にモデル化し, 興味ある対象についての予測や確信度を計算する確率推論は実世界で頑健に動作する知的システムのために有用である。また, 大規模なデーターベースの普及によりデーターの依存関係などの構造を抽出し, それを利用して興味ある対象についての予測や推論を行うという要求も高まってきている。こうした要請から問題領域に内在する構造を変数間の依存関係として精密に表し, 実際の観測データから確率モデルの構築を行うことが必要になっており, 変数間の依存関係をグラフ構造で表すベイジアンネット [1] をデータベースから学習するための研究などが活発になっている。

本発表ではベイジアンネットの拡張として, 多種多様な変数や非線形的な依存関係をも柔軟に表現するニューラルネットを条件付き確率に用いたモデル [2] を実装し, 一般のデータベースからの学習とユーザーとの対話的操作により構造化した知識表現を抽出し確率推論を実行・評価するための研究用システム BAYONET を紹介する。本システムは (1) 一般のデータベースソフトなどに格納された大規模なデータから条件付き確率をニューラルネットにより学習する, (2) グラフ構造の学習や局所的な構造を動的に選択する機能がある, といった特徴を持つ。さらに GUI による対話的な操作と学習の繰り返しにより最適な構造の探索を行い, データベースからの知識発見を支援することができる。またベイジアンネットワークを操作するオペレーションは言語としても提供され, ファイルや TCP/IP を通じて実行することで他のシステムのための推論エンジンとしても機能する。

2 ベイジアンネットワーク

ある変数 y が別のいくつかの変数 x に依存している場合には依存関係を関数として, $y = f(x)$ と書ける。変数が不確定性を持つがおおまかな傾向としての依存関係は存在している場合には確率変数 X が与えられた時の Y の条件付き確率 $P(Y|X)$ で書ける。これを $X \rightarrow Y$ と表し, アークの先に来る変数 Y を子ノード, アークの元に来る変数を親ノードとよぶ。ベイジアンネットはこのような変数間の依存関係を結んだグラフ構造と, 各子ノードごとに全親ノードに対する依存性を表す条件付き確率の二つによって, 定義される。解くべき領域の対象となる変数をあげて, これに関するベイジアンネットを構成すれば, 観測した変数の値をノードに代入して未観測の変数についての計算 (確率推論) を行うことで, 未知の変数がある値を取る頻度やその値である確信度が計算でき, 知りたい対象についての予測などを行うことができる。

3 BAYONET の特徴

問題に応じて適切なモデル化を行うために, データから忠実にベイジアンネットを構成することが重要である。そこで実際的な大規模データベースに接続し, 適切なグラフ構造を求め, 条件付き確率を学習するためのシステムとして BAYONET を開発した (図 1.)。

ベイジアンネットの学習は

- 変数間の依存関係を抽出して, グラフを構築する,
- 各変数の確率を特徴づける条件付き確率を統計データから学習する,

の 2 ステップからなる。

3.1 条件付き確率の学習

非線形性や連続性を持つ複雑で多種多様な条件付き確率を表すために各子ノードの条件付き確率についてそれぞれ三層の階層型ニューラルネットを用いる。各ニューラルネットはデータベースから親ノードが特定の値になる条件のもとでの子ノードがある値をとった発生頻度を条件付き確率とみなして BP 法により学習する。本システムは既に実際に利用されているような大規模なデータベースからの学習を容易にするため, JDBC ドライバが用意されている多くの一般のデータベースソフトへの接

連絡先: 〒 305-8568 つくば市梅園 1-1-4 電子技術総合研究所,
motomura@etl.go.jp, http://www.etl.go.jp/~motomura/,
Tel: (0298)54-5836, Fax: (0298)54-5301

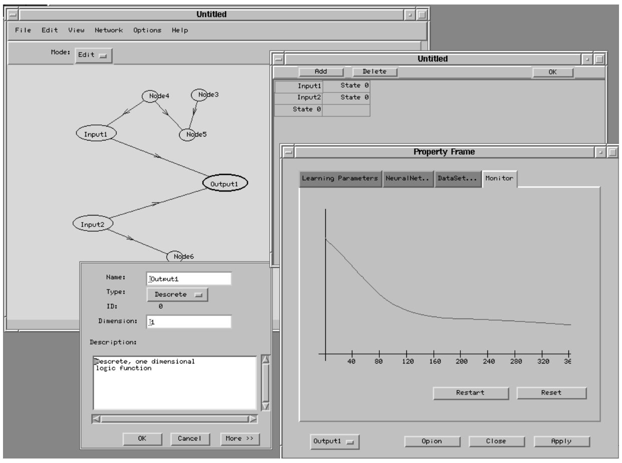

図 1: BAYONET system window

続を可能にしている。また GUI による学習の条件の変更や近似誤差のモニター機能などによって学習結果の解析を支援する。

3.2 グラフ構造の構築

ベイジアンネットの構造学習については, 現在も様々な手法が提案されつつあり研究が活発であるが, 最適な構造を完全に自動的に得ることはなお容易ではない。しかし, データへのモデルフィッティングを条件付き確率の表現能力の拡大 (非線形化) によって行えば, 構造の制約の方は比較的緩くなり, 許容される構造の解空間が広くなる。したがってユーザーが興味ある対象を整理し, おおまかな構造を与えてやることでもある程度の近似精度が得られることが期待される [3]。ニューラルネットによる条件付き確率の学習の収束 (成功) は与えた構造の妥当性の判定基準になるので, 対話的なグラフ構造の修正, 条件付き確率の学習, の繰り返しによってより適切なグラフ構造を探索することができる。このような手順に従い気象庁が提供するデータベースから, 各都市間の降雨開始時刻の依存関係を学習させた結果, 西方の各都市で降雨が観測された時刻から東方の都市での降雨開始時刻を予測するようなベイジアンネットの構造を得た例を図 2 に示す。いくつかの都市の組合せを試みた結果, B1=福井, B2=岐阜, B3=名古屋, A1=松本, A2=飯田, X=東京, という構造によって, 予測誤差が小さくなるように学習することができている。

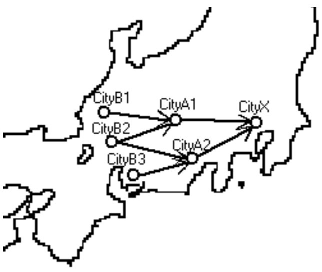

図 2: Bayesian network for rainfall prediction

3.3 動的な局所木構造の切り替え機能

適切な構造の探索を支援するため, 子ノード毎に局所的な木構造 (各子ノードと (複数の) 親ノード間の木構造) と条件付き確率を複数保持し, 容易に切り替えられる機構が本システムでは導入されている。また切り替えはユーザーの操作だけでなく, アルゴリズムとして与えることが可能であり, 様々なベイジアンネットの構造学習アルゴリズムの性能評価に利用できる。

もしも対象とする問題において, 変数間の依存性が観測結果や状況に応じて変化する場合には静的な単一の構造を持つ確率ネットワークでは対応しきれないことがある。このような場合に動的にベイジアンネットの構造を変更する方法 [4] が本システムでは確率推論時の親ノードの値によって局所構造を切り替えるアルゴリズムを組み込むことで実現できるので, 従来の静的で単一な構造しか持てないベイジアンネットでは表現できない複雑な問題も扱うことができる。

3.4 BAYONET スクリプト

本システムでは GUI による操作の他にもコマンドラインやファイル, TCP/IP を通じて推論プログラムを文字列として送り, 実行することにより他のプログラムなどと接続して推論エンジンとして機能することができる。このための操作コマンドが BAYONET スクリプトとして体系化されている。またユーザーは本システム自身を改変することなく, 独自の条件付き確率や学習アルゴリズムを JAVA で単独にコンパイルして追加することができるが, その場合でも追加した拡張機能が使えるように BAYONET スクリプトも自動的に拡張される。

4 まとめ

実世界に存在する多種多様なデータを格納した大規模なデータベースからデータ間の依存構造や条件付き確率を獲得して予測や推論を行うシステムを開発した。本システムは, 外部のプログラムとの接続性や拡張性を利用して確率理論に基づくモデル選択アルゴリズムの評価実験や電総研で開発中の事情通ロボット [5] の柔らかな知識表現などの研究用途に用いられている。本システムの最新の情報やプログラムは http://www.etl.go.jp/~motomura/BAYONET/ で公開されている。

参 考 文 献

[1] J.Pearl: Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems, Morgan Kaufmann Publishers(1988).

[2] Y.Motomura, I.Hara, H.Asoh, and T.Matsui: Bayesian Network that Learns Conditional Probabilities by Neural Networks, Proc. of International Conference on Neural Information Processing'97 (1997).

[3] 本村: Bayesian network による大規模データのモデル化について, 人工知能学会 第 4 回情報統合研究会 Technical Report SIG-CII-9707-04(1997).

[4] D.Geiger, D.Heckerman: Inference Algorithms for Similarity Networks, Uncertainty in Artificial Intelligence '93 (1993).

[5] 松井俊浩：おせっかいロボットとも呼ばれる事情通ロボットの計画, bit, Vol.29, No. 12, pp.4-11 (1997).

[6] 麻生, 赤穂, 本村:統計的推論と AI の推論, 人工知能学会論文誌, Vol.12, No.2, pp.196-203, (1997).