多層パーセプトロンを用いたベイジアンネットによる確率的推論

本村 陽一 $^{(PY)}$ (motomura@etl.go.jp)
電子技術総合研究所 情報科学部 情報数理研究室

Bayesian Network using Multi-Layer Perceptrons for Probabilistic Reasoning

Yoichi MOTOMURA (Electrotechnical Laboratory)

ABSTRACT: Bayesian networks are studied as graph representation for probabilistic reasoning of uncertain event. In real world problems, multi-dimensional discrete values and continuous values should be handled in many cases. In order to compute probabilities of such information naturally, a Bayesian network model using multi-layer perceptrons is proposed. This model is consider as a large neural network constructed of many two layer perceptrons on directed acyclic graph structure. A simulator program written in JAVA language is also developed to evaluate this model through probabilistic reasoning for real world problems.

1 はじめに

ベイジアンネットは有向グラフ (Directory Arc Graph;DAG) により表現される確率的推論のための情報処理モデルであり, 局所的な事象間の因果関係を条件付き確率で表しネットワークを構成する。その上でいくつかの事実 (Evidence) から確率情報を伝播することで不確実性を含む仮説の検証を行なうことができる。これまで報告されているベイジアンネットシステムでは起こり得る全ての事象の組合せについて列挙した表により条件付き確率を表現, 確率計算を行なうものが多い。しかし確率変数が離散多値であったり連続値をとる場合には条件付き確率のための記憶容量, 推論時の計算量が膨大になるといった問題がある。実環境におけるロボティクスなどの問題では実数値, 連続値の実データを多く含むためこうした情報を容易に取り扱えることが確率的推論の実行には重要である。

本研究では実環境における即応的な高次の確率的推論を実データからの学習により実現するために多層パーセプトロン (MLP) をベイジアンネットの確率表現に用いて連続値を含む確率計算を自然に行えるモデルを提案し, これを実行するシミュレーターを紹介する。またこのモデルは複数の MLP を組み合わせた多段階のニューラルネットであり各層で独立に BP 学習を行い条件付き確率を近似し, 全体で確率的推論を行うシステムになっているため, 高次の確率的推論を行うためのニューラルネットシステムの構成法としても考えられる。

2 モデル

2.1 ベイジアンネット

ある事象を表す確率変数を X, Yのように書きそれぞれの実現値を x, yとする。X, Yの間に If X then Y なる因果関係がある時, これを $X \rightarrow Y$で表す。この因果関係が非決定的な不確実性を含む場合には条件付き確率 $P(Y|X)$ を考えればよい。事象をノード, その間の確率的な関係を有向グラフで表現してネットワークを構成したものがベイジアンネット (Bayesian network) である [1]。このネットワークのいくつかの事象が観測可能な事実である場合、これらのノード集合 Eは確定値 (Evidence) をとる。その条件のもとでの未知の事象 U に関する確率的推論は事後確率 $P(U|E)$ から Uの具体的な値に対する確信度を推定することであり, ベイジアンネットワークではノード間の局所的な情報伝播としてこれを計算する。以降では X, Yの間の局所的な確率計算について考える。

Evidence $X = x_e$が得られた時, Yの各実現値に関する確信度 $B(Y)$ の推定は次のように行なわれる。

$$B(Y) = P(Y|X = x_e)$$

Xが Evidence ではなく不確実性を含んでいる場合、$X = x$ の確率 $P(x)$ により Yの確信度 $B(Y)$ の推定は次の条件付き確率で行う。

$$B(Y) = \int_{x \in X} P(Y|X = x)\, dP(x) \equiv q_Y(X) \qquad (1)$$

逆に Yに関する情報 $P(y)$ が得られている場合、Xの確信度 $B(X)$ についての推定は次の逆確率で行う。

$$B(X) = \alpha \int_{y \in Y} P(X|Y)\, dP(y)$$

$$= \alpha \int_{y \in Y} P(Y|X)\, dP(Y)P(X) \equiv \alpha r_Y(X)P(X) \qquad (2)$$

(ただしαは $B(X)$ を確率化するための正規化係数。)

$q_Y(X), r_Y(X)$ が形式的に X,Y間で受渡しされる局所的な確率情報であり, これをネットワーク上で大域的に伝播させ, 未知の事象の事後確率分布を計算することで推定が行える (図 1)。

2.2 多層パーセプトロンによる確率表現

ベイジアンネットによる確率的推論を実際に行うには事象間の条件付確率をどのように表現するかが重要である。従来は全ての組み合わせについての確率を表として与える方法が多く用いられているが, 確率変数が離散多値, 連続値の場合巨大な表が必要となることが問題となる。本研究では確率変数の次元に応じた入出力素子数を用意した一層の隠れ層を持つ次のような 3 層パーセプトロン

Key Words:ベイジアンネット, 確率的推論, BP 学習

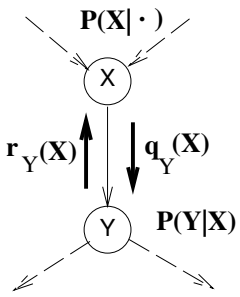

図 1: 確率伝播

(MLP), $f(x)$ を用いて条件付き確率を表現するモデルを提案する。Yが離散多値の確率変数 $Y = (y_1, y_2, \cdots, y_k)$ の場合、$X = x$ のもとでの条件付き確率 $P(Y|X = x)$ を次のように計算する。

$$f_k(x) = g\left(\sum_j v_{jk} g\left(\sum_i w_{ij} x_i + b_j\right) + b_k\right)$$

$$g(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)}$$

$$P(Y = y_k|X = x) = f_k(x) / \sum_k f_k(x)$$

Yが連続値の確率変数の場合、これの確率分布をμ, σでパラメタライズしたガウス分布と考えて次のように計算する。

$$f_\mu(x) = \sum_j v_j g\left(\sum_i w_{ij} x_i + b_j\right) + b_\mu$$

$$P(Y = y|X = x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} f_\sigma(x)} \exp\left(-\frac{(y - f_\mu(x))^2}{2 f_\sigma(x)^2}\right)$$

統計的に獲得した x,yのデーターセットから定まる条件付き確率を教師信号として与えることで, $P(X)$ を入力した時に $q_Y(X)$ が得られるように MLP, $f(x)$ を BP 法により学習する。推論時の確率計算は, 式 (1) については親ノード Xの確率を MLP に流すことで行われ, 式 (2) については Xをサンプリングして MLP から得られる値を用いた準モンテカルロ計算により行う。

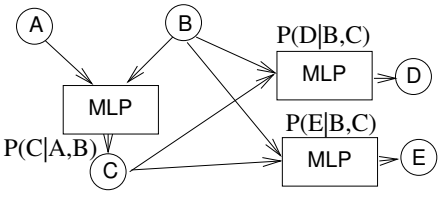

図 2: モデル概念図

3 確率的推論を行うシミュレーター

前節までで説明したモデルを実験的に評価するためのシミュレーター (図 3) を JAVA 言語のマルチスレッド機能を用いて開発した*。

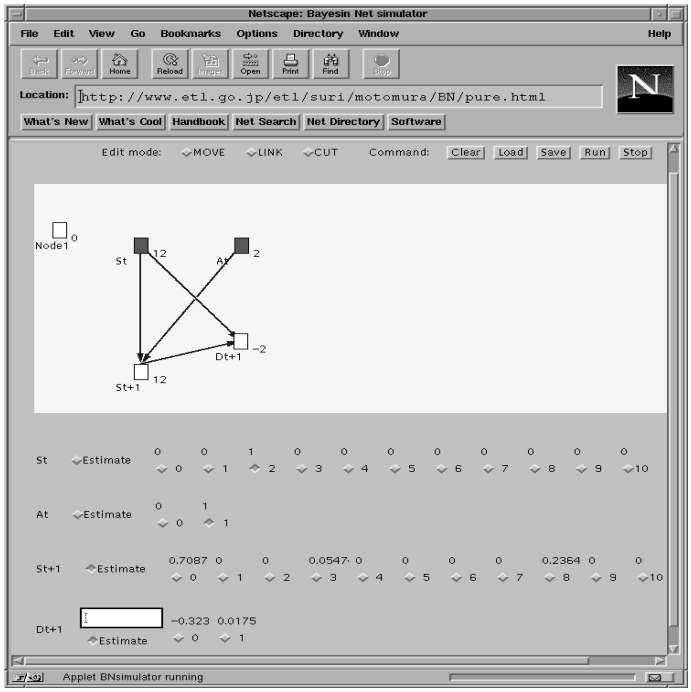

図 3: ベイジアンネットシミュレーター

このシミュレーターは自律移動ロボットの自己位置に関する推定にも適用されている [2]。

4 まとめ

確率推論を行うベイジアンネットを階層型ニューラルネットで構成するモデルを提案し, シミュレーターを実装した。これにより従来実装上問題となる確率変数が離散多値や連続値の場合を自然に取り扱うことができ, BP 法により統計データーからのベイジアンネットを学習することが可能となった。これは確率的推論を行うニューラルネットの構成法にもなっており, これによる仮説検証能力の評価を実環境における知的タスクを通じて行うことが今後の課題である。

参考文献

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

[2] 本村, 麻生 原, 赤穂, 松井:" ベイジアンネットによる情報統合を用いた自律移動ロボットの自己位置同定", 人工知能学会全国大会 (1996).

*http://www.etl.go.jp/etl/suri/motomura/BN/