弛緩法による分散協調型問題解決

2J-8

園田隆志　川本浩史
富士ゼロックス(株)基礎技術研究所

はじめに

弛緩法とは局所的なつじつまあわせを繰り返すことによって、全体としてつじつまがあった状態を得ようとする方法である。この方法は人間が問題解決を行う場合の思考過程によく似ている。

本稿では、弛緩法によって問題解決を行うことを提案する。弛緩法は高い並列性を有しており、各構成要素が協調して問題解決を行うことから、この方法は分散協調型の問題解決であるといえる。

弛緩法

弛緩法は、もとは連立方程式の数値解法等で用いられていた。その後、Rosenfeldによって確率的弛緩法が提案され[Rosenfeld 1976]画像処理等の領域でその有効性が示されている。

ここでは、修正された弛緩法をつぎのように定義する。

$$A=\{a_1,\cdots\cdots,a_n\} \tag{1}$$

をラベルを付ける対象物の集合とする。また、

$$L=\{l_1,\cdots\cdots,l_m\} \tag{2}$$

を可能なラベルの集合とする。対象物 a_i および a_j にそれぞれラベル l_u および l_v が付けられる"もっともらしさ"を、

$$r(i,u;j,v) \tag{3}$$

で与える。この"もっともらしさ"は、最終的な解が満たすべき条件を記述し重みをつけて表現する。

まずはじめに、対象物のすべてにかってなラベル付けをあらかじめ行っておく。このとき、対象物 a_i にラベル l_u が付けられていればこれを、

$$g_i(u)=1, \tag{4}$$

とする。他のラベルでは0である。

つぎに、対象物の任意のひとつ a_i に注目し、この対象物にラベル l_u が付く確率を

$$p(i,u)=\frac{\Sigma_{j,v}\,r(i,u;j,v)\cdot g_j(v)}{\Sigma_w\Sigma_{j,v}\,r(i,w;j,v)\cdot g_j(v)} \tag{5}$$

で計算しラベル付けを変更する。これを、ランダムに対象物を選びながら繰り返すことで、全体としてもっともらしいラベル付けができることが期待される。Rosenfeldの確率的弛緩法では、各対象物にラベル付けする確率を変更していくが、ここでは、ラベル付けする確率を計算しラベルを変更していく。

弛緩法による分散協調型問題解決

我々が、計画を立てるとき、はじめに、部分的に満足すべき条件を列挙し、そこから部分的に修正を繰り返しながら全体を構成する。部分的につじつまを合わせていくこの方法は弛緩法である。

弛緩法では、部分をつじつまが合うように修正していく。そのため、全体の情報が問題解決の過程において取り入れられていないように見える。それにもかかわらず、系は全体的な協調をもった方向へ向かって変化している。このとき、全体を表現する情報はどこに記されているのであろうか。

我々が全体を理解し表現することが困難であるような複雑な問題を解決する場面を考えてみよう。はじめに、その問題を構成する要素が何であるかを考え、次にその要素間に存在する小問題を理解し、解決しようとする。このようにして順に小問題を解決していくことで、全体を理解したと感じることができ、さらに、もっともらしい答えを得ることができるときがある。これは、人間の思考において、全体を部分の集まりとして理解されることがあること示している。すなわち、このときは部分の関係に全体が表現されているのである。弛緩法では2つの対象物のラベル付けの"もっともらしさ"が部分の関係を示しており、ここに、全体の情報が記述される。

このことは、認識においても成り立っている。たとえば、文章の理解において、単語と文法が重要であるが、ここで、単語は部分を表し、文法は部分の関係を表現しているのである。

我々はこの部分と部分間の関係という立場から手書き表の清書を行っている[川本、園田]。本稿ではレイアウト問題に適用する。

Cooperative Problem Solving based on Relaxation Method
Takashi SONODA, Koushi KAWAMOTO
Fuji Xerox Co., Ltd.

シミュレーション

ここでは、学校の教室での席順を決定する問題を考える。つぎのような制約のもとに席を決めるとする。

(a) クラスはいくつかのグループに分けられており、同じグループの生徒はまとまって座る。

(b) 背の高い生徒は後ろに座る。

この問題を解くために2つの対象物のラベル付けの"もっともらしさ"を(a)と(b)を使って表現する。

2つの座席(対象物 a_i および a_j)に2人の生徒(ラベル l_u および l_v)を座らせるとする。このとき、2つの対象物のラベル付けの"もっともらしさ"(4)は次の表のように表現される。

2人の生徒が同じグループであれば

$r(i,u\,;j,v)$

$= \left[\begin{array}{l} 1 \text{ :2人の生徒が斜め前か後ろの関係にある} \\ 2 \text{ :2人の生徒が前後の関係にある} \\ 0 \text{ :上の2つの場合以外} \end{array}\right]$

$+ \left[\begin{array}{l} 0 \text{ :背の高い生徒が前にいる} \\ 1 \text{ :2人の生徒は前から同じ位置にいる} \\ 2 \text{ :背の高い生徒が後ろにいる} \end{array}\right]$

異なるグループであれば

$r(i,u\,;j,v)=0$

表 2人の生徒が2つの座席に座る"もっともらしさ"

この"もっともらしさ"を使って、確率を式(5)により計算しラベル付けを行う。

右の図がシミュレーションの結果である。アルファベットがグループを表し、数字が背の高さの順位を表している。図の上が教室の前方である。(a)が初期状態で勝手に生徒を座らせたものである。これから始めてラベル更新をおこなった。左下の数字は更新回数である。100個の対象物に対して約500回のラベル更新で解(c)が求まっている。

おわりに

本稿では弛緩法が分散協調型の問題解決にも適用できることを示した。

近年、神経回路網モデルによって問題解決を行おうとする数多くの試みがある[Tank et al, 1984]。たとえばHopfield型の神経回路網モデルでは、局所エネルギーが小さくなるように各神経細胞が自分自身の状態を変化させることで系全体のエネルギーが小さくなることを期待しており、これは弛緩法といえる。このように弛緩法は問題解決の多くの可能性を持っており、さらに他の領域への適用も考えられると思われる。

H4	J3	E4	B7	D5	J0	D5	B7	G8	E1
A8	J4	C5	A1	E5	B7	D9	J5	F6	D9
F3	H3	E7	C5	G9	D6	C1	D9	J4	C1
F8	I4	F6	B8	C4	A8	B2	G0	F6	I6
A3	I1	H9	G8	H7	H6	A2	B9	F3	B3
F6	F7	D1	G8	I5	I8	F2	J4	H7	I5
E6	F3	H5	F2	C1	J2	B8	E2	I0	J2
D7	E6	A9	B6	C2	G4	I6	H9	F2	B8
D2	G6	F5	G8	F1	E7	E3	F8	E9	F9
F4	D7	J4	E4	C8	C3	B3	A8	C6	J2

(a) 0

I5	H7	E2	E4	E1	D2	D5	J2	J4	J0
H9	H6	E3	E4	E6	D9	D1	D5	J4	J3
H3	H4	H5	B3	B2	D7	D6	D9	J2	J5
A1	A8	A3	B8	B7	D7	B7	B3	B6	J4
A8	A8	G0	G4	J2	B8	B7	F2	E7	D9
A9	A2	G8	G8	J4	B8	B9	F2	F3	F1
E9	E7	G8	G9	E6	E5	I4	F4	F2	F3
C5	G8	G6	C1	C3	C1	H9	F6	F5	F3
I1	I5	I0	C4	C2	C1	H7	F8	F6	F6
I6	I6	I8	C6	C8	C5	F8	F9	F7	F6

(b) 250

H3	H4	E4	E3	E1	E2	D1	D2	D5	D5
H6	H9	H5	E5	E4	E6	D7	D7	D6	D9
H7	H7	E6	E7	E7	B2	B7	J0	D9	D9
H9	A1	E9	B3	B3	B7	B7	J4	J2	J2
A3	A2	G0	G4	B8	B8	B6	J2	J4	J4
A8	A8	G8	G6	G8	B8	F1	J5	J4	J3
A9	A8	G9	G8	G8	B9	F2	F3	F2	F2
I1	I0	C1	C1	C2	C1	F4	F3	F5	F3
I5	I5	I4	C3	C5	C4	F6	F6	F6	F6
I8	I6	I6	C6	C5	C8	F7	F9	F8	F8

(c) 470

図 弛緩法による席順決定の例

引用文献

A. Rosenfeld, R. A. Hummel, and S. W. Zucker: Scene labeling by relaxation operations. IEEE Trans. Syst., Man, & Cybern. SMC-6, 6, 420-433, (1976)

D. W. Tank and J. J. Hopfield: Collective computation in neuronlike circuits. Scientific American, December, 62-70 (1987)

川本、園田: 弛緩法に基づいた並列計算による手書き図表の清書、情報処理学会第37回全国大会講演論文集 (1988)