化学反応系とのアナロジーにもとづく自己組織的情報処理のためのモデル CCM

新情報処理開発機構 (RWCP) つくば研究センタ
金田 泰

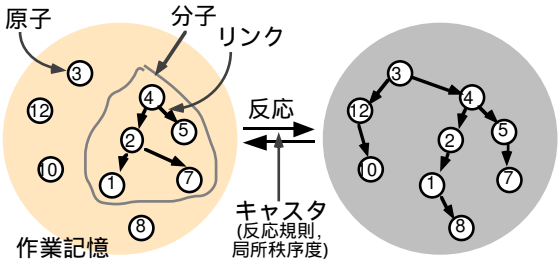
1. はじめに

この研究はコンピュータ上で自己組織的計算，すなわち局所的・部分的 (不完全) な情報だけをあたえて，のぞみの大域的な構造をつくりあげる，創発的 (emergent) な情報処理法の実現をめざしている．このような方法をめざす理由は，複雑な情報処理システムをつくるとき，神ならざる人間が大域的・全体的な情報をあたえるのは不可能だからである．創発的な情報処理法とは，トップダウン設計・計算ではなく，ボトムアップ計算にもとづく方法であり，決定論的な計画 (= 所与のプログラム) ではなく多数のミクロな計算の動的な相互作用にもとづく方法である．

2. 計算モデル CCM

発表者は CCM (Chemical Casting Model, 化学的キャスティング・モデル) という，自己組織的な情報処理のための計算モデルを考案した [1]．ここで “キャスティング” は “プログラミング” や “計算” にかわることばを意図している．CCM は化学反応系とのアナロジにもとづいている．

CCM の構成要素としてオブジェクトとキャスタとがある．オブジェクトとしては原子と分子とがある．原子はデータの単位であり，内部状態をもつ．分子は原子がリンクによって結合されたものである．



キャスタは，通常のよびかたではプログラムのことであり，つぎの 2 種類の要素からなる．第 1 は局所秩序度である．これは局所的な秩序化の程度をあらわす量であり，エネルギーとかんがえてもよい．第 2 は反応規則である．これは系の局所的な変化のしかたをきめる規則であり，エキスパート・システムの記述などでもちいられる前向き推論によるプロダクション規則である．これは化学反応式に相当し，それと同様に双方向に動作しうる．

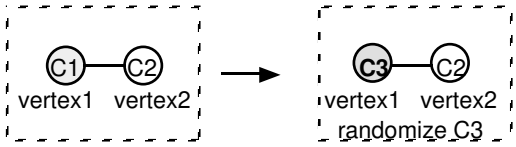
CCM における計算の方法はつぎのとおりである．適用すべき反応規則とオブジェクトは非決定論的に (現在の版では乱数をつかって) 選択する．反応規則は，適用すべきオブジェクトの局所秩序度の和が増加する時だけ適用する．そして，しかるべき条件 (反応可能な原子がなくなると停止する，または規則左辺を一定回数しらべても反応がおこらないという条件) がなりたつまで反復適用する．

CCM にもとづく計算の特徴は，規則の適用が基本的に局所的な情報だけにもとづくことである．

3. 例： 彩色問題

例としてグラフの頂点 (または地図) を N 色 (たとえば $N = 4$) にぬりわける問題をとりあげる．

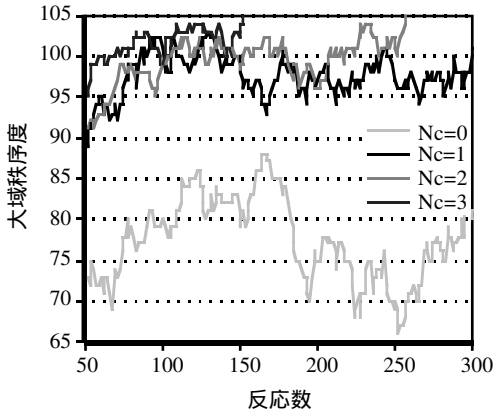
彩色問題をとくための反応規則は下図のとおりである．この規則はグラフの任意の 2 頂点とその間の辺にマッチして 1 頂点の色をランダムに選択した色にぬりかえる．この規則は触媒を 1 個 (vertex2) ふくんでいる．触媒とは規則にあらわれるが反応によって変化しないオブジェクトのことである．触媒数は変化させることができる．



頂点に関する局所秩序度は，2 個の頂点が隣接していて色がことなるとき 1，それ以外のとき 0 と定義する：

$$o_{vv}(x, y) = \begin{array}{ll} 1 & \textbf{if } x.neighbor = y \textbf{ and } x.color \neq y.color \\ 0 & \textbf{otherwise} \end{array}$$

米国本土 48 州の地図の彩色を実行した結果をしめす．実行のたびに解がもとめられた．計算過程における大域秩序度 (局所秩序度の総和) の変化例を下図にしめす．大域秩序度は 0 からはじまり 105 まで変化するが，単調には増加せず一種の競合がおこっている．この変化はマルコフ連鎖として説明できる．図から，触媒数 Nc がおおきいほうがより大域秩序度がたかい (解にちかい) ところを探索していることがわかる．計算時間は $Nc = 2$ のときが最小である．このように触媒数の加減によって計算を制御できるのが CCM の特徴のひとつである．



4. おわりに

CCM にもとづいて，局所的な情報から彩色問題などの問題解決ができる．CCM にもとづく制約充足問題をとくシステムは，大域秩序度の時間変化，触媒の作用などにおいて興味ぶかい動特性をしめすことがわかった．今後，より適切な自己組織的情報処理のための例題をさがして，CCM を適用したい．発表当日に熱心に聴講し，議論していただいた方々に感謝します．

[1] Kanada, Y., and Hirokawa, M.: Stochastic Problem Solving by Local Computation based on Self-organization Paradigm, *27th Hawaii International Conference on System Sciences*, 1994.