

高速アニーリング・シミュレーション法： FAST

豊永 昌彦 ・ 秋濃 俊郎
松下電子工業株式会社

本報告では、最適化問題の近似解法であるシミュレートド・アニーリング法を高速化するという観点から「擬似臨界温度」と「囲い込み領域」の概念を導入した、「高速アニーリング・シミュレーション法」を提案する。本手法は、自然科学の計算機実験手法の1つであるモンテ・カルロ法に注目し、最適化過程の性質と物理現象を対応させ、熱統計力学を応用して高効率な計算機処理を実現するものである。これらの概念は、簡単な配置モデルを用いて導かれている。本手法の効果を知るための計算機実験では、10倍以上の高速化が実現していることが確かめられた。

Fast Annealing Simulation Technique: FAST

(in Japanese)

by Masahiko Toyonaga and Toshiro Akino
(Matsushita Electronics Corporation, Nagaokakyo, Kyoto, 617 Japan)

We propose the new technique to make the Simulated Annealing Method faster, named FAST(Fast Annealing Simulation Technique). This technique is constructed from two major concepts, one is "PSUDO-CRITICAL-TMPERATURE" and the other is "ENCLOSED DOMAIN". These concepts come from the the Solid State Physics. From the results of the simple placement problem, it is found that the number of iterations by FAST optimization process is less than 1/10 of that by the original Simulated Annealing Method.

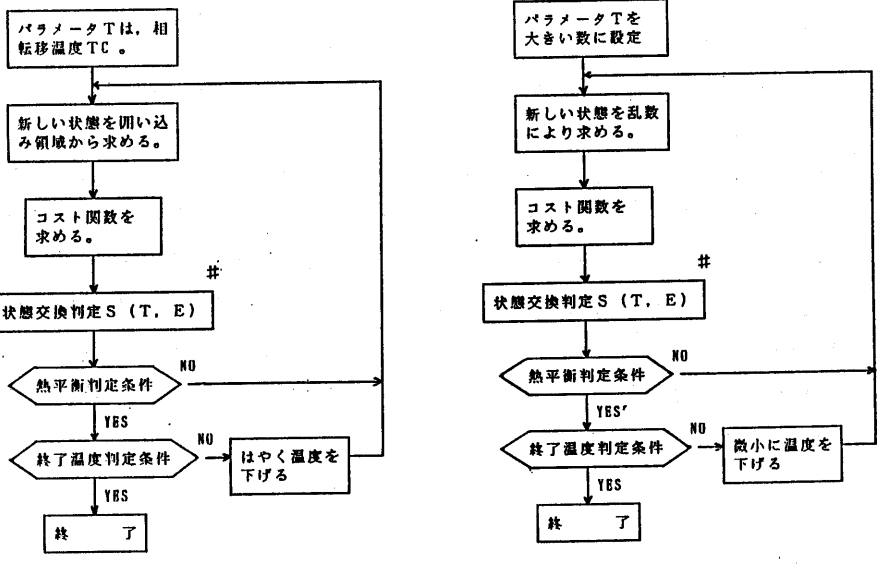
1. はじめに

紹介。ミと) ユバ値シバよがりは
 Kirkをいれの前ス対シ閉設ロム素二障
 S.ズし。機ボルる度評自・リ置・合
 り適用し算ロデき温ちの置ゴ配ド場
 とアしバ興高て物と換すしい線間レ用
 法の示が、しなこき、ル用配時ユに
 解そをと点て冠意の置一せを・理ミ
 似ぞをいを任めにギ・法置処シ(6)
 近こデバいお前、求ルドグ配の(5)、
 のそモしてに名はでデネーンのそう、
 題、なをし野ので度モエダリ来にい等
 問は、的状を分者法精理いン一従時とム
 適彼員過実科提ル良をにストアと、同るテ
 最の通て然、カに題度と・るるもシ
 い(1)どのえ自は、常問温イドよい) D
 し(1)な線換はくテ非化、レテにて0 A
 新。線配きとしを適きア一験し780 C
 た配、置ももモ量最い・レ実告11、
 はれはにと(。理のてトユの報11、
 法さバて」も法る物意し一ミ等とVAXし
 グ唱一い験、口あの任くゲシ彼る(と
 リ提口つ実はルで等、さ。い問ム。速
 りてグに機法力の熱は、小るはるの時ズ
 りめ、(2)算グも比法らしいいれ10リあ
 ニ初題(2)計ンテたやグかて(4)て優
 アに問線のリンシンのし、し%てルさ々
 ・年置配体一モ張ギリも用LFと10いア
 ド83配ル性ニ法拡ル一利NO法数つな
 て19に「。実方エア対象MBのべ度用
 レ一ッ時ロド機えの・を現TMB程実理
 ユよ同グデテ算考でドたる、問と0を
 ミにと、モ一計の度テ一がム線果0法
 シらるに理レた)温一メ下テ配結0グ
 icす特物ユし(3)各レラがスルる2ン、
 方に速のテゲ最

のと高りめーン
 ここ、一たレリよ
 。るで二のユ一に
 (6)ベ章ア験ミニ良
 すして次ド、速し
 案対の一章て、高し
 提にあレ3しは比
 をルでユ第用章を
 フデのミ。利4果
 シモノシるが第結す
 ヲ置た、ず法。の示
 シ配れし論ンる法を
 一なカ示をヨシグ性
 レ簡単導をいシ論ン効
 ユ簡てム違一にり有
 シ質察り法ユとニそ
 シをレズのレ共一の
 グのをルヨシ結・じ
 リン法件アシ・験ド論
 リグ条の一グ実テを
 ーン本法レン、一果
 ニリ基ンユリをレ結
 ーのヨミ一質ユ験
 速ニめシシニ性ミ実
 アーのヨミ一質ユ験

2. アルゴリズム

シ合の味
 ヲせ候す
 一組態意
 レの状を
 ユ値い差
 ミつしと
 ・が新と
 (要素と Ψ)
 シ各中C
 ーの(値
 ニ在C数
 ア現値関
 速は、数値
 高は、関評
 とE価の
 ム△評題
 ズるの問
 りり題化
 ゴ用問適
 ルで化最
 アこ最た
 の最適れ
 法。たさ
 グすれ算
 シ示さ計
 リに計り
 ー1に算
 ニ図りに
 アをよ Ψ
 ・ムに態
 ド中状
 テゴぶた
 ーリ呼求め
 ユアとして
 シ法の態し
 ン(状と(式



(a) 高速アニーリング・シミュレーション法 (b) シミュレーテッド・アニーリング法
 図1. アルゴリズムの比較

小の ΔE_{\min} についても概算すると、最小の交換は図 4 に示すように、2 である。

$$\Delta E_{\min} = 2 \quad (3. 2. 2)$$

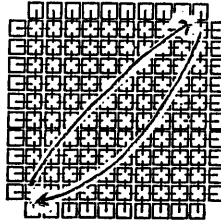


図 3. 最大の ΔE を生ずる交換

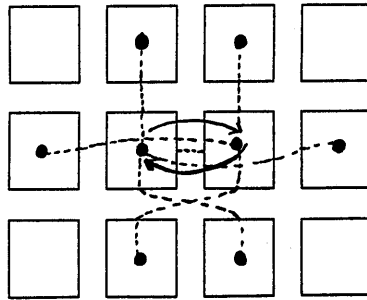


図 4. 最小の ΔE を生ずる交換

ところでシミュレート・アニーリング法の判定式 (2. 2) を変形してみると、

$$\text{EXP}(-\Delta E/T) \geq R \quad (3. 2. 3)$$

$$-\Delta E/T \geq \ln(R)$$

$$-\Delta E/\ln(R) \geq T \quad (3. 2. 4)$$

となる。式 (3. 2. 4) の左辺は、図 5. で示すようなグラフになる。
式 (3. 2. 4) は、 ΔE が 0 より大きい (新しい状態の評価関数が大きくなる) 場合に、受け入れられるための条件である。たとえば、 ΔE_{\max} を $1/2$ の確率で受け入れる温度パラメータの値 T_{\max} を (3. 2. 1) と (3. 2. 4) から求めると、

$$\begin{aligned} T_{\max} &= \Delta E_{\max} / \ln(1/2) \\ &= 2 \times \lambda \times L / \ln(0.5) \end{aligned} \quad (3. 2. 5)$$

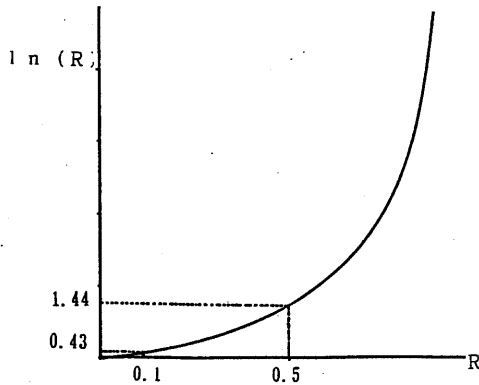


図5. $\ln(R)$ のグラフ

この T_{max} の温度以上は繁雑とした状態と考える。なぜならば、これ以上の温度では値に
 よらず $1/2$ 以上交換が必ず起る状態となるからである。これは、物性物で呼ぶ無秩序
 状態で、その臨界温度という意味合いで、 T_{max} を擬似相転移温度と呼ぶことにする。ま
 た、この T_{max} をもって関数 $\Theta(\lambda, L)$ を定義する。

$$\Theta(\lambda, L) = T_{max} = 2 \times \lambda \times L \times 1.442 \quad (3.2.6)$$

5×5 の場合では、 $T_{max} = 115$ 、 10×10 は、 $T_{max} = 231$ 、 20×20 は、 $T_{max} = 461$ となるが、各々の交換頻度を調べた図6の実験結果と良く一致する。(但し、 $L = L_x + L_y$)
 つきに、最低温度パラメータ T_{end} について考察する。これは、最小の改悪値 ΔE_{min} である。こ
 れで、あらゆる擬似乱数 R について 90% 以上交換が起らない場合を考えると、

$$\begin{aligned} T_{end} &= \Delta E_{min} / \ln(1/9) \\ &= 0.86 \end{aligned} \quad (3.2.7)$$

この (3.2.7) 式は、モデルのスケールには依存せず、評価関数の性質のみによるものである。(ΔE_{min} が、評価関数の性質より決るからである。) T_{end} と T_{max} の導入により、処理温度範囲の適性化ができる。

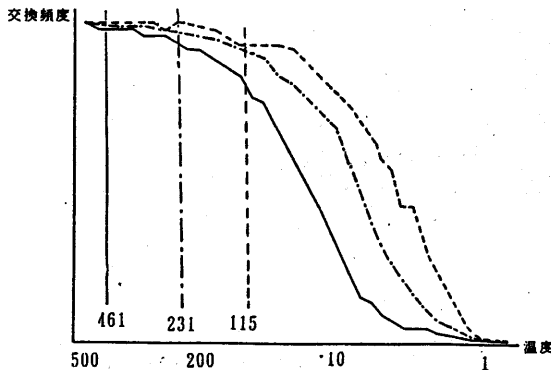


図6. 交換頻度の温度依存性

