

携帯電話を用いた分散組合せ最適化

Distributed Combinatorial Optimization Using Mobile Phones

小野 智司*¹
Satoshi Ono

中山 茂*¹
Shigeru Nakayama

*¹鹿児島大学 工学部 情報工学科

Department of Information and Computer Science, Faculty of Engineering, Kagoshima University

This paper proposes a method for distributed combinatorial optimization which uses mobile phones as computational resources. In the proposed method, an ordinary computer generates solution candidates and mobile phones evaluate them by referring privacy – private information and preferences. Users therefore does not have to send their privacy to any other computers and does not have to refrain from inputting their preferences.

1. はじめに

近年の携帯電話は、電子メール送受信、Web ページ閲覧などの情報端末としての機能が進化するとともに、電話やメールの送受信履歴、電話帳、ブックマーク、スケジュール、搭載されたカメラで撮影した画像など、ユーザの嗜好や私的な情報をより多く含むようになった。本稿ではこれらの情報をプライバシーと呼ぶ。個々のユーザの携帯電話上に保存されているプライバシーを参照する最適化方式を開発することにより、各ユーザのスケジュールを考慮した時間割編成や、メール送受信、通話記録などの人間関係を表す情報を用いた座席配置など、有用な合意形成アプリケーションの実現が期待できる。

しかし、プライバシーを他人に知られることは好ましくなく、プライバシーを意志決定や合意形成に利用する際には情報の漏洩に注意が必要となる。このため、携帯電話上の情報を安全に利用し、実用的な時間内で組合せ最適化を行う方式の実現が望まれる。

本研究では、プライバシーを携帯電話上に保持したまま、それらを利用した分散組合せ最適化を行う方式を提案する。本方式は、大規模な組合せ最適化問題で有効な遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) を、計算機および複数の携帯電話上で分散実行するものである。通常の計算機上で交叉、突然変異などの解候補生成の処理を行い、携帯電話上で解候補の評価を行うことにより、プライバシーを解候補評価に安全に利用しつつ、携帯電話上での計算量を最小限に抑えることができる。

以下、2章では、分散 GA の2つのモデル、および携帯電話を用いた従来の分散 GA について述べる。3章ではまず、本稿で提案する方式の特徴を述べる。次に、提案する方式の構成、処理手順について述べ、携帯電話のプライバシーを用いた解候補の評価方法について述べる。

2. 関連研究

2.1 分散遺伝的アルゴリズム

集団をいくつかの部分集団に分割し、それぞれの部分集団に対して独立に遺伝的操作を適用する分散 GA を島モデル型分散 GA (Island Genetic Algorithm: IGA) [Tanese 89, 飯村 03] と呼ぶ。IGA は粗粒度の並列化が可能だけでなく、部分集団が独立に進化するので、集団全体としての多様性を高く保つ

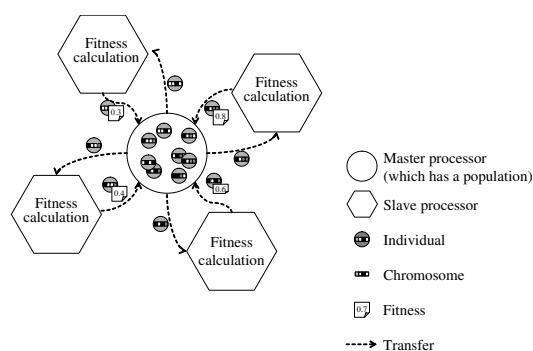


図 1: Distributed GA including single population.

ことができる利点がある。

GA を最適化計算に応用する場合、各個体の適応度は他個体の適応度とは独立に計算可能である。この点に注目して、適応度関数の評価を並列処理することにより高速化を図る分散並列 GA [廣安 02] が提案されている (図 1)。選択、交叉、突然変異などの遺伝的操作を 1 つのマスタプロセッサに集中させるため、画像フィルタの自動設計 [前園 06] など適応度評価に時間を要する問題に適している。

2.2 先行研究：携帯電話を用いた島モデル型分散 GA

柴山らは、複数の携帯電話で IGA を実行する方式を提案している [柴山 03]。これは、NTT ドコモの Java 仮想計算機を搭載した携帯電話上で、i アプリとして並列計算プログラムを動作させる方式であり、ナップザック問題を複数の携帯電話を用いて解くことができる。柴山らは、実際の携帯電話を用いて実験を行っており、組合せ最適化の計算を携帯電話で行えることを示している。しかし、パーソナルコンピュータやワークステーションではなく、携帯電話に並列計算を行わせる利点が不明瞭であり、複数の携帯電話を用いて IGA を実行する必然性が低い。

3. 携帯電話上のプライバシーを用いた分散組合せ最適化

3.1 方針と特徴

本稿では、携帯電話上のプライバシーを用いて組合せ最適化を行う方式を提案する。提案する方式の方針および特徴を以下に示す。

A: 小野 智司, 鹿児島大学工学部情報工学科, 〒 890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40, Tel.: 099-285-8453, Fax.: 0990-285-8464, ono@ics.kagoshima-u.ac.jp

方針 1: 携帯電話上で解候補の評価を行い、プライバシーを携帯電話外に送信しない。各ユーザのプライバシーを用いて最適化を行うには、セキュリティを確保した上で、携帯電話上の各ユーザのプライバシーをサーバに転送する方法が考えられる。しかしながら、携帯電話に蓄積されるプライバシーは、携帯電話の性能が向上するにつれて増加している。蓄積した全てのメールや電話帳などのプライバシーをサーバへ送信することは、通信コストが膨大となってしまうだけでなく、近年の個人情報漏洩事件の多発により、心理的に受け入れがたいユーザもあり、現実的ではない。

提案する方式では、プライバシーを携帯電話上でのみ利用し、解候補とその評価結果のみを通信する。これにより、各ユーザの嗜好や条件を他人の携帯電話、計算機に送信せずに、全員の嗜好、条件を考慮した解を生成することが可能である。個人情報や嗜好が他の計算機に送信されないことは、携帯電話のユーザに安心感を与える。このため、より率直な嗜好の入力を促すことができ、結果として満足度の高い解を得ることができる。

方針 2: 単一集団型分散遺伝的アルゴリズムを用いる。本方式が対象とする問題は、各ユーザの嗜好を充足する値の集合を求める組合せ最適化問題であり、ユーザ数が増加するとその探索空間は指数関数的に増加する。このため、大規模な探索空間内において効率的に最適解を発見できる探索アルゴリズムが必要となる。また、本研究で構築する分散並列環境では、インターネットおよび携帯電話事業者のネットワークを利用するため通信コストが大きく、小さなデータを頻繁に送受信するよりも大きなデータをより低い頻度で送受信することが望ましい。よって、解候補の生成と評価を頻繁に行う必要がある山登り法 [Minton 92] などの単点探索よりも、集団内の全解候補を一度に生成、評価できる多点探索アルゴリズムである GA が適している。

なお、IGA に基づいた柴山らの分散 GA とは異なり、本方式で用いる GA は、単一集団型を基本とする。通常の単一集団型分散 GA は解候補評価の負荷分散を目的とするが、本方式で用いる GA は、プライバシーを用いた解候補の評価を各携帯電話で行う機能分散型の GA である。

方針 3: オブジェクト共有空間を用いて通信を行う。本方式では、Linda モデル [Gelernter 85] に基づくオブジェクト共有空間を利用した分散並列環境を用いるものとし、JavaSpaces を用いて実装する [Takeda 05]。JavaSpaces を用いることにより、Java が動作可能な計算資源であれば、分散並列処理に容易に参加させることが可能となり、様々な OS を搭載した計算機、携帯情報端末、および携帯電話を利用することができる。また、インターネットなど汎用のネットワークを利用できる、計算資源の動的な参加・離脱にも容易に対応できるなどの特徴を持つため、計算機だけでなく携帯電話を計算資源とする本方式に適している。

3.2 部屋割問題

提案する分散組合せ最適化方式は基本的に汎用であり、組合せ最適化問題、制約充足問題などに適用することが可能である。本稿では、説明を容易にするため、以下に示す部屋割問題を用いて本方式の説明を行う。

部屋割問題は、個々人の嗜好を満足するように、人を部屋へと割り当てる問題である。本問題は、人数が増加すると探索空間のサイズが指数関数的に増加し、全員の嗜好を満たす解を発見することが困難になる。

部屋割問題の解は、Fig.2 に示すような一次元の染色体として表現できる。各遺伝子はユーザ番号を表し、部屋 r の定員を Q_r とすると、部屋 r に割り当てられるユーザは、 $(1 + \sum_{i=1}^{r-1} Q_i)$

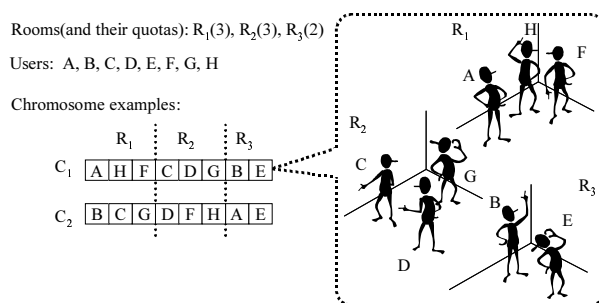


図 2: Chromosome representation on room assignment problem.

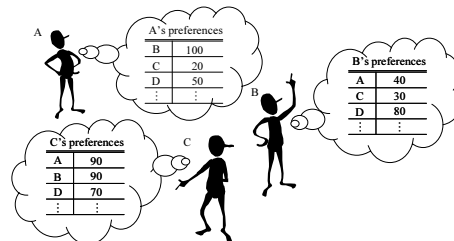


図 3: Preferences on room assignment problem.

番目の遺伝子座から $(\sum_{i=1}^r Q_i)$ 番目にある遺伝子座までに位置する遺伝子となる。これは、巡回セールスマン問題 (Traveling Salesman Problem: TSP) [Goldberg 89, 飯村 03] と類似の染色体表現であり、部屋割問題においても TSP において用いられる Partially Mapped Crossover (PMX) [Goldberg 89] やサブツアー交換交叉など、致死遺伝子の発生を抑え、ビルディングブロックをなるべく保持する交叉方式を利用することが可能である。

各ユーザの嗜好は、Fig.3 に示すように、それぞれの人と相部屋になりたい度合い (好悪度) の集合から構成される。本研究で開発した分散並列処理環境では、Java2 Micro Edition (J2ME) を用いて携帯電話上のプログラムを実装するが、J2ME 単体では小数を扱うことができないため、好悪度を整数で表現し、最小を 0、最大を 100 とする。

染色体 C_i の適応度 $F(C_i)$ は、以下の式に従って計算する。

$$F(C_i) = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \left\{ \frac{1}{Q_r(Q_r - 1)} \sum_{j=1}^{Q_r} \sum_{\substack{k=1 \\ (k \neq j)}}^{Q_r} P_{x_{rj} x_{rk}} \right\} \quad (1)$$

ここで、 R は部屋の総数を、 x_{rj} は部屋 r に割り当てられた j 番目の人を、 $P_a(b)$ は人 a の人 b に対する好悪度を表す。好悪度同様、適応度も 0 から 100 の間の整数値をとる。

3.3 構成と処理手順

本方式は、HTTP サーバと JavaSpaces サーバを兼ねた計算機 (サーバ)、遺伝的操作を行うクライアントプログラム (マスタ) を実行する計算機、および、携帯電話上で解候補の評価を行うクライアントプログラム (ワーカ) からなる。マスタをサーバ上で動作させることや、ワーカをパーソナルコンピュータや携帯情報端末上で動作させることも可能である。携帯電話は JavaSpaces に直接アクセスすることができないため、本方式では、サーバ上のサーバレットを介して携帯電話と JavaSpaces の通信を行う。

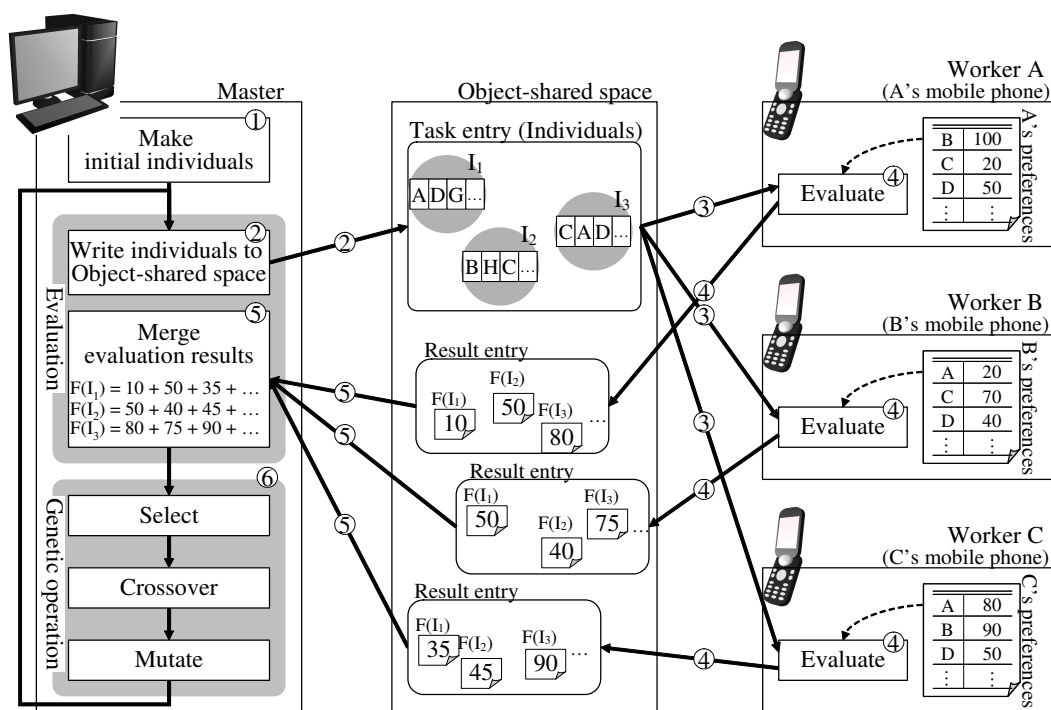


図 4: Process and data flow of the proposed method.

本方式の処理手順を図 4 および以下に示す．以下の各項目の番号は，図 4 の番号に対応している．

- ① マスタにおいて，ランダムに個体を生成し，初期集団とする．
- ②～⑤ 各ワーカーにおいて，各携帯電話上のプライバシーを用いて各個体を評価する（3.4 節）．
- ⑥ マスタにおいて，通常の GA と同様に，選択，交叉，突然変異などの遺伝的操作を行い，新しい個体群を作成する．
- ⑦ ②から⑥の処理を 1 世代とし，閾値以上の適応度を持つ解を発見するか，一定世代数 T_G の間適応度が向上しない場合に探索を終了する．得られた最終解は，オブジェクト共有空間を介して各携帯電話に送信する．上記の終了条件を満たさない場合は②に戻る．

3.4 プライバシを用いた個体の評価

本方式では，各携帯電話上のワーカーが染色体の評価を行うが，マスタに，既に一度評価を行った染色体の適応度を記憶させることで，通信コストの削減を図る．マスタが保持する染色体の適応度の記憶領域をキャッシュと呼ぶ．キャッシュへのデータの読み書きは，ハッシュ法を用いて効率化を図る．

本方式における，解候補評価の手順を以下に示す．以下の各項目の番号は，図 4 の番号に対応している．

- ② 集団内の各個体に対し，キャッシュ内に登録されていない全ての個体を 1 つの仕事エンタリに格納し，オブジェクト共有空間に書き込む．キャッシュ内に登録されている個体は，キャッシュ内に登録されている適応度を評価結果として用いる．
- ③ 各ワーカーは，オブジェクト共有空間を監視し，個体群の遺伝子情報が書き込まれた場合には，その情報をワーカー内に取り込む．このとき，全てのワーカーが同じ個体を取り込む必要があるため，オブジェクト共有空間上に残しておく．

- ④ ワーカーは，携帯電話上に保持されたプライバシーを用いて取り込んだ個体群を評価し，その結果を結果エンタリとしてオブジェクト共有空間に書き戻す．
- ⑤ マスタは，ワーカーから書き込まれた仕事エンタリをオブジェクト共有空間から回収し，各ワーカーによる適応度を平均することで各個体の適応度を得る．全てのワーカーからの仕事エンタリを回収した時点で，仕事エンタリをオブジェクト共有空間から削除する．全ての個体とその評価結果をキャッシュに登録する．

なお，個々の結果エンタリには，送信元のワーカー（およびワーカーを実行している携帯電話）を識別する情報は含まない．また，ワーカーと JavaSpaces 間での通信，またはワーカーが動作している携帯電話で何らかの問題が発生し，結果エンタリが一定の時間を越えても JavaSpaces に書き戻されない場合，マスタ側は得られた結果エンタリのみを用いて染色体の評価を行う．

本方式の現段階において，プライバシーは，探索実行前にユーザが専用のインタフェースを通じて各自の携帯電話に入力する．これは，EZ アプリの開発用ライブラリ KDDI-P や，i アプリの開発用ライブラリ DoJa3.0 以降など，携帯電話上のプライバシーを参照可能な Java ライブラリの利用が，携帯電話事業者によって認定された企業などに限られるためである．本方式においても上記のライブラリを利用することで将来的に，電話帳の登録情報，音声通話や電子メールの送受信履歴をもとに解候補の評価を行える．

4. おわりに

本稿では，携帯電話のプライバシーを安全に利用して分散組合せ最適化を行う方式を提案した．本方式は，携帯電話を計算資源として分散問題解決に参加させることができ，ユーザは安心して嗜好情報を入力でき，満足度の高い解を得ることができ

る。また、電話やメールの送受信履歴、携帯電話に搭載されたカメラで撮影した画像などを利用できる。

今後、キャッシュを改善し、タブ探索におけるタブーリストや、免疫アルゴリズムにおける記憶細胞のように、探索における集中化と多様化の制御に反映させることで、より少ない通信コストで解探索を行えるよう改善を行う。

参考文献

- [Gelernter 85] Gelernter, D.: Generative Communication in Linda, *ACM Trans. Program. Lang. Syst.*, Vol. 7, No. 1, pp. 80–112 (1985)
- [Goldberg 89] Goldberg, D. E.: *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison Wesley, Reading (1989)
- [廣安 02] 廣安 知之, 三木 光範, 佐野 正樹, 谷村 勇輔, 濱崎 雅弘: 2 個体分散遺伝的アルゴリズム, 計測自動制御学会論文集, Vol. 38, No. 11, pp. 990–995 (2002)
- [飯村 03] 飯村 伊智郎, 池端 伸哉, 中山 茂: オブジェクト共有空間を用いた並列遺伝的アルゴリズムにおけるノアの箱舟戦略の検討, 情報知識学会誌, Vol. 13, No. 2, pp. 1–7 (2003)
- [前園 06] 前園 正宜, 小野 智司, 中山 茂: 遺伝的プログラミングを用いた画像フィルタ設計におけるパラメータ調整とブロード抑制, 日本計算工学会, Vol. 8, No. 20060021 (2006)
- [Minton 92] Minton, S., M. D. Johnston, A. B. P., and Laird, P.: Minimizing conflicts: a heuristic repair method for constraint satisfaction and scheduling problem, *Artificial Intelligence*, Vol. 58, pp. 161–205 (1992)
- [柴山 03] 柴山 智子, 高田 雅美, 庄野 逸, 城 和貴: i アプリを用いた分散 GA の実装, 第 9 回情報処理学会 MPS シンポジウム, pp. 251–258 (2003)
- [Takeda 05] Takeda, K., Ono, S., and Nakayama, S.: JS-Grid: An Environment for Heterogenous Cluster Computing, in *Proc. of Int'l Conf. on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies (PD-CAT2005)*, pp. pp.507–512 (2005)
- [Tanese 89] Tanese, R.: Distributed Genetic ALgorithm, in *Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms*, pp. 434–439 (1989)