

日程計画における作業履歴を活用した ファジィ・ランダム多目的最適化の並列分散処理

富山県立大学電子・情報工学科
1515028 杉山桃香

指導教員：奥原浩之

1 はじめに

1.1 本研究の背景

現在、少子高齢化による労働者人口の減少は1つの社会的課題となっている。国立社会保障・人口問題研究所の調査で、2030年には、人口の1/3近くが65歳以上の高齢者になると推計されている。そして、このまま対策がないとGDPの減少は避けられない。^[1]

この問題の対策として、限られた資源で最大の利益を得ることが求められる。対策として、AIの導入や出生率の向上などが挙げられるが、今回はその対策の一つである「最適な人員・費用追加による生産性の向上」に着目した。

また、少子高齢化による労働人口の減少で生産性の向上や作業効率の向上が注目されるなか、建設・土木工事でも、「経済性」「迅速性」「確実性」という、3つの要素間の適切なバランスをとりあげた工程計画の研究が非常に重要なになってきている。家づくりは長い期間をかけて行うため、進むほどに後戻りが難しくなるため、最初に全体の大まかな流れをつかんでおくことが大切だ。

現状、日本の住宅建設にかかる費用は米国や他国に比べると高いといわれており、その原因の約50%は生産性の悪さが問題だとされている。住宅生産の各作業の中にはフレーミングのように、米国に近い生産性をあげている部分もあるが、全体としては、作業間の連携を含めてシステムが著しく遅れている。

1.2 本研究の目的

労働人口減少による人手不足により「住宅建築・土木工事」でも生産性・作業効率の向上を図っている。企業さんとのコンタクトを経て現状建築の現場で必要とされていることは各作業の完了に関する情報であることが分かった。

そこで、本研究では現場コミュニケーションアプリなどから得られる作業から次の作業までの、それら所要時間やその時に費やした費用のデータを基に、時間と費用の面から建設日程計画の最適化を行う。

更に、その所要時間や費用は作業環境などの不確定（ファジィ性）で不確実（ランダム性）な要素を含むものである。よって、本研究の目的は、ファジィ性・ランダム性を考慮した多目的日程計画最適化のモデルを考え、それをGAなどの手法を使い並列分散で解くことにより、効果的な人員や費用の追加を補助することができる日程計画を作成することである。

2 多目的日程計画の概要

2.1 所要時間の最小化

本研究における最適な日程計画は「いかに無駄な人員や費用をかけずに作業を無理なく迅速に遂行できるか」を目的としている。

建設の工程計画には順序関係が存在している。住宅建築における作業をプロジェクトネットワークとして可視化すると図1のようになる^[2]。これをもとに、この工程における重要な作業（プロジェクト全体を短縮するのに関わる作業）を導出する。

まず、一番時間がかかる作業の流れ（=クリティカルパス）を求める。クリティカルパスの短縮がプロジェクト全体の短縮に最も効果的であると考え、クリティカルパスの最小化を日程計画作成における一つの目的とした^[3]。

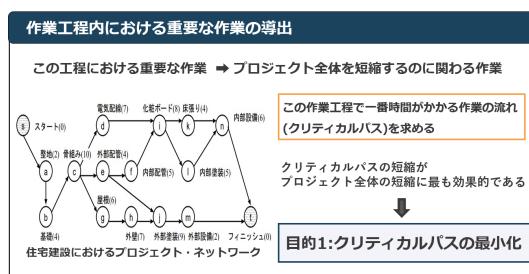


図1 クリティカルパスの最小化

2.2 時間費用関数の導入による多目的最適化

二つの目的として追加費用の最小化を考える。しかし、所要時間最小化するには作業員の追加（費用の追加）が伴い、これら2つの目的はトレードオフの関係にある。

プロジェクト全体の作業時間の最小化を目的として、クリティカルパスの最小化を考えた。更に、二つの目的として追加費用も最小化したい。所要時間を最小化するには、作業員の追加（費用の追加）が伴い、これら2つの目的はトレードオフの関係にある。

今回作業の所用時間と追加費用の関係は図2のような時間費用関数で表せると仮定する^[3, 4]。標準所要時間は追加費用をかけずに作業を達成できる時間とその費用に対応し、特急所要時間追加費用をかけることによって達成できる最短の時間とその費用に対応している

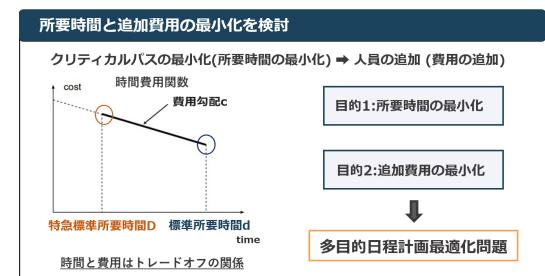


図2 多目的日程計画最適化

2.3 作業履歴のビックデータを活用

現在、建築の現場では、現場での作業情報を管理・共有する為のアプリが導入されている^[5]。そのアプリでは作業員の入退場（作業時間）などが管理されている。このようなアプリから得られる作業履歴のビックデータからファジィ・ランダム変数や確率のパラメータの設定を行う。

3 ファジィ・ランダム多目的最適化

3.1 ファジィ・ランダム変数化

投入資源による所要時間の変化の不確定性・不確実性を表現するため、本研究では時間費用関数にファジィ・ランダム変数を用いる。ファジィ・ランダム変数とは、ファジィ性とランダム性の両方を表現することができる変数のことである。ファジィ性とランダム性について描いたものを図3に示す。

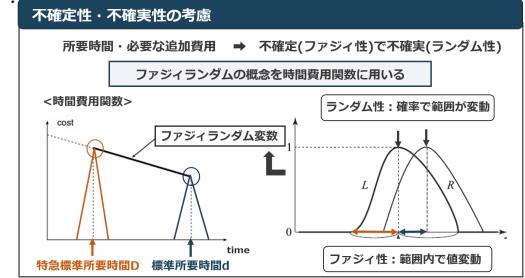


図3 ファジィ・ランダム変数のメンバシップ関数

ファジィ性とは曖昧性のことである。値が確定せず、ある範囲で変動するため、区間値で表すことができる。ランダム性とはその区間が確率で変化することである。

3.2 モデルの定式化

クリティカルパスの最小化と費用の最小化を目的関数としたファジィ・ランダム多目的日程最適化問題を定式化したもの図4に示す^[4]。

モデルの定式化

$$\begin{aligned} & \text{minimize} \quad \max \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} t_{ij} x_{ij} \right\} \quad \text{クリティカルパス完了時間の最小化} \\ & \text{minimize} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} \left(-\bar{c}_{ij} + \bar{b}_{ij} \right) x_{ij} \quad \text{費用の最小化} \\ & \text{subject to} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} x_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} x_{ji} = \begin{cases} 1, & (i = s) \\ 0, & (i \neq s, t) \\ -1, & (i = t) \end{cases} \\ & t_n = \sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} t_{ij} x_{ij} \leq T_p \\ & x_{ij} \in \{0, 1\} \end{aligned}$$

t_{ij} は作業 i から作業 j までの所要時間, \bar{c}_{ij} は費用勾配, \bar{b}_{ij} は時間費用関数の切片
 x_{ij} は枝選択を表す 0-1 決定変数, T_p は期限

図 4 モデルの定式化

4 等価確定問題への変換

しかし、ファジィ・ランダム変数を含む式をそのまま取り扱うことは困難なため、確率計画問題から多目的計画問題へ等価変換する必要がある。そこで、可能性測度と確率最大化モデルに基づき式を等価な問題へ置き換えた [6, 7, 8]。ファジィ性を含む原問題に対して、図 5 のようにファジィ目標を導入する。

$\bar{c}_{ij}, \bar{b}_{ij}$ の各要素は図 5 にあるメンバシップ関数により特性づけられるファジィランダム変数を要素とする変数ベクトルである。目的関数の係数は L-R ファイジィ数において、中心、広がりのパラメータが確率変数となっているファジィランダム変数であるため、各目的関数は、拡張原理に基づく L-R ファジィ数の演算により、図 5 のメンバシップ関数で特徴づけられている。

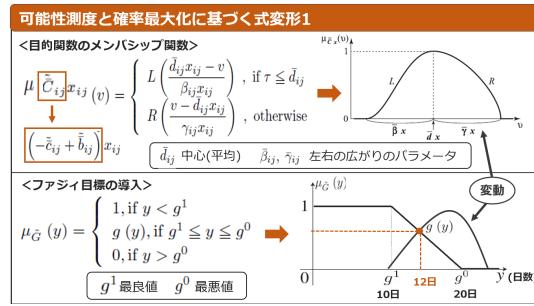


図 5 目的関数のメンバシップ関数とファジィ目標の導入

さらに、目的関数に対して、ファジィ目標 \tilde{G}_l を導入し、目的関数のメンバシップ関数 $\mu_{\bar{c}_{ij} x_{ij}}(y)$ を可能性分布とみなすとき、その分布の下でファジィ目標 \tilde{G}_l が満たされる可能性の度合い $\pi_{\bar{c}_{ij} x_{ij}}(\tilde{G}_l)$ は、可能性測度を用いて図 6 のように与えられる

ここでは、問題における $\pi_{\bar{c}_{ij} x_{ij}}(\tilde{G}_l)$ の最大化、 $\pi_{\bar{c}_{ij} x_{ij}}(\tilde{G}_l)$ の値がある一定値 h_l (満足基準値) 以上となる確率を最大化するという確率最大化モデルに基づき、ファジィ目標が満たされる可能性の度合いを最大化する問題として変形することで、可能性測度の導入によりファジィ性を確実に取り扱う。

よって、問題は図 6 のような確率計画問題となる。最後に、確率計画問題を等価な多目的計画問題に変形していくと、問題は非凸非線形 0-1 計画問題となる。

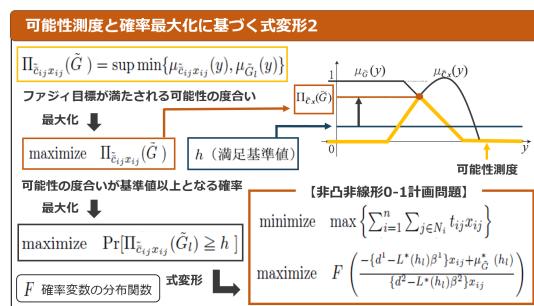


図 6 確率最大化モデルに基づいた変換

6 適用手法の検討とパラメータの設定

6.1 遺伝的アルゴリズムの適用を検討

今回は、個体数、選択方法、交叉の方法や突然変異の割合などのパラメータを細かく設定できる遺伝的アルゴリズム (GA) で、この非凸非線形計画問題を解くことを検討する。GA を用いてある非線形問題を解いた例を図 8 に示す。

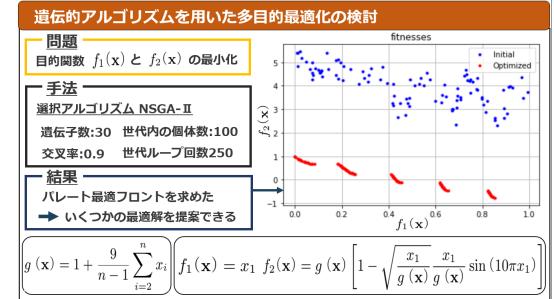


図 7 GA を用いた数値実験例

6.2 必要なパラメータ

これから数値実験を行う際に必要となる主要パラメータを下記に示す。

- [1] 標準所要時間 \bar{d} (中心値 \bar{d})
- [2] 左右の広がりパラメータ $\bar{\alpha}, \bar{\beta}$
- [3] 最良値 g^1 最悪値 g^0
(ファジィ目標 G のメンバシップ関数を規定)
- [4] 確率変数 \bar{t} の分布関数 F

また、これらのデータを疑似的に作成するのだが、ファジィ・ランダム変数の有効性を検証するため、事象が均等な場合のデータと事象が偏っている場合のデータを与え、値のぶれ方を考察することにする。

7 RaspberryPi を用いた MPI 並列計算

7.1 MPI の概要

一般的なコンピュータを使って高速な処理を実現する場合には 1 つの目的を複数のコンピュータで分散・並列処理することになる。この実行基盤の 1 つが MPI (Message Passing Interface) と呼ばれる仕様・規格で、MPICH, Open MPI など複数の実装系が存在している。

Task と呼ばれる独立したアドレス空間で動作するプロセスを CPU コア/スレッド毎に生成し、このプロセス間で MPI 標準規格で定義された関数を使ってデータを分割・移動 (Message Passing) しながら並列・協調動作を実現している。

7.2 並列環境の構築 (ssh 接続)

ノード間並列を行う前に、NFS とパスワードなしで、ssh 接続ができる状態にする必要がある。ssh の認証方式としてはよく使われるパスワード認証の他に公開鍵認証というものがあり、公開鍵方式では「公開鍵」と「秘密鍵」の 2 種類の鍵を使って認証を行うことができる。

秘密鍵はログインする側 (ローカル側) の PC に置いておき、公開鍵はログインされる側 (リモート側) の PC に置く必要がある。しかし、秘密鍵と公開鍵は 2 つで 1 組なので、公開鍵認証を使用する際には、どちらかの PC で秘密鍵と公開鍵と一緒に生成し、もう片方の PC に一方の鍵を移すという作業をしなければならない。

今回は、ノード間並列を行う準備として、RaspberryPi(ラズパイ) 8 台分 (master, slave1... slave7) に対して、各ラズパイ同士が、公開鍵認証を用いた ssh 接続ができる環境を整えた。

8 おわりに

本研究では、労働人口の減少による GDP の減少の対策として、建設現場における生産性の向上を具体例に「最適な日程計画を求める問題」を考えた。今後の課題は、モデルをより現実問題に近い形で解くためにファジィ・ランダムのパラメータ設定を行い GA を用いて解くこと、と並列分散処理を用いた高速化を目指すことである。

参考文献

- [1] 国内人口推移が、2030 年の「働く」にどのような影響を及ぼすか
<https://www.reruit-ms.co.jp/research/2030/report/trend1.html>
- [2] 第 2 章 ネットワーク構造一つながらを見る
<http://www.econ.tohoku.ac.jp/~ksuzuki/teaching/ch2.pdf>
- [3] “建設工事における総括工程計画モデルの開発研究”
- [4] 飯田耕司, “不確実性への挑戦・意思決定分析の理論”
- [5] 現場コミュニケーションアプリ「Kizuku(キズク)」
- [6] Hideki Katagiri, Interactive multiobjective fuzzy random linear programming: Maximization of possibility and probability
- [7] M. Sakawa, I. Nishizaki, H. Katagiri, Fuzzy Stochastic Multi-objective Programming, Springer, 2011
- [8] 椎名孝之, “確率計画法”, 朝倉書店, 2015