

IoT対応多目的ファジイランダム建設工程計画分散並列解法

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。

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「最適なスケジューリング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。また、現場監督の大きな悩みとして「各大工さんのスケジュールの空き込み具合を把握したい」というものが挙がっている。更に、人手不足のなかで、どの大工さんをどこの現場（作業）へ振り分けるかは作業効率に大きく関わってくる要素であると考えられる。

そこで、本研究の目的として、現場コミュニケーションアプリなどから得られる各大工さんの作業情報をもとに、大工さんの作業ごとの熟練度（単位時間あたりの作業量）を導出。それらの不確定性・不確実性を考慮した、建築工事人員割り当て問題の最適化を検討する。更に、それを並列分散環境で解くことにより、高速化を実現し、リアルタイム性の高い人員割り当ての最適化を行うことを目的とする。

2 現場コミュニケーションアプリの紹介

2.1 アプリ機能

- [1] トーク
- [2] 図書共有
- [3] 報告書
- [4] 工程表

現場コミュニケーションアプリの機能は大きく分けて4つあり、トークでは工事の進捗情報をスタンプ機能を用いて、その現場の担当者内で共有している。図書共有では、最新の図面や案内図を確認、報告書では、現場で撮った写真を参考に簡単に作成する。最後に、工程表という機能ではトーク機能などから得られた情報から各自の工程表を自動作成、リアルタイムに更新を共有することができる。

2.2 得られる情報

得られる情報としては以下のようないわゆる変数が挙げられる。

- [1] 実労働時間
- [2] 各作業の所要時間
- [3] 工事の期限
- [4] 空き時間（余裕時間）
- [5] 費用

3 情報の活用

その他にあつたら良いと思う情報を考えた。

- [1] 休憩開始・終了スタンプ
- [2] その日の天気・温度
- [3] その日の体調・気分
- [4] 得意/好きな作業・苦手/嫌いな作業
- [5] 作業ごとの熟練度

4 問題設定・定式化

＜集合＞

作業集合 $JOB = \{基礎、土台、柱…内外装の仕上げ\} (j=1\cdots 11)$
大工集合 $PEOPLE = \{Aさん, Bさん, Cさん…Tさん\} (p=1\cdots 20)$

＜目的関数＞

(1) 各大工さんの作業時間の平均化（エントロピーの最大化）

$$\max - \sum_{p=1} P_p \log P_p \quad (1)$$

$$P_p = \frac{\sum_j T_j}{\sum_{jp} T_{jp}} \quad (2)$$

(2) 総作業時間最小化

$$\min \max \sum_j T_j^{(k)} \quad (3)$$

＜制約式＞

（費用）

$$C_{jp}, j \in JOB, p \in PEOPLE \quad (4)$$

$$C_m \text{ 材料費 (固定値)} \quad (5)$$

$$C \text{ 全工費} \quad (6)$$

$$C_{jp} + C_m \leq C \quad (7)$$

仕事 j に人 p を割り当てたときのコスト（日給）と工事全体にかかる材料費（固定値）の和を工事全体にかかる費用とする。
(時間)

$$T_j^{(k)}, j \in JOB, k \in PEOPLE \quad (8)$$

$$T_j^{(k)} = t_{j+1}^{(k)} - T_j^{(k)} - r_j^{(k)} \quad (9)$$

$$T_j^{(k)} \geq 0, r_j^{(k)} \geq 0 \quad (10)$$

$$\sum_j T_j^{(k)} < \text{労働時間} \quad (11)$$

（作業量）

$$S_j = \sum_p O_{jp} T_j^{(k)} \quad (12)$$

$T_j(k)$ が作業 j に人 k を割り当てたときの作業開始時間、 $r_j(k)$ は k さんが作業 j の後にとる休憩の時間、 $t_j(k)$ は k さんが作業 j にかかる時間を表す。「作業 j の1単位時間あたりの総作業量 O_{jp} 」から導出する。

更に、「作業 j の1単位時間あたりの総作業量」は「各大工さんの熟練度・体調」によって変動するファジィ・ランダム変数とする。

5 ファジイランダムの適用

5.1 目的

ファジィランダム変数は確率空間からファジィ集合への写像として定義され、ファジィ数が基準となる変数である。不確実性・不確定性を同時に表現可能な変数として、既存研究の中でいくつかの提案がなされている。その中でも、ファジィランダム変数は基礎理論から応用面まで幅広く研究がなされており、数理計画問題をベースとした意思決定に関する研究においても有益な結果が得られている。

今回は、投入資源による作業時間の変化の不確実性・不確定性を表現するために作業時間の係数としてファジィランダム変数を用いる。

5.2 ファジィランダム変数

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。ファジィランダム変数 $d_i(\omega)$ は事象 ω が生起したとき実現値が式(6)のメンバーシップ関数 $\mu_{d_i}(\omega)$ で定義される。

$$\mu_{d_i}(\omega) \begin{cases} L \frac{\bar{b}_i(\omega) - s}{\alpha_i} \\ R \frac{s - \bar{b}_i(\omega)}{\beta_i} \end{cases} \quad (13)$$

5.3 多目的ファジィランダム計画問題

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できないため、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。まずは、可能性測度を用いて定義する。意思決定者が可能性測度に対する可能性レベル γ ($0 < \gamma < 1$) を設定して、次の式(7),(8) ように定義する。

$$\min \sum_{j \in V} a_i x_j \quad (14)$$

$$Pos(a_i x_j = \tilde{d}_i(\omega)) \geq \gamma, i = 1, \dots, m \quad (15)$$

更に、LR ファジィランダムの性質から式を等価変換し、式(9)のような 2 種類の不等式制約として次の区間値を与える。

$$\bar{b}_i(\omega) - L^{-1}(\gamma)\alpha_i \leq a_i x_j \leq \bar{b}_i(\omega) + R^{-1}(\gamma)\beta_i \quad (16)$$

6 まとめ

企業さんとのコンタクトを経て、現在用いられる現場コミュニケーションアプリ「Kizuku」の機能についてまとめた。そこから、得られる情報、または得られたら良いと思う情報を考え、新たな問題設定を行い、定式化した。

今後の課題としては、問題の解法の検討を行い、実際に Hadoop,spark での並列分散環境で GA を用いて解くことを視野にいれ、簡単なサンプルで並列計算が問題なく実行できるかを確認する。

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.recruit-ms.co.jp/research/2030/report/trend1.html>
- [2] ネットワーク手法による施工計画のシステムアプローチに関する研究
- [3] CPM を用いた不確実・不確定状況下におけるクリティカルパスの求解
<https://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/194808/1/1829-08.pdf>
- [4] 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>
- [5] 建設工事における総括工程計画モデルの開発研究
- [6] 多目的ファジィランダム単純リコース問題に対する対話型意思決定とその応用 <https://ci.nii.ac.jp/naid/130005466156/>
- [7] 可能性・必然性測度を用いた多目的ランダムファジィ線形計画問題に対する効率的厳密解法の構築
- [8] GA のスケジューリング問題への応用
<https://ci.nii.ac.jp/naid/10008806362/>
- [9] 非同期型島モデル並列 GA の評価
<https://ci.nii.ac.jp/naid/10004577295/>