

実績データに基づく遅延と手戻りを考慮した プロジェクト工期見積もり手法の開発

47-176732 王 汝佳
指導教員 稗方 和夫 准教授

A framework combining project simulation model with extracted uncertainty parameters from past data is proposed in this study. Under the condition that similar projects have been conducted and roughly recorded before a new project is executed, a protocol is set up to extract uncertainty parameters from the past data. The extracted parameters include minimal work amount, delay probability and rework probability for each task in the project, based on which a simulation model is constructed to run simulations considering project uncertainty. In addition, case studies are conducted not only to verify and validate the proposed method, but also to provide a demonstration of the whole framework, choosing a better resource strategy based on multiple simulation results for an imaginative project.

Key words: Project Simulation, Parameter Extraction, Uncertainty, Duration Estimation

1 緒言

大規模プロジェクトでは、作業手順の選定や人員配置の仕組みも複雑であることが多く、このような複雑なシステムにおいては、些細な変化でも多大な影響をもたらすことがあるため、プロジェクトに高いリスクが潜んでいる場合がある。プロジェクトの成果を大きく左右するような事象は不確実性と呼ばれ、不確実性に対しては、適切なマネジメント手法が必要である。過去の研究において、不確実性を含めたシミュレーションモデルは多く提案されているが、詳細かつ膨大な現場情報から不確実性を数値化し、モデルに入力する必要がある。この場合、多種多様な情報を人間系で処理しなければならず結果として、プロジェクトの工期見積もりや工程管理において、専門家の経験と直感に頼るケースが多い。

本研究では、実績データに基づき、手戻りと遅延を考慮したプロジェクト工期の見積もりを行う手法を提案する。具体的には、手戻りモデルを含むシミュレーションモデル、および遅延と手戻りをシミュレートするための不確実性イベントの発生確率を、プロジェクトの実績データから算出する仕組みを提案し、シミュレータを用いたプロジェクトの工期見積もりを可能とする。

2 提案手法

2.1 概要

本研究の提案手法の概要を Fig. 1 に示す。まず、提案手法全体の入力情報として、リソースの情報、プロジェクトを構成するタスクとタスク間依存関係の情報、及び過去の実績データがある。この中で、リソース情報は検討中のものとし、その他は固定の情報として扱う。シミュレーションモデルは、後述する基本モデル、遅延モデルおよび手戻りモデルから構成されている。基本モデルの情報は、入力情報であるリソースの情報と、タスクに関連する情報を使用し、遅延モデルと手戻りモデルの情報は、実績データを、タスクに関する情報と合わせて、抽出するものとする。シミュレーションによるスケジューリングの結果は、検討中のリソース情報に対して、フィードバックを与える。提案手法を通して、実状況と需要に応じたリソース情報の再調整が可能となる。

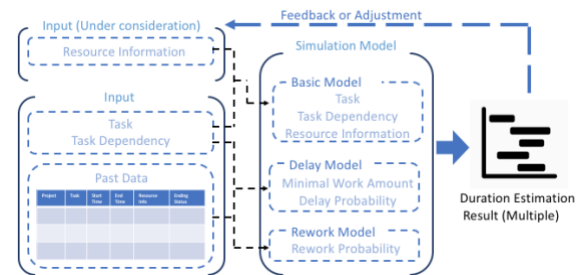


Fig. 1 Conceptual figure of the proposed method

2.2 シミュレーションモデル

シミュレーションモデルは、基本モデル、遅延モデル、手戻りモデルの3つのパーツから構成される。

2.2.1 基本モデル

基本モデルの概念図を Fig. 2 に示す。

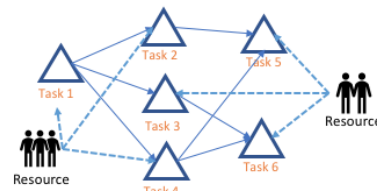


Fig. 2 Conceptual figure of basic model

基本モデルでは、タスクとリソースの基本的な構造を表し、先行研究¹⁾と類似する仕組みになっている。プロジェクト全体を複数のタスクに分け、タスクの間に一定の依存関係が存在するものとする。ただし、タスク間の依存関係は Finish-to-Start だけとする。また、本研究のシミュレーションモデルは、資源制約つきスケジューリング問題として扱われるため、リソースを定義する必要もある。1つのタスクが必要とする人員と機械などを、抽象化されたリソースとしてモデリングし、リソース1つに対して、タスク毎に、進捗能力が定義される。

2.2.2 手戻り作業に関する仮定

不確実性に関するモデルを説明する前提として、手戻り作業に関する仮定を説明する。本研究で扱う手戻り作業とは、依存関係における下流作業において、上流作業のミスを発見し、上流作業を再度実行することを余儀なくされることである。タスクは繰り返し実行されることがあるため、

本研究では、各不確実性パラメータを、タスクの実行回数毎に設定する。

2.2.3 遅延モデル

遅延モデルは、タスクにおける最小の工数、及び最小の工数に基づく一連の遅延確率から構成される。タスク t_i の o 回目の実行における最小の工数を $mwa_{i,o}$ と記述する。また、不確実性の要素として、遅延確率 $dp_{i,o,wa}$ が定義される。 $dp_{i,o,wa}$ は、タスク t_i の o 回目の実行において、 wa の工数が追加された確率である。 wa の値は0以上の整数とし、 $dp_{i,o,wa}$ の値は、0から1の実数とする。タスク t_i の o 回目の実行に対して、このような確率の値を、複数与えることが可能だが、確率の総和は1とする。シミュレーション上の挙動として、タスクが初めて最小の工数に達した時に、0から1の区間上で一様分布に基づく乱数が生成され、遅延工数の判定が行われる。遅延が発生する場合は、その遅延工数をタスクの残り工数に加える。

2.2.4 手戻りモデル

手戻りモデルは、一連の手戻り確率から構成される。手戻り確率の前に、まず、タスクの進捗率 $pro_i(t)$ を定義する。 $pro_i(t)$ は、時刻 t におけるタスク t_i の進捗率であり、また、時刻 t における実行された工数を $awa_i(t)$ と記述する。 $pro_i(t)$ は、 $awa_i(t)$ と時刻 t における実行回数 $mwa_{i,o}$ の比であり、0.1を進捗単位とする。進捗率の定義を踏まえて、手戻り確率を rp_{i_1,oc,pro,i_2} と記述する。これは、タスク t_{i_1} の oc 回目の実行中で、進捗率が pro の時に、タスク t_{i_2} へと手戻りする確率を示す。シミュレーション上の挙動としては、進捗率が0.1進んだ時点で、0から1の区間上の一様分布に基づく乱数が生成され、手戻り確率に従い、手戻りの発生を判断する。手戻りが発生すると、タスク t_{i_1} とタスク t_{i_2} の $awa_i(t)$ と $pro_i(t)$ が0となり、実行回数を1増やし、新しい実行回数に応じて、残り工数を更新する。また、タスク t_{i_2} に依存する各下流タスクのうち、完成済みのタスクに対して同じように次の実行回数に応じて更新し、進行中のタスクに対しては、 $awa_i(t)$ と $pro_i(t)$ が0となり、実行回数に関する諸情報を変更しない。

2.3 シミュレーションのフロー

シミュレーションのフローチャートを Fig. 3 に示す。

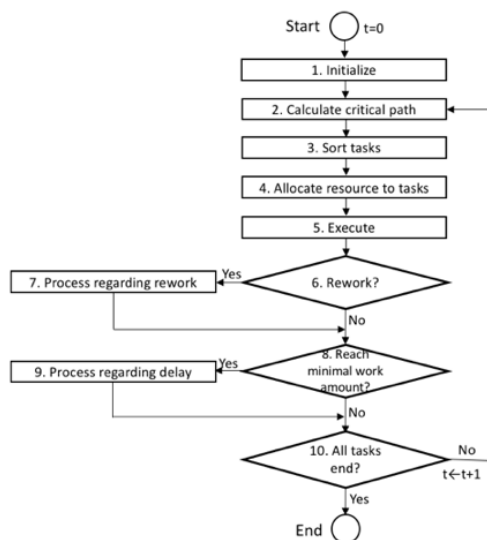


Fig. 3 Simulation flow chart

1. 初期化：時刻を0とし、入力値を読み込み、タスクとリソースの状態を初期化する。
2. クリティカルパスを計算する。
3. 最遅開始時間と最小開始時間の差の昇順に、タスクに優先順位をつける。
4. リソースをソートされたタスクに順に割り振る。
5. タスクの実行工数を増やし、残り工数を減らす。また増加や減少する工数は、割り振られたリソースの進捗能力の総和である。
6. 進捗率を計算し、手戻りの発生を判断する。
7. 手戻りに関する処理を、2.2.4の説明通りに行う。
8. タスクの進捗率が初めて1に達した時点で、遅延の発生を判断する。
9. 遅延に関する処理を、2.2.3の説明通りに行う。
10. 全てのタスクが完了した時、シミュレーションが終了するとし、見積もり結果を出力する。シミュレーションが終了していない場合、手順2に戻る。

2.4 不確実性パラメータの抽出

不確実性パラメータの抽出について、必要とする実績データ、前処理、遅延モデルの抽出および手戻りモデルの抽出の4つのパーツについて説明する。

2.4.1 必要とする実績データ

本提案手法で必要とする実績データでは、プロジェクト名、タスク名、開始時の日時、終了時の日時、該当タスクに配分されたリソース情報、終了時もしくは中断時の情報の6つの項目である。リソース情報は、リソースの進捗能力であり、工数の算出に必要であるため、事前にリソースを抽象化し、進捗能力を決める。また、終了時もしくは中断時の情報は、1件の実績データに関する情報であり、Normal、Rework、Suspendの3種がある。Normalは、タスクが正常に終了したことを示す。Reworkは、タスクが手戻りによって中断したことを示し、手戻り先のタスク名も記録される。Suspendは、タスクが依存関係やリソース不足などによって中断したことを示す。

2.4.2 前処理

前処理では、計算と集計を行う前に、シミュレーションモデルの各仮定を踏まえ、実績データに対して、適切な処理を行う。まず、実績データにおける依存関係の整合性をとる。この段階では、実績データを2つずつ比較し、依存関係の上流タスクを優先して、調整を行う。

次に、終了時ステータスによる前処理を行う。この処理では、各タスクの実行時における工数が計算され、実行回数もカウントされる。ステータスが「Suspend」のデータに対して、同じプロジェクトにおける次のデータと結合し、工数が加算される。次のデータの終了時ステータスも「Suspend」である場合は、その次のデータと結合し、終了時ステータスが「Normal」もしくは「Rework」のデータになるまで、処理を続行する。

2.4.3 遅延パラメータの抽出

遅延モデルのパラメータ抽出は、最小工数の集計と遅延確率の抽出からなる。まず、各タスクに対して、最小工数の集計を行う。ただし、終了時ステータスが手戻りであるデータは集計されないものとする。各タスクの実行回数毎に、最小工数を集計する。それに基づき、各実績データにおいて、遅延工数を算出する。遅延工数は、データ内の工数と最小工数の差分であり、正の整数を取る。次に、遅延

確率の計算を行う。タスクの実行回数ごとに、記録のある遅延工数に対して、確率を計算する。手戻りが発生したタスクを除き、タスク t_i の o 回目の実行が全部で $count_{i,o}$ 件のデータがあるとし、またタスク t_i の o 回目の実行で wa 工数の遅延が発生したデータが $count_{i,o,wa}$ 件あるとすると、遅延確率 $dp_{i,o,wa}$ は $count_{i,o,wa}$ と $count_{i,o}$ の比で計算される。

2.4.4 手戻りパラメータの抽出

手戻りモデルのパラメータ抽出では、進捗率に関する手戻り確率が計算される。まず、各タスクの各実績データに対して、記録時における進捗率を計算する。各データの終了時進捗率を計算した後に、手戻り確率の算出を行う。戻り発生の有無に関わらず、タスク t_{i_1} のデータ記録時進捗率が pro より大きいもしくは等しい実績データの数を $count_{i_1,o,\geq pro}$ とし、タスク t_{i_1} が o 回目の実行中にタスク t_{i_2} へ手戻りする時の、進捗率が pro である実績データの数を $count_{i_1,o,pro,i_2}$ とすると、手戻り確率 rp_{i_1,o,pro,i_2} が、 $count_{i_1,o,pro,i_2}$ と $count_{i_1,o,\geq pro}$ の比で計算される。

3 ケーススタディ

本研究では、2つのケーススタディを用いて、提案手法のプログラム上における挙動の検証した後、シミュレーションモデルの妥当性について検討し、デモンストレーションを行う。

3.1 ケーススタディ1: 提案手法全体の検証

ケーススタディ 1 では、仮想の小規模プロジェクトを用いて、提案手法の挙動の検証および妥当性の検討を行う。仮想プロジェクトの実績データは Browning²⁾ が提案したシミュレーションモデルを使用し、生成する。実績データにおけるタスクとリソースの概要、および生成した実績データのガントチャートを Fig. 4 と Fig. 5 に示す。

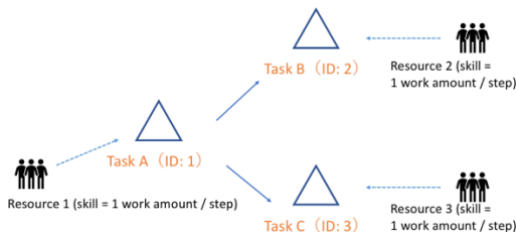


Fig. 4 Task and resource information (case study 1)

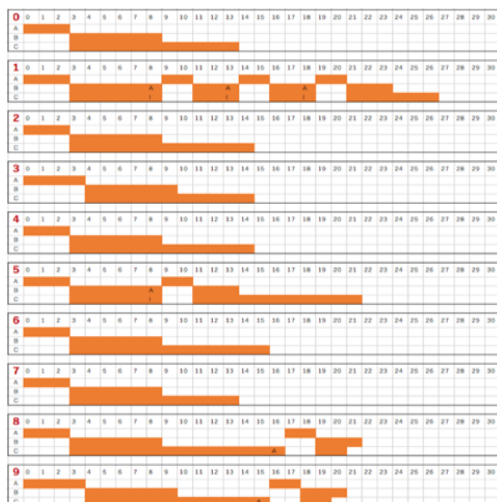


Fig. 5 Generated past data (case study 1)

提案手法によるパラメータ抽出の結果を Table 1 に示す。この結果は、解析的計算による結果と一致しており、パラメータ抽出のプログラムが正しい挙動を示していることが分かる。また、シミュレーション結果を解析的計算した結果と、5000 回シミュレーションした結果を Table 2 に示す。2つの結果が一致することから、シミュレーションモデルの正しい挙動が検証された。またシミュレーションモデルの妥当性について、プロジェクトの遅延と手戻りについて、多くのバリエーションを示すことができた。遅延確率と手戻り確率の組み合わせに、離散イベントシミュレーションによって、実績データより多くの可能パターンを示したからと考えられる。

Table 1 Extracted parameters (case study 1)

Task	Delay model	Rework model
A	$mwa_{A,1} = 3$ $mwa_{A,2} = 2$ $mwa_{A,3} = 2$ $mwa_{A,4} = 2$ $dp_{A,1,1} = 0.2$	-
B	$mwa_{B,3} = 6$ $mwa_{B,2} = 3$ $mwa_{B,4} = 3$	$rp_{B,1,1,A} = 0.2$ $rp_{B,2,1,A} = 0.25$ $rp_{B,3,-1,A} = 1$
C	$mwa_{C,1} = 11$ $mwa_{C,2} = 2$ $dp_{C,1,1} = 0.3$ $dp_{C,1,2} = 0.1$ $dp_{C,1,3} = 0.1$ $dp_{C,1,6} = 0.1$ $dp_{C,1,7} = 0.1$	$rp_{C,1,1,A} = 0.1$ $rp_{C,1,2,A} = 0.333$

Table 2 Analytical and simulation result (case study 1)

Duration	Frequency in simulation result	Analytical result probability	Duration	Frequency in simulation result	Analytical result probability
14	0.1674	0.1728	26	0.002	0.0018
15	0.2152	0.216	27	0.0136	0.016
16	0.1004	0.1008	28	0.0142	0.0112
17	0.0544	0.0528	29	0.0082	0.009
18	0.0094	0.0096	30	0.0386	0.039
19	0.0452	0.048	31	0.0212	0.0201
20	0.0546	0.0504	32	0.0072	0.0063
21	0.0502	0.048	33	0.016	0.0181
22	0.091	0.0852	34	0.0034	0.0043
23	0.0541	0.0513	36	0.004	0.006
24	0.0184	0.0189	37	0.0038	0.0039
25	0.009	0.0099	38	0.0012	0.0006

Table 3 Task dependency (case study 2)

task	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	0	1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	1	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	0	0	0	1		0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	0	0	0	0	1		0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	1	0		0	0	0	0	0	0
9	1	0	1	1	0	0	0	1		0	0	0	0	0
10	0	0	0	1	0	1	1	1	0		0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1		0	0	0
12	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1		0	0
13	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1		0
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

3.2 ケーススタディ2: デモンストレーション

ケーススタディ 2 では、同じく Browning²⁾ による先行研究でのプロジェクトを用いて、リソースに関する戦略を 2 つ挙げ、提案手法のデモンストレーションを行う。デモンストレーションでは、人員に関するリソース戦略を 2 つ提示し、それぞれ、抽出した不確実性

パラメータと共に、シミュレーションモデルに入力する。シミュレーションの結果を用いて、適切なリソース戦略を選択する。

プロジェクトのタスク間依存関係を Table 3 に、プロジェクトの実績データのガントチャートを Fig. 6 に示す。

リソース戦略としては、1. 単一のスキルを持つリソースチームをできるだけ多く構成する、2. 複数のスキルを持つリソースチームをできるだけ少なく構成する、の2種類を想定する。戦略1と2のそれぞれに対応する入力情報を Table 4 と Table 5 に示す。最前列はタスクの ID を示し、最前行は各リソースチームの ID を示している。

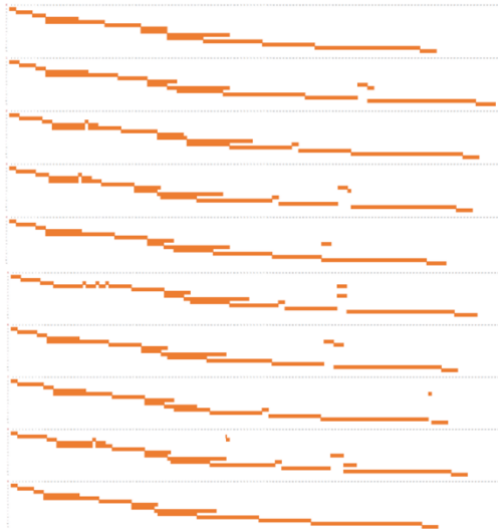


Fig. 7 Generated past data (case study 2)

Table 4 Resource strategy 1 (case study 2)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	15													15
2		1												
3			2											
4				1										
5					12	12								
6							1							
7								1						
8									2					
9										3				
10											1			
11												1		
12													13	

Table 5 Resource strategy 2 (case study 2)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	15													15
5					12	12								
12													13	
13		1	2	1										
14							1	1				1		
15									2	4	2			

2つの戦略において、それぞれ1000回シミュレーションを実行した結果を Fig. 8 に示す。Fig. 8 では、横軸が見積もり工期、縦軸が所用コストを示し、青と赤の点は、それぞれ戦略1と戦略2によるシミュレーション結果である。

戦略1は平均255日、標準偏差15.40日の工期と平均1188万円、標準偏差80.00万円のコストの結果を得て、戦略2は平均266日、標準偏差11.02日の工期と平均1252万円、標準偏差77.96万円のコストの結果を得た。この結果から、単一の機能を持つ複数のリソ

ースチームは、タスクを並行実行することができるため、戦略1を採用すべきことが分かった。

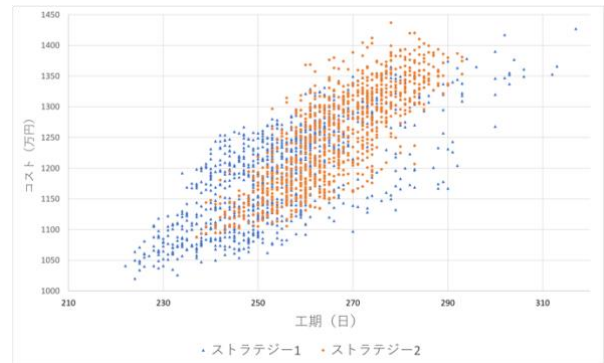


Fig. 8 Simulation result of case study 2

4 考察

本研究では、パラメータ抽出手法に適用する実績データの情報について定義し、不確実性を考慮した工期見積もりを行う際に、どのようなデータが必要であるかを明確に示した。そのようなデータの入手が提案手法の前提である。また、提案手法は、同じタスクとタスク間依存関係のプロジェクトが過去に複数回実行されていて、かつその依存関係が明確に定義されていることを前提としている。そのようなプロジェクトのみが、本手法の適用対象である。

5 結論

本研究では、実績データに基づき、手戻りと遅延を考慮したプロジェクト工期の見積もりを行う手法を提案した。提案手法では、実績データからのパラメータ抽出を想定した遅延と手戻りのモデルを提案した。実績データから、遅延工数とその確率、および手戻りパターンの確率を算出し、得られたパラメータとリソース、タスクの依存関係をもとにシミュレーションを行うことで、工期を見積もる。

ケーススタディによって、提案手法の検証とデモンストレーションを行なった。ケーススタディ1では、提案手法に基づいたプログラムの正しい挙動を検証した上で、モデルの妥当性について検討した。ケーススタディ2では、既存のプロジェクトに対して、具体的なリソースに関する戦略を複数想定して提案手法を適用し、デモンストレーションを行った。デモンストレーションの結果、提案手法によってリソース情報の検討に関する意思決定を支援することが可能であること示した。

文献

- 1) 満行泰河, 稗方和夫, 松原洗也, 大和裕幸, Bryan Moser: “船舶建造プロセスシミュレーションを用いた生産設備の導入に関する研究.”, 日本船舶海洋工学会論文集, 24, pp. 291-298, (2016).
- 2) T. R. Browning: “Modeling and analyzing cost schedule, and performance in complex system product development.”, Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology, (1998).