

土工現場用 CPS プラットフォーム ROS2-TMS for Construction の開発

-第 11 報 大規模言語モデルを用いたタスク計画機構の開発-

○堤 哲之介 (九州大学), 井塚 智也 (九州大学), 笠原 侑一郎 (九州大学),
高野 智也 (九州大学), 秋成 光太 (九州大学), 山内 元貴 (土木研究所),
遠藤 大輔 (土木研究所), 阿部 太郎 (土木研究所), 橋本 毅 (土木研究所),
永谷 圭司 (筑波大学), 倉爪 亮 (九州大学)

ROS2-TMS for Construction: CPS platform for earthwork sites

-Development of Task Planning Mechanism Using Large Language Models-

○ Akinosuke TSUTSUMI (Kyushu University), Tomoya ITSUKA (Kyushu University),
Yuichiro KASAHARA (Kyushu University), Tomoya KOUNO (Kyushu University),
Kota AKINARI (Kyushu University), Genki YAMAUCHI (PWRI),
Daisuke ENDO (PWRI), Taro ABE (PWRI), Takeshi HASHIMOTO (PWRI),
Keiji NAGATANI (Tsukuba University), and Ryo KURAZUME (Kyushu University)

Abstract: In recent years, labor shortages in earthwork sites have become a serious issue, and we have been developing a Cyber Physical System (CPS) platform for construction sites called ROS2-TMS for Construction. In this system, task planning for the actions of construction machines has traditionally been performed by humans. However, as projects scale up and the coordination of multiple machines becomes necessary, the planning process requires significant time and effort. In this study, we develop a task planning system for construction machines using Large Language Models (LLMs). The proposed system takes natural language instructions as input and generates Behavior Trees (BTs), a tree-structured task representation model. Experimental results show that the construction machines executed tasks as instructed, confirming the effectiveness of the proposed system.

1. 緒言

近年, 土木工事現場における技術者の少子高齢化により, 人手不足が問題となっている. この問題に対し, 土木作業の効率化と安全性の向上を同時に実現するシステムとして, 我々は Cyber Physical System (CPS) プラットフォームである ROS2-TMS for Construction を開発している. CPS とは, 実空間とサイバー空間が相互に連携するように構成されたシステムのことである.

ROS2-TMS for Construction 開発の第 3 報¹⁾では, 実空間およびサイバー空間において建設機械の実機を制御するためのタスク管理機構を実装した. タスク管理機構におけるタスクスケジューラには Behavior Tree (BT) が用いられている. Behavior Tree とは, ロボットの行動を制御するために用いられる階層モデルであり, タスクは Action, Decorator, Control と呼ばれるノードを用いた木構造で表現される. ROS2-TMS for Construction を利用したこれまでの実験では, 建設機械を制御する BT は手動で作成されていた²⁾. しかし, 作業の大規模化や複数台の建設機械による連携作業の実現に伴い, BT の作成に時間がかかることが課題となっている.

以上の課題を解決するため, 我々は大規模言語モデル (Large Language Model; LLM) を用いて言語指示から Behavior Tree を生成するタスク計画機構を開発した. 本稿では, タスク計画機構の詳細と, 生成した Behavior Tree を用いた実験について報告する.

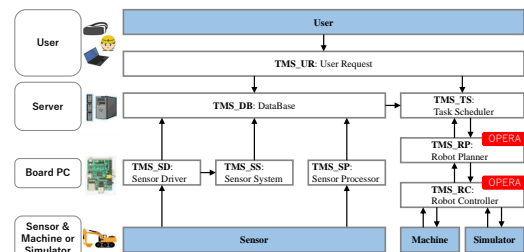


Fig. 1 Architecture of ROS2-TMS for Construction

2. ROS2-TMS for Construction

図 1 に ROS2-TMS for Construction のアーキテクチャを示す. 図 1 に示したモジュール群のうち, タスク計画機構に関連する TMS_DB, TMS_TS について以下に詳述する.

- TMS_DB (DataBase): タスク計画機構が Behavior Tree の生成に利用するパラメータをデータベースから読み出す機能を担うモジュール.
- TMS_TS (Task Scheduler): ROS2-TMS for Construction のタスクスケジューラである Behavior Tree を実行するモジュール. タスク計画機構で生成された Behavior Tree はデータベースに格納されたのち, TMS_TS によって読み出されて実行される.

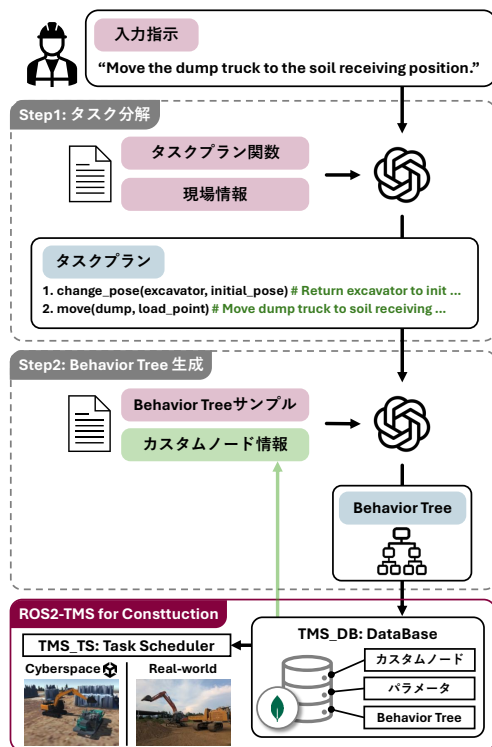


Fig. 2 System configuration diagram

3. タスク計画機構

タスク計画機構の概要図を図2に示す。Behavior Treeの生成プロセスは「タスク分解」と「Behavior Tree 生成」の2つのステップに分かれており、各ステップで1回ずつLLMによる生成を行う。高レイヤーなタスク分解と低レイヤーのBehavior Tree生成を組み合わせる手法は、LLM-as-BT-Planner³⁾によりその有効性が示されており、本手法はこれをROS2-TMS for Constructionの仕様に合うように拡張し、複数台の建設機械の連携を可能にしたものである。以下に各ステップについて詳述する。

タスク分解 ユーザから与えられた指示テキストをもとに、どの建設機械がどのような動作(タスク)を実行すればよいかを抽象的に表したタスクプランを出力する。タスクプランはPythonコードに似た形式であり、予め定められたタスクプラン関数とパラメータを用いて記述される。図2における`change_pose`や`move`がタスクプラン関数に、`initial_pose`や`load_point`がパラメータに該当する。また、そのタスクを実行すべき理由や動作の説明をコメントアウトの形式で明示する(Chain-of-Thoughtプロンプティング⁴⁾)。

指示内容から直接Behavior Treeを生成するのではなく、タスクプランを生成することによる意図解釈のステップを間に挟むことで、Behavior Tree生成の成功率を向上させる狙いがある。

Behavior Tree 生成 タスク分解で生成されたタスクプランやBehavior Treeのサンプルに加えて、ROS2-TMS for Construction向けに作られたBehavior Treeのカスタムノードに関する情報をTMS_DB経由でデータベースから取得して入力とし、XML形式で記述されたBehavior Treeを生成する。生成されたBehavior TreeはROS2-TMS for Constructionのデータベースに格納され、TMS_TSによって実行される。

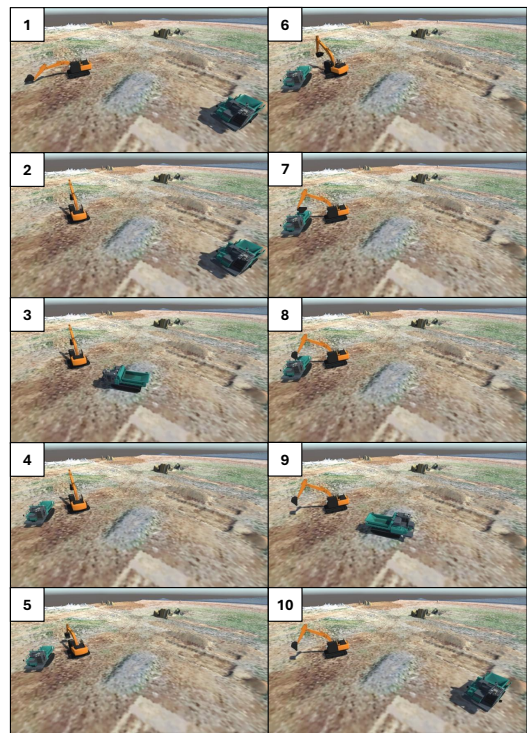


Fig. 3 Cyberspace experiment



Fig. 4 Real-world experiment

4. 実験

タスク計画機構の有効性を確認するため、油圧ショベルとクローラダンプの連携が必要となる施工を想定し、シミュレータ上で建設機械を動作させる実験を行った。タスク計画機構に入力した指示は「土山の土を掘って放土位置に運んでください」であり、この指示達成のためには油圧ショベルが土山から土を掘削してクローラダンプに積載し、クローラダンプが放土位置まで運んだのち放土するという2台の建設機械の連携を含んだ動作が求められる。生成を行うLLMとしてOpenAI社のGPT-5を採用し、シミュレータにはOperaSim-PhysX⁵⁾を利用した。

図3にシミュレーション上での建設機械の動作結果を示す。始めに油圧ショベルが初期姿勢に移行し(1-2)、クローラダンプが油圧ショベルに接近する(3-4)。油圧ショベルが土を掘削しクローラダンプに積載したのち(5-8)、クローラダンプが放土位置へ移動し放土を行った(9-10)。以上の流れで指示内容を達成することができ、本タスク計画機構の有効性を確認した。

また、実機実験を行い、シミュレーションと同様の動作を確認した。図4は実機実験において油圧ショベルがクローラダンプに土砂を積載している様子である。

5. 結言

本研究では、ROS2-TMS for Construction のタスク計画機構として大規模言語モデル (LLM) を用いた Behavior Tree 生成の機構を開発した。Behavior Tree の生成プロセスは、指示の意図を理解し必要な動作を逐次的に表すタスクプランの生成を担当する「タスク分解」と、タスクプランをもと Behavior Tree を生成する「Behavior Tree 生成」の 2 ステップに分かれている。シミュレーションの結果、タスク計画機構によって生成された Behavior Tree が指示内容を達成できたことから、タスク計画機構の有効性が確認された。今後は、シミュレータを用いて Behavior Tree の安全性をチェックする機能や、そのチェックの過程で問題が生じた際に Behavior Tree を修正する機能の実現を検討している。

6. 謝辞

本研究の一部は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第 3 期「スマートインフラマネジメントシステムの構築」JPJ012187 (研究推進法人: 土木研究所) によって実施されました。

References

- [1] 笠原 侑一郎, 井塚 智也, 柴田 航志, 前田 龍一, 高野 智也, 松本 耕平, 木村 駿介, 深瀬 勇太郎, 横島 喬, 山内 元貴, 遠藤 大輔, 橋本 毅, 倉爪 亮: 土工現場用 CPS プラットフォーム ROS2-TMS for Construction の開発- 第 3 報 タスク管理機構の実装-, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会 2024, (2024), 2A1-B05
- [2] Yuichiro Kasahara and Tomoya Itsuka and Koshi Shibata and Tomoya Kouno and Ryuichi Maeda and Kohei Matsumoto and Shunsuke Kimura and Yutaro Fukase and Takashi Yokoshima and Genki Yamauchi and Daisuke Endo and Takeshi Hashimoto and Ryo Kurazume: Task management system for construction machinery using the open platform OPERA, 2024 IEEE International Conference on Robot & Human Interactive Communication (RO-MAN), (2024), pp. 1929–1936
- [3] Ao. Jicong and Wu. Fan and Wu. Yansong and Swiki. Abdalla and Haddadin. Sami: LLM-as-BT-Planner: Leveraging LLMs for Behavior Tree Generation in Robot Task Planning, 2025 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), (2025), pp. 1233–1239
- [4] Wei. Jason and Wang. Xuezhi and Schuurmans. Dale and Bosma. Maarten and Xia. Fei and Chi. Ed and Le. Quoc V and Zhou. Denny: Chain-of-thought prompting elicits reasoning in large language models, Advances in neural information processing systems (2022), vol.35, pp. 24824–24837
- [5] pwri-opera: OperaSim-PhysX, <https://github.com/pwri-opera/OperaSim-PhysX>, Accessed: Sep. 10, 2025.