
Inbetriebnahme des OpenMANIPULATOR-X und Bedienung mittels Handlungsplanung mit Partial Order Planning Forward

Fabian Claus

20130004



Bachelorarbeit

Fachbereich Informatik
und Medien
Technische Hochschule Brandenburg

Betreuer: Prof. Dr. Jochen Heinsohn
2. Betreuer: Dipl. Inform. Ingo Boersch

Brandenburg, den TT.MM.JJJJ
Bearbeitungszeit: TT.MM.JJJJ - TT.MM.JJJJ

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	III
Abstract	IV
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 TODOS	1
2 Einleitung	2
2.1 Aufgabe	2
2.2 Abgrenzung/Motivation	2
3 Grundlagen	3
3.1 ROS2	3
3.1.1 Node	3
3.1.2 Message	3
3.1.3 Service	3
3.1.4 Action	3
3.1.5 Topic	3
3.2 OpenMANIPULATOR-X	3
3.3 Planung	4
3.3.1 STRIPS	4
3.3.2 PDDL	4
3.3.3 PDDL-Plugin für VS Code	4
3.3.4 Partial Order Planning	4
3.3.5 Partial Order Planning Forward	4
3.3.6 Behavior Tree	4
4 Konzept	5
4.1 Struktur Nodes	5
4.2 Planungsmodell	5
5 Implementierung	6
5.1 Inbetriebnahme Greifarm	6
5.1.1 Zusammenbau	6
5.1.2 Virtuelle Maschine	6
5.2 Steuerung OMX	7
5.2.1 OMX-Controller	7

5.2.2	Topics	7
5.2.3	Kinematik	7
5.2.4	Teleop	7
5.3	PlanSys2	8
5.3.1	PDDL-Domain	8
5.3.2	Action Nodes	9
5.3.3	Move Gripper Aktion	9
5.3.4	Control Gripper Aktion	9
6	Ergebnis	10
7	Abschnitt	11
7.1	Unterabschnitt	11
7.1.1	Unterunterabschnitt	11
8	Einfache Formatvorlagen	11
9	Zitieren und Referenzieren	11
10	Abbildungen	12
11	Tabellen	12
12	Formeln	13
13	Abkürzungen	13
14	Fazit	13
Literatur		14
A	Quellcode	15
A.1	Domain.pddl	15

Zusammenfassung

Eine Kurzzusammenfassung der Vorgehensweise und der wesentlichen Ergebnisse.

Allgemeine Merkmale

- **Objektivität:** Es soll sich jeder persönlichen Wertung enthalten.
- **Kürze:** Es soll so kurz wie möglich sein.
- **Verständlichkeit:** Es weist eine klare, nachvollziehbare Sprache und Struktur auf.
- **Vollständigkeit:** Alle wesentlichen Sachverhalte sollen enthalten sein.
- **Genauigkeit:** Es soll genau die Inhalte und die Meinung der Originalarbeit wiedergeben.

Abstract

Obige Zusammenfassung in englischer Sprache.

Abbildungsverzeichnis

1	Bausatz für den OpenMANIPULATOR-X	7
2	Fernsteuerung des OMX über die Tastatur	8
3	Siegel der Universität	12

Tabellenverzeichnis

1	Meine Tabelle	12
---	-------------------------	----

Abkürzungsverzeichnis

RCL ROS Client Library

ROS2 Robot Operating System 2

VM Virtuelle Maschine

ML Machine Learning

1 TODOS

- Neues Bild für Keyboard Teleop 5.2.4
- Bilder für Teleop Posen
- Bild für Servo Abdeckung vorgestanzt
- Überprüfen ob all Anhänge aktuell sind

2 Einleitung

Dieser Teil der Arbeit sollte folgende Inhalte haben:

- Einführung in die Problemstellung
- Motivation und Herleitung des Themas
- Aufbau der Arbeit

Hinweis: Es hat sich als hilfreich erwiesen, die Einleitung mit der Zusammenfassung bzw. dem Abstract und der Schlussfolgerung zu vergleichen. Damit stellt man sicher, dass diese inhaltlich im Bezug auf Zielsetzung und Motivation übereinstimmen. Der Umfang sollte ca. 5 % der gesamten Arbeit betragen.

2.1 Aufgabe

Im Rahmen der Bachelorarbeit soll der Greifarm OpenMANIPULATOR-X der Firma Robotis in Betrieb genommen sowie die Möglichkeiten der Steuerung erprobt werden. Weiterhin soll die Steuerung Mittels Handlungsplanung ermöglicht werden. Hierfür sind bestehende Bibliotheken und Frameworks zu evaluieren und ein ausgewähltes zu Implementieren.

2.2 Abgrenzung/Motivation

3 Grundlagen

3.1 ROS2

Robot Operating System 2 (ROS2) ist eine Sammlung von Bibliotheken und Werkzeugen für Robotik-Applikationen welche alle OpenSource sind. Die erste ROS2 Release-Version erschien im Dezember 2017 unter dem Namen Ardent Apalon **ros2docs**.

Es werden mehrere ROS Client Libraries (RCLs) zur Verfügung gestellt, welche den Zugriff auf die ROS2-API ermöglichen. Die RCLs für die Sprachen C++ und Python (rclcpp und rclpy) werden dabei direkt vom ROS2-Team verwaltet. Von der Community wurden weitere RCLs, unter anderem für die Sprachen C#, Swift und Rust, entwickelt.

Um die Entwicklung der RCLs zu vereinfachen und die Logik sprachenunabhängig zu machen werden Funktionalitäten als C Interfaces zugänglich gemacht, für welche in den RCLs Wrapper geschrieben werden.

3.1.1 Node

3.1.2 Message

3.1.3 Service

3.1.4 Action

3.1.5 Topic

3.2 OpenMANIPULATOR-X

Der OpenMANIPULATOR-X ist ein von der Firma ROBOTIS¹ nach den Prinzipien "OpenSoftware" und "OpenHardware" hergestellter Greifarm. OpenSoftware steht hierbei dafür, dass es ein OpenSource Projekt ist und auf dem OpenSource Projekt ROS2 basiert. OpenHardware steht dafür, dass die meisten Komponenten als STL-Dateien zur Verfügung stehen und als Ersatzteile oder zum Anpassen des Greifarms mittels eines 3D-Druckers selbst hergestellt werden können.

Der OMX(Greifarm?,Abk?) ist eine 5DOF (5 Degrees of Freedom) Plattform, welche mittels 5 Servomotoren² gesteuert wird. Dies ist aufgeteilt in 4DOF für den Arm sowie 1DOF für den Greifer. Es kann eine Last bis 500g getragen werden

¹<http://en.robotis.com>

²DYNAMIXEL XM430-W350-T

3.3 Planung

3.3.1 STRIPS

3.3.2 PDDL

3.3.3 PDDL-Plugin für VS Code

3.3.4 Partial Order Planning

3.3.5 Partial Order Planning Forward

(Coles u. a., 2010)

3.3.6 Behavior Tree

4 Konzept

In diesem Abschnitt wird der Ansatz beschrieben, mit dem ein Plan erzeugt und vom OMX ausgeführt werden soll.

4.1 Struktur Nodes

Um eine einfache sowie übersichtliche Steuerung des Greifarms zu ermöglichen wird die Funktionalität in mehrere ROS2 Nodes aufgeteilt. Generell werden folgende Funktionalitäten benötigt: der Planer, die Speicherung des aktuellen Zustands der Welt, die Ausführung des Plans sowie die Möglichkeit Eingaben zu verarbeiten und an die entsprechende Stelle weiterzuleiten.

Diese Aufteilung entspricht auch einer guten Aufteilung und Trennung der Verantwortungen um daraus ROS2 Nodes zu machen. Hier haben die Nodes folgende Verantwortlichkeiten:

Die Planungs-Node muss mit einer gegebenen Domäne und einem Problem eine einen Plan bestehend aus einer Reihe von Aktionen zurückgeben.

Die Welt-Node hält den aktuellen Zustand der Welt bzw. des Problems und muss diesen konsistent halten.

Die Ausführungs-Node muss entsprechend eines Plans die gegebenen Aktionen ausführen.

Die Eingabe-Node ermöglicht die Erstellung eines Problems mit einem Welt-Zustand und einem Ziel.

4.2 Planungsmodell

Für die Erstellung von Plänen wird eine Domäne im PDDL Format erstellt. In der Domäne werden die Aspekte des Stapelns von Blöcken mit denen des Greifers kombiniert. Zusätzlich werden *durative actions* genutzt um die Dauer der einzelnen Aktionen zu modellieren.

5 Implementierung

5.1 Inbetriebnahme Greifarm

Der OMX wird als Bausatz geliefert. Für die Inbetriebnahme ist daher der Zusammenbau und die Installation der entsprechenden Software nötig.

5.1.1 Zusammenbau

- Bausatz ca 40 Teile (ohne Schrauben)
- Rausbrechen Plastik bei Vorbereitung Servos
- Servos einzeln anschließen und per Dynamixel Wizard ID setzen

Der Bausatz des OMX besteht aus ca. 60 Teilen (ohne Schrauben, s. Abbildung 1). Einige der mit den Servomotoren mitgelieferten Teile werden dabei nicht benötigt, da der Bausatz des OMX diese auch enthält oder ersetzt (z.B. längere Kabel). Von allen Schrauben wurde außerdem Ersatz mitgeliefert.

Der Zusammenbau erfolgte nach der auf der Webseite verfügbaren Bauanleitung VERWEIS ANLEITUNG. Zu beachten ist, dass hier vorausgesetzt wird, dass den Servos bereits die IDs 11 (Basis des Greifarms) bis 15 (Greifer) zugewiesen wurden. Dies kann über die Software DYNAMIXEL Wizard³ gemacht werden: die Servos einzeln über das U2D2⁴ an den PC anschließen, die ID setzen und den Servo entsprechend markieren oder die ID merken. Weiterhin müssen bei den Abdeckungen der Servos 12 und 14 die vorgestanzten Abdeckungen herausgebrochen werden. Dies ist in der Anleitung leicht zu übersehen. Weiterhin wird angenommen, dass das Horn der Servos bereits angebracht ist. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Einkerbung an Horn und Servo übereinstimmen.

5.1.2 Virtuelle Maschine

- Ubuntu 20.04
- Auflösung Einstellung "keine"
- Installation ROS2 Foxy
- Installation OMX

Zur Nutzung des Greifarms wurde eine Virtuelle Maschine (VM) mit VirtualBox⁵ von Oracle aufgesetzt. Als Betriebssystem der VM wurde das für ROS2 Foxy empfohlene (ROS, 2021) Ubuntu 20.04⁶ gewählt. Danach wurde entsprechend der Anleitung für den OpenMANIPULATOR-X (Robotis, 2021) zuerst ROS 2 Foxy über das Installations-Script von ROBOTIS und im Anschluss die für den Greifarm benötigten Packages installiert.

³VERWEIS ODER LINK

⁴ERKLÄRUNG ODER VERWEIS HINZUFÜGEN

⁵<https://www.virtualbox.org>

⁶<https://releases.ubuntu.com/20.04/>



Abbildung 1: Bausatz für den OpenMANIPULATOR-X

5.2 Steuerung OMX

Die Steuerung des OMX erfolgt über die vom *open_manipulator_x_controller* zur Verfügung gestellten Topics und Services.

5.2.1 OMX-Controller

Der OMX-Controller ist ein Package, welches automatisch beim Installieren der für den OMX benötigten Software installiert wird. Er kann über die entsprechende Launch-Datei mit dem Befehl

```
ros2 launch open_manipulator_x_controller  
open_manipulator_x_controller.launch.py
```

gestartet werden.

5.2.2 Topics

5.2.3 Kinematik

5.2.4 Teleop

Mit einem laufenden OMX-Controller kann der OMX auch ohne extra Programmierung direkt ferngesteuert werden. Mögliche Geräte zur Steuerung sind die Tastatur sowie Playstation- und XBOX-Controller. Für ROS2 Foxy wird aktuell allerdings nur die Steuerung über die Tastatur unterstützt.

Der OMX kann dabei sowohl im Task Space als auch im Joint Space kontrolliert werden

5 Implementierung

(s. Abbildung 2). Zusätzlich gibt es 2 vordefinierte Posen (Init und Home) in die der OMX bewegt werden kann (s. Abbildung ??).

```
Control Your OpenManipulator!
-----
Task Space Control:
    (Forward, X+)
        W
    (Left, Y+) A    D (Right, Y-)    Z (Downward, Z-)
        X
    (Backward, X-)

Joint Space Control:
- Joint1 : Increase (Y), Decrease (H)
- Joint2 : Increase (U), Decrease (J)
- Joint3 : Increase (I), Decrease (K)
- Joint4 : Increase (O), Decrease (L)
- Gripper: Increase (F), Decrease (G) | Fully Open (V), Fully Close (B)

INIT : (1)
HOME : (2)

CTRL-C to quit

Joint Angle(Rad): [0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000]
Kinematics Pose(Pose X, Y, Z | Orientation W, X, Y, Z): 0.000, 0.000, 0.000 | 0.000, 0.000, 0.000, 0.000
```

Abbildung 2: Fernsteuerung des OMX über die Tastatur

5.3 PlanSys2

Martín u. a., 2021

Für die Implementierung der in ?? genannten Funktionalitäten wird das Framework **PlanSys2!** (**PlanSys2!**) genutzt. Es übernimmt dabei alle Funktionalitäten: die Verwaltung der Daten zur Domäne und dem aktuellen Problem erfolgt über die domain-expert und problem-expert Nodes. Die planer Node ist für die komplette Planung zuständig und die Executioner Node für die Ausführung des Plans.

Es müssen hier lediglich die Domäne erstellt sowie die tatsächliche Funktionalität der einzelnen Aktionen implementiert werden.

5.3.1 PDDL-Domain

- Durative Actions
- Gripper + Blockworld
- keine existential/negative Preconditions

Beim erstellen der Domäne ist zu beachten, das **popf!** (**popf!**) nicht alle Funktionen unterstützt, die mit PDDL beschrieben werden können. Dies beinhaltet unter anderem existentielle sowie negative Vorbedingungen. Die vollständige Liste ist auf ?? zu finden.

Das Wort Action im Namen der Nodes bezieht sich hier auf die Aktionen der Domäne, nicht auf ROS2 Actions.

5.3.2 Action Nodes

Obwohl in der Domäne mehr als 2 Aktionen beschrieben sind, beschränken sich die ausgeführten Aktionen auf ein bewegen des OMX sowie die Kontrolle des Greifers. Für diese wird jeweils eine Node erstellt. Damit diese Nodes von **PlanSys2!** genutzt werden können müssen sie von der Basisklasse `plansys2::ActionExecutorClient` erben. Da diese von **PlanSys2!** nur in C++ zur Verfügung gestellt wird, müssen auch die Aktionen in C++ implementiert werden.

In jeder Aktion muss die Methode `void do_work()` implementiert werden. Diese wird mit einem bestimmten Zeitintervall aufgerufen während die Aktion aktiv ist. Das Intervall wird im Konstruktor gesetzt (s. Zeile ?? in ??). Das Mapping einer Node zu einer Aktion erfolgt durch das Setzen des Parameters `action_name` nach dem Erstellen der Node (s. Zeile ?? in ??).

5.3.3 Move Gripper Aktion

5.3.4 Control Gripper Aktion

Die Logik Node zur Steuerung des Greifers wird in der Klasse `ControlGripperAction` (s. ??) implementiert. Da es vom OMX kein Feedback gibt, ob oder wann etwas gegriffen wurde, wird die Aktion mit einer fixen Wartezeit implementiert: wenn die Aktion gestartet wird, wird ein Request zur Steuerung des Greifers erzeugt (s. Zeile ?? in ??) und gesendet und nach einer bestimmten Zeit die Aktion beendet. Um unnötige Aufrufe der Methode während des Wartens zu verhindern wird die Wartezeit über das Zeitintervall zur Ausführung der Node gesetzt. Die Aktion wird hierdurch immer beim 2. Aufruf der Methode `do_work` beendet.

Zum Senden des Requests wird ein ROS2 Client für den Service `goal_tool_control` mit dem Typ `open_manipulator_msgs::srv::SetJointPosition` erstellt. Um sowohl die Aktionen zum Öffnen sowie Schließen des Greifers mit einer Node implementieren zu können wird ein Parameter eingeführt, welcher über die Launch-Datei gesetzt wird und die Bewegung des Greifers bestimmt.

6 Ergebnis

7 Abschnitt

Hier soll eine kurze Einführung erfolgen, die den Zusammenhang des Kapitels zur Arbeit herstellt.

Generelle Hinweise:

- eindeutige Begrifflichkeit verwenden
- auf logische Herleitung der Argumentation achten

Ein Hauptabschnitt - idealerweise sollten keine Abschnitte leer sein.

7.1 Unterabschnitt

Ein Unterabschnitt - idealerweise sollten keine Abschnitte leer sein.

7.1.1 Unterunterabschnitt

Ein Unterunterabschnitt - idealerweise sollten keine Abschnitte leer sein.

8 Einfache Formatvorlagen

Das ist fett gedruckter Text.

Das ist kursiver Text.

Auflistungen sind oft hilfreich für die Strukturierung:

- Erster Eintrag
- Zweiter Eintrag

Nummerierte Aufzählungen sind oft hilfreich für Reihenfolgen:

1. Erster Eintrag
2. Zweiter Eintrag

9 Zitieren und Referenzieren

Beiträge in Fachzeitschriften wie Clemen (1989, S. 12) oder Konferenzartikel wie He u. a. (2017, S. 6) werden auf diese Weise im Text zitiert. In anderen Fällen möchte man aber in Klammern zitieren (Clemen, 1989, S. 10), auch mit mehreren Autoren (Baumol und Wolfe, 1958, S. 3; Clemen, 1989, S. 15; He u. a., 2017, S. 12).

Die Seitenzahlen müssen angegeben werden (Chollet, 2018, S. 28). Bezieht sich das Zitat auf eine Textstelle, die sich über mehrere Seiten streckt, so sind diese entsprechend anzugeben: Chollet (2018, S. 28–29) bzw. Chollet (2018, S. 28–35)

So wird eine Webquelle zitiert: RStudio (2017). Es kann bei kurzen Informationen im Internet aber auch reichen die Adresse⁷ als Fußnote einzubetten.

Bei einem direkten Zitat muss der zitierte Text originalgetreu wiedergegeben werden. Rechtschreibfehler oder eine veraltete Orthographie werden unverändert wiedergegeben. „Der zitierte Text steht immer in Anführungszeichen“ (Chollet, 2018, S. 28).

So werden andere Teile der Arbeit referenziert: Kapitel 2, Gleichung 1 zeigt...

So verweisen wir auf eine Fußnote ⁸.

10 Abbildungen

Abbildungen erfordern das package *graphicx*. Idealerweise verwendet man Vektorgrafiken oder hochaufgelöste Bitmaps. Eine gute Variante ist das Verwenden von PDFs.



Abbildung 3: Siegel der Universität

11 Tabellen

Die Tabular-Umgebung gibt die Anzahl Spalten an, deren Orientierung, Breite und evtl. Zwischenlinien.

Tabelle 1: Meine Tabelle

col1	col2	col3
Multiple row	cell2	cell3
	cell5	cell6
	cell8	cell9

⁷<https://shiny.rstudio.com/tutorial/written-tutorial/lesson1/>

⁸dies ist eine Fußnote

12 Formeln

$$\sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$

13 Abkürzungen

Bei der ersten Verwendung wird die Abkürzung eines Fachbegriffs wie zum Beispiel Machine Learning (ML) eingeführt und daher ausgeschrieben. Bei der zweiten Verwendung der Abkürzung ML ist dies nicht mehr nötig. Die Abkürzungen sind in dem Abschnitt *Definition der Abkürzungen* einzupflegen. Das Abkürzungsverzeichnis ist alphabetisch anzuordnen. Bleibt das Abkürzungsverzeichnis leer, so kann dieser Abschnitt (Zeilen 164-173 im main.tex) gelöscht werden.

14 Fazit

In der Schlussfolgerung sollen

- die Themenstellung
- der gewählte Ansatz
- die Ergebnisse der Arbeit
- eine kritische Stellungnahme/Einschätzung
- nächste Schritte

deutlich werden.

Hinweis: Die Schlussfolgerung sollte mit der Zusammenfassung bzw. dem Abstract und der Einleitung abgeglichen werden. Es sollte immer eine Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse der eigenen Arbeit sein, die den Forschungsbeitrag darstellt. Der Umfang der Schlussfolgerung sollte ähnlich wie die Einleitung ca. 5 % der gesamten Arbeit betragen.

Literatur

- Baumol, William J und Philip Wolfe (1958). „A warehouse-location problem“. In: *Operations Research* 6.2, S. 252–263.
- Chollet, Francois (2018). *Deep Learning mit Python und Keras: Das Praxis-Handbuch vom Entwickler der Keras-Bibliothek*. MITP-Verlags GmbH & Co. KG.
- Clemen, Robert T (1989). „Combining forecasts: A review and annotated bibliography“. In: *International journal of forecasting* 5.4, S. 559–583.
- Coles, Amanda, Andrew Coles, Maria Fox und Derek Long (Jan. 2010). „Forward-Chaining Partial-Order Planning“. In: S. 42–49.
- He, Kaiming, Georgia Gkioxari, Piotr Dollár und Ross Girshick (2017). „Mask r-cnn“. In: *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*, S. 2961–2969.
- Martín, Francisco, Jonatan Ginés, Vicente Matellán und Francisco J. Rodriguez (2021). „PlanSys2: A Planning System Framework for ROS2“. In: *CoRR* abs/2107.00376. arXiv: 2107.00376. URL: <https://arxiv.org/abs/2107.00376>.
- Robotis (2021). *OpenMANIPULATOR-X*. URL: https://emanual.robotis.com/docs/en/platform/openmanipulator_x/quick_start_guide/#install-ros-on-pc (besucht am 03. 11. 2021).
- ROS (2021). *Installing ROS 2 on Ubuntu Linux*. URL: <https://docs.ros.org/en/foxy/Installation/Ubuntu-Install-Binary.html> (besucht am 03. 11. 2021).
- RStudio (1. Jan. 2017). *Welcome to Shiny*. URL: <https://shiny.rstudio.com/tutorial/written-tutorial/lesson1/> (besucht am 20. 10. 2017).

A Quellcode

A.1 Domain.pddl

```
(define (domain blockworld)
  (:requirements :strips :typing :adl :fluents :durative-actions)

  ;; Types ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
  (:types
    box
    gripper
    location
    stack
  );; end Types ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;

  ;; Predicates ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
  (:predicates
    (gripper_at ?g - gripper ?l - location)
    (box_at ?b - box ?l - location)
    (box_on ?b_above ?b_below - box)
    (gripper_open ?g - gripper)
    (is_holding ?g - gripper ?b - box)
    (clear ?b - box)
    (stack_empty ?s - stack)
    (location_above ?l_above ?l_below - location)
    (is_base_loc ?l - location ?s - stack)

  );; end Predicates ;;;;;;;;;;;;;;;;;
  ;; Functions ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
  (:functions

  );; end Functions ;;;;;;;;;;;;;;;;;
  ;; Actions ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;

  (:durative-action GRAB
    :parameters (
      ?g - gripper
      ?b - box
      ?l - location
      ?s - stack
    )
    :duration (= ?duration 0.25)
```

```

:condition (
  and
    (over all(gripper_at ?g ?l))
    (at start(box_at ?b ?l))
    (at start(gripper_open ?g))
    (at start(clear ?b))
    (at start(is_base_loc ?l ?s))
)
:effect (
  and
    (at end(not (box_at ?b ?l)))
    (at end(not (gripper_open ?g)))
    (at end(is_holding ?g ?b))
    (at end(stack_empty ?s))
    (at end(not(clear ?b)))
)
)

(:durative-action PLACE
  :parameters (
    ?g - gripper
    ?b - box
    ?l - location
    ?s - stack
  )
  :duration (= ?duration 0.25)
  :condition (
    and
      (at start(is_holding ?g ?b))
      (over all(gripper_at ?g ?l))
      (at start(is_base_loc ?l ?s))
      (at start(stack_empty ?s))
    )
  :effect (
    and
      (at end(box_at ?b ?l))
      (at end(not (is_holding ?g ?b)))
      (at end(gripper_open ?g))
      (at end(clear ?b))
      (at end(not(stack_empty ?s)))
    )
  )
)

```

```

(:durative-action STACK
  :parameters (
    ?g - gripper
    ?b ?b2 - box
    ?l ?l2 - location
  )
  :duration (= ?duration 0.25)
  :condition (
    and
      (at start(clear ?b2))
      (at start(is_holding ?g ?b))
      (over all(gripper_at ?g ?l))
      (at start(location_above ?l ?l2))
      (at start(box_at ?b2 ?l2))
    )
  :effect (
    and
      (at end(not(clear ?b2)))
      (at end(box_on ?b ?b2))
      (at end(clear ?b))
      (at end(box_at ?b ?l))
      (at end(not(is_holding ?g ?b)))
      (at end(gripper_open ?g))
    )
  )
)

```

```

(:durative-action UNSTACK
  :parameters (
    ?g - gripper
    ?b ?b2 - box
    ?l ?l2 - location
  )
  :duration (= ?duration 0.25)
  :condition (
    and
      (at start(clear ?b))
      (at start(gripper_open ?g))
      (at start(box_on ?b ?b2))
      (over all(gripper_at ?g ?l))
      (at start(box_at ?b ?l))
      (at start(box_at ?b2 ?l2))
    )
  :effect (

```

```

        and
            (at end(not(clear ?b)))
            (at end(not(box_on ?b ?b2)))
            (at end(clear ?b2))
            (at end(is_holding ?g ?b))
            (at end(not(box_at ?b ?l)))
            (at end(not(gripper_open ?g)))
        )
    )
)

(:durative-action MOVE-GRIPPER
  :parameters (
    ?g - gripper
    ?l_from ?l_to - location
  )
  :duration (= ?duration 1)
  :condition (
    and
      (at start(gripper_at ?g ?l_from))
    )
  :effect (
    and
      (at start(not (gripper_at ?g ?l_from)))
      (at end(gripper_at ?g ?l_to))
    )
  )
)

) ;; end Domain ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;

```