

遠隔操縦付き自動運転システムにおける自動駐車支援の検討

上谷 一将¹ 中條 直也²

概要: 自動車事故の低減, 環境問題への対応を背景として自動運転技術が盛んに行われている。しかし, 非整備環境などの道路では自動運転の技術は完成されていない。特に住宅周辺などでの非整備環境での自動駐車を行うことは容易ではない。そこで本研究では非整備環境での自動駐車について取り組む。AI が自動駐車できないと判断した駐車場については, いったん遠隔操作によって駐車する。その駐車経路や駐車可能判定基準を AI に学習させることで, 自動駐車機能向上を図る。本稿では, 仮想環境を用いて非整備環境の駐車場を作成し, 遠隔操作で作成した走行経路を用いて, 自動駐車を行うために必要な経路追従アルゴリズムの評価, 検証を行う。

キーワード: 自動運転, 非整備環境, 自動駐車, 仮想環境, 経路追従

Examination of Autonomous Parking Support in Autonomous Driving System with Remote Control

KAZUMASA KAMITANI¹ NAOYA CHUJO²

Abstract: Autonomous driving technology is widely studied to reduce car accidents and to cope with environmental problems. However, there is a problem that autonomous driving is not possible in undeveloped roads such as unpaved roads. It is not easy to carry out autonomous parking in such environments. For the parking lot which autonomous parking is not possible, the method for parking by remote control is proposed. The autonomous parking function is improved by learning the parking route by AI. In this study, some parking lots in undeveloped road environments are created using virtual space, and we evaluated an automatic parking system using the travel path created by remote control.

Keywords: autonomous driving, undeveloped roads, autonomous parking, virtual environment, route following

1. はじめに

自動車事故の低減, 環境問題への対応を背景として自動運転技術が盛んに行われている。ドイツの Mercedes-Benz 社 [1] やアメリカの Tesla 社 [2] では公道での実験が盛んに行われている。

しかし, アスファルトで整備されていない道路や, 標識のない道路などの非整備環境での自動運転技術も研究はされている [3]。しかしながら, すべての環境においては完成さ

れていない。また, 道路工事や信号機の故障など様々な環境下での自動運転は複数の要件により自動運転システムが正しく判断できないと挙げられる [4]。特に, 住宅周辺などでの非整備環境での自動駐車を行うことは駐車場所の認識, 判断と, 駐車場所までの走行経路と自動運転車の操縦が容易ではない。自動運転システムでは非整備環境でも判断し, 自動運転をしなければならない。

この問題を解決するために, 非整備環境での自動駐車には, 遠隔操縦を取り入れ, 駐車経路や駐車判定可能基準を人工知能で行い, 自動運転システムを手助けする必要があると考える。

しかし, 遠隔操縦を取り入れた自動駐車の研究はされて

¹ 愛知工業大学院
Graduate School, Aichi Institute of Technology
² 愛知工業大学
Aichi Institute of Technology

いるが、課題がある。Audi では、安全確認を目的に、自動駐車システムをスマートフォンのアプリケーションから実行できるが、車両制御はできない [5]。そのため、運転者が駐車可能な場所があると判断しても、自動駐車システムが駐車できないと判断した場所、自動駐車できない。よって、遠隔操縦を取り入れた人工知能の効果は未知数である。

遠隔操縦を取り入れた自動運転の問題点として、実車実験を行うと、事故などの危険性や遠隔操縦時の映像遅延や操縦遅延が発生し、正確な検証ができない。また、非整備環境の駐車場を容易に作成することができず、自動駐車可能な場所と不可能な場所を判断するために、実際に自動運転システムの自動駐車を行う必要がある。

以上の問題点を考慮した仮想環境を用いて実験を行う。仮想環境を用いることで、非整備環境の駐車場のモデルを容易に、多数作成することができる。また、事故などの危険性もなく、遅延も通信を行っていないため、少ないと考える。

非整備環境の駐車場を仮想環境上に作成し、自動運転システムを用いて自動駐車を行い、自動駐車ができない駐車場では、遠隔操縦を行い、駐車場所の判定を人工知能に学習させるシステムの提案する。

本稿では、遠隔操作を用いて作成した走行経路を用いて、自動駐車を行うために必要な自己位置推定アルゴリズムと経路追従アルゴリズムの評価、検証を行う。

2. 駐車支援の難しい場所

現在、様々な自動車に、スマートパーキングシステム [6] や、インテリジェントパーキングアシスト [7] など駐車支援システムが導入されている。その中でも、駐車支援ができない場所が以下の通り存在する。

- 駐車できる場所の白線がない時
- 通路幅が 5m 未満の道路
- 駐車できる場所の白線の周囲の自動車が白線の枠内に停車されていない
- 路面に段差や勾配がある時
- 低い障害物が駐車場所周辺に存在する時
- 自動車の姿勢が大きく傾いたとき

が挙げられる。しかし、駐車支援ができない場合でも運転者が操縦する場合は、駐車可能である。特に、路面に段差や勾配では、住宅の駐車場や、車庫などに多数存在している。

駐車支援ができない原因として、駐車場所を判定し、ステア角を求める際に、道路が平面と仮定し算出しているため、勾配や段差などの外力によって自動車の向きや位置がずれ、算出通りに走行できないと想定する。また、駐車場を長方形で判断しているため駐車場内に駐車に支障がない障害物がある場合でも、駐車不可能と判断していると想定する。

この問題を解決するために、駐車可能な場所の判断を人

工知能を用いて学習させ、駐車場所の判断の強化が必要である。その他に、自動車が外力により傾いた状態でも算出した走行経路通りステア角を制御する必要がある。

3. 自動運転システム学習方法

自動運転システムを学習させるためには 2 通りの方法が挙げられる [4]。

第 1 の方法は、自動運転システムが正常に判断できない場所を取り上げて、ネットワーク上で他の車両に共有を行い、道路環境のシナリオを共有する方法がある [4]。この場合、多数の自動運転システムを搭載した自動運転車を用いて実験を行うことを目的としている。今回は、1 台の自動運転車を用いて検証を行うため、この方法は適切でない。

第 2 の方法は、自動運転システムが正常に判断できない状況になった場合、遠隔操縦者にセンサ情報や車両情報を送り、遠隔操縦を行って判断方法や判断のしきい値を人工知能に学習させる方法がある [4]。この場合、1 台の自動運転車を用いて実験を行うことができる。今回、1 台の自動運転車と自動運転システムを用いて自動駐車を検討をするため、こちらの方法を使用する。

4. 提案する遠隔操縦付き自動運転システム

本章では、図 1 のように遠隔操縦付き自動運転システムを提案する。

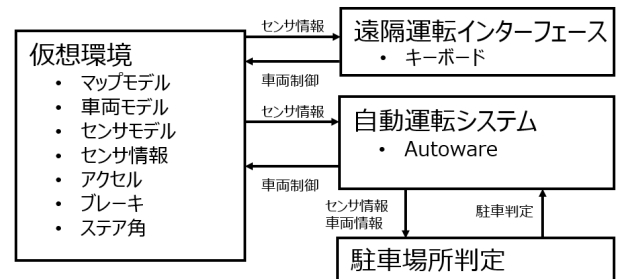


図 1: 提案する遠隔操縦付き自動運転システム構成図

使用する仮想環境は Unity[8] を用いた。LGSVL Simulator[9] を用いて車両モデルやセンサモデル、マップモデルの導入を行う。

車両の遠隔操縦を行えるように、キーボードを用いて車両を操縦できるようにする。

自動運転システムは、自動運転ソフトウェアプラットフォームの Autoware[10] を使用する。仮想環境から得られたセンサデータを Autoware が受け取り、自動運転車がどこにいるか推定する自己位置推定や、車両周辺の物体認識などを行い、目的地までの経路計画をし自動運転を行う。

仮想環境内で自動運転を行い、自動駐車不可能場所では

遠隔操縦で駐車させ、その時の走行経路と駐車場所を人工知能に学習させる。

提案するシステムが有効に機能するか確認するために、3段階に分けて検証を行う。

- (1) 遠隔操縦の経路の自動追従
- (2) 目標位置の指定、経路の自動生成による自動追従
- (3) 人工知能を用いた駐車場所判断と車両制御

(1) では、自動運転システムが非整備環境でも自動運転可能かどうか検証する。この段階では、遠隔操縦を用いて経路生成を行い、その経路を沿うように経路追従をし、評価、検証を行う。

(2) では、自動運転システムの自動駐車が非整備環境でも走行経路の自動生成ができ、その経路に沿って走行させたとき、問題がないか検証する。

(3) では、人工知能を導入し、学習した情報から正常に判定できているか検証する。

本稿では (1) について評価、検証実験を行った。実験環境は、図 1 の仮想環境と遠隔操縦インタフェース、自動運転システムを使用する。

5. 実験

非整備駐車場で駐車する上で、自動運転システムが推定した自己位置が正確である必要である。また、計画した走行経路に正確に沿って追従する必要がある。そのため、Autoware で使用可能な自己位置推定アルゴリズムと経路追跡アルゴリズムの精度と処理時間を確認した。

実験方法として、図 2 のコース①、②、③を走行し、その経路に沿って経路追従アルゴリズムを使用し、車両を制御する。今回遠隔操作で走行した経路に沿って経路追従を行う想定で実験した。そのため、走行経路に多少のばらつきがある。駐車方法は前向き駐車を行った。地面は砂利道を想定し、起伏のある道とした。コース①では、勾配のある駐車場を想定した。勾配は 3% とした。コース②では、駐車場と地面の間に段差のある駐車場を想定した。高さは 25mm の段差で端は円弧になっている。コース③では、車庫を模した駐車場を想定した。幅は参考文献 [11] から、2.5m としている。

使用した実験環境は表 1 とする。

表 1: 実験環境

OS	Ubuntu 16.04
CPU	Intel Core i9-9900K CPU @ 3.60GHz × 16
メモリ	32GB
GPU	GeForce RTX 2080

評価方法として、Autoware を用いて自己位置推定を行

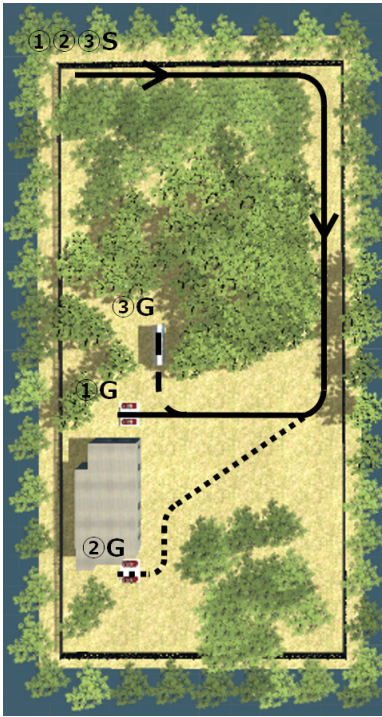


図 2: 実験環境

い、コース①、②、③を元に経路追従アルゴリズムを使用して経路追従を行う。その時の自己位置推定アルゴリズムの精度と制御時間、経路追従アルゴリズムの走行経路や制御時間を用いて評価した。初めに Autoware に実装されている自己位置推定アルゴリズム NDT と、経路追従アルゴリズム Pure Pursuit と MPC について説明する。

5.1 NDT

Normal Distributions Transform (NDT) [12] とは、地図データを一定の大きさに分割し、3次元座標の平均、分散を計算する。その後、正規分布を行う。次に、センサから得られた点群データのポイントに対して、既存点群の対応する位置との一致度を表す評価関数を最大にする座標変換をニュートン法により算出することで、位置を修正する [13]。その結果、センサがつけられた物体の位置と方向を知ることができる。

5.2 Pure Pursuit

Pure Pursuit とは、図 3 のように自動車の現在の位置から目標点に移動させるための曲率を前方目標点と自動車の位置の差と横方向目標点の差を用いて計算して自動車を移動させる追従アルゴリズムの 1 つである [14]。

このアルゴリズムは、計算量が少なく、実装が容易な利点がある。しかし、以下の 2 点に問題が挙げられている [14]。

- (1) 高速で曲率の急激な変化が要求され、車両の後輪が

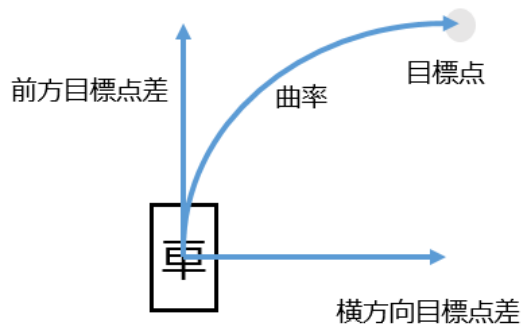


図 3: Pure Pursuit アルゴリズム概要

滑る。

(2) ステアリングの 1 次遅れにより、車両が希望通りに早く経路を閉じない

駐車を行う場合、低速だが曲率が急激に変化すると考える。そのため、自動駐車を行えるアルゴリズムであるか検証する必要がある。

5.3 MPC

MPC(Model Predictive Control) とは、予測するために必要な特性を持つモデルを使用し、操作変数の変位に対するプロセスの応答を予測する追従の 1 つである。操作変数は、目標を最小にするように選択を行い最適化する [15] [16]。

このアルゴリズムは、ロバスト性や予測するためのモデル構築、計算量に問題があると挙げられている [16]。そのため、自動運転車を制御するまでの計算時間を検証する必要がある。

5.4 自己位置推定実験

仮想環境を用いて図 2 のコース①～③を自己位置推定アルゴリズムを実行し走行した。走行速度は 8km/h とする。

5.4.1 実験結果

自己位置推定した結果を表 2 に示す。

表 2: 自己位置推定実験結果

コース	TP	平均処理時間 (ms)	最大処理時間 (ms)
①	3.43	16.7	146.8
②	3.42	17.1	137.8
③	3.41	16.6	146.7

表 2 の TP は、Transformation Probability のことで、既存点群とセンサ情報のスキャンマッチングの度合いを示す指標であり、値が大きいくほど正確に自己位置推定ができていることを示す [13]。参考文献 [13] から 2.0 以上の時自己位置推定が安定していると記されている。また、センサ

の計測周期は 10Hz のため、100ms 以内に自己位置推定の処理を行えば、リアルタイムに自己位置推定できるという [13]。また、平均処理時間からおおよそ 37.0mm 毎に自己位置推定が行われている。

この結果から、TP が 3.4 以上から正確に自己位置推定アルゴリズムが機能していることを確認した。また平均処理時間がおおよそ 16.8ms から、リアルタイムに処理されている。しかし、最大処理時間では、すべての走行場所で、100ms を超えている。一時的に処理時間が上がっており、リアルタイムで自己位置推定ができていない場面がある。コース①、②、③はすべて砂利道の直進時に最大処理時間に達した。そのため、砂利道を走行すると大きくなると考える。しかし、最大処理時間時の TP は①では 3.46、②では 3.41、③では 3.61 となった。そのため、正確に自己位置推定できていることがわかる。

5.5 経路追従実験

仮想環境を用いて図 2 のコース①～③を。Pure Pursuit と MPC を用いて経路追従を行う。走行速度は 8km/h とする。

5.5.1 実験結果

コース①～③(basedata) を元に、Pure Pursuit と MPC を用いて経路追従した際の走行経路を図 4、図 5、図 6 に示す。

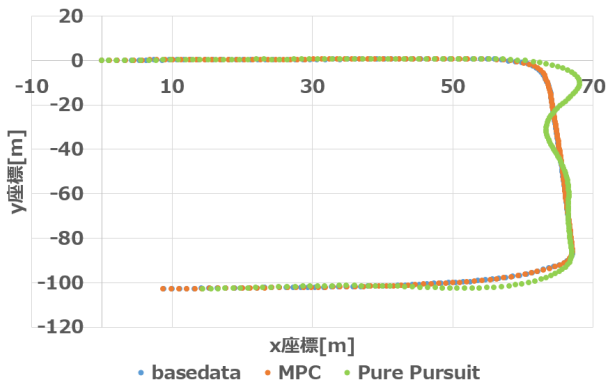
図 4b、図 5b、図 6b はそれぞれコース①、②、③の駐車する時の走行経路である。x 座標、y 座標がそれぞれ 0 の時、自動運転開始位置である。グラフから、Pure Pursuit の走行経路は指定した経路 (basedata) の終点の手前で切れていることがわかる。また、右折時に大きく外回りしていることが分かる。一方 MPC では、指定した経路 (basedata) と重なっていることがわかる。

この結果から、非整備環境内で正確なカーブと駐車位置に停止できない Pure Pursuit では、自動駐車を行うための経路追従アルゴリズムに不向きであることがわかる。指定した経路より手前に停止した原因として、目標点が指定した経路の終点に移動し、位置が固定になったため、停止する制御に入ったためと考える。一方 MPC は、非整備環境でも、急なカーブでも正確に追従し、勾配のある駐車場所や、段差のある駐車場所でも、停止位置のずれが少ないことから、自動駐車を行うための経路追従アルゴリズムに向いていると考える。

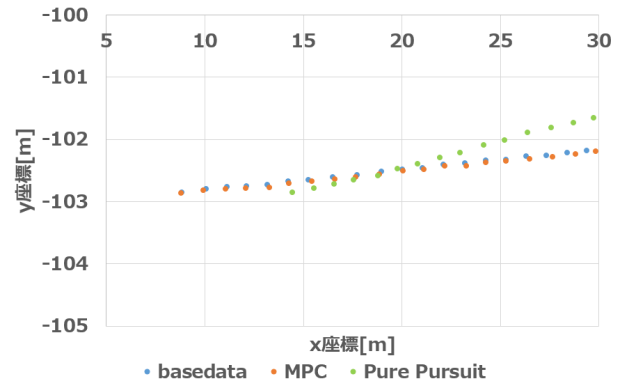
また、MPC は計算量に問題があるため、実行したときの処理時間を計測した。その結果は表 3 である。

表 3 から、平均処理時間が 2.46ms であり、最大処理時間が 5.24ms である。

この結果から、表 2 の処理時間と比較して、約 1/6 倍の

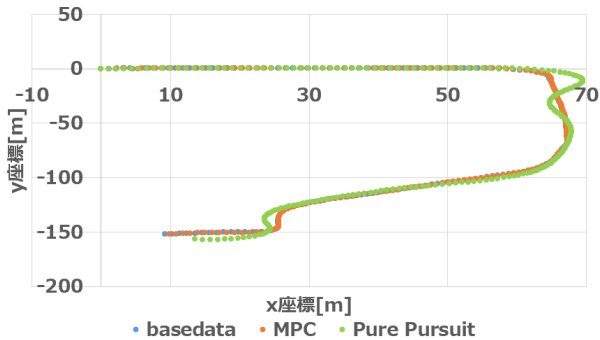


(a) 走行経路比較

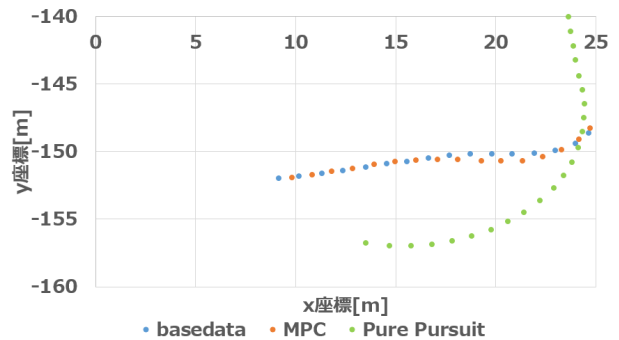


(b) 駐車時拡大図

図 4: コース①走行実験結果

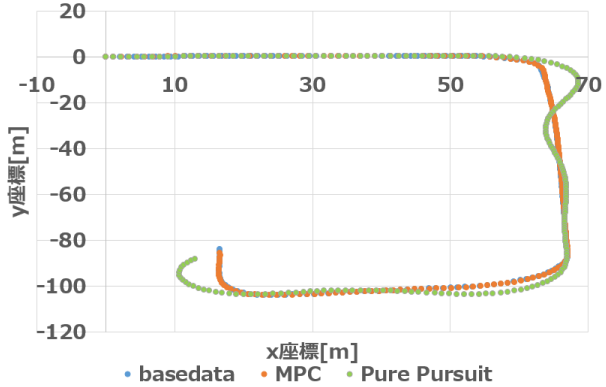


(a) 走行経路比較

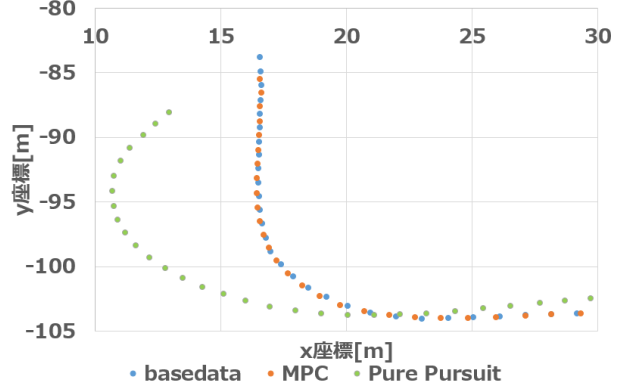


(b) 駐車時拡大図

図 5: コース②走行実験結果



(a) 走行経路比較



(b) 駐車時拡大図

図 6: コース③走行実験結果

表 3: MPC 処理時間

コース	平均処理時間 (ms)	最大処理時間 (ms)
①	2.57	5.13
②	2.39	5.53
③	2.41	5.08

時間と分かる。そのため、今回の実験環境では、MPC の計算量に問題がないと考える。以上の点から、非整備環境でも自動運転システムの経路追従として使用できることがわかる。

6. おわりに

本研究では、自動駐車を支援するシステムを提案し、遠隔操縦を用いて作成した走行経路を用いて、自動運転システムが非整備環境で有効に機能するか検証を行った。自己位置推定アルゴリズムの精度と処理時間、経路追従アルゴリズムの Pure Pursuit と MPC の走行経路と処理時間を使用し仮想環境上で検証実験を行った。その結果、使用した自動運転システムが非整備環境での自動運転が有効に機能することが分かった。経路追従アルゴリズムでは MPC の方

が自動駐車に向いていることが分かった

今後の課題として、段階分けした検証方法の残りを検証するとともに、自動駐車システムでのシステム全体の平均処理時間と検証を行う。

7. 謝辞

本研究は、「知の拠点あいち」重点研究プロジェクト (3期) の支援で実施されたものである。

参考文献

- [1] Mercedes, “Mercedes-Benz Innovation: Autonomous Driving.” <https://www.mercedes-benz.com/en/next/automation/> (2019 年 10 月 22 日確認)
- [2] Tesla, “オートパイロット | テスラ ジャパン - Tesla” <https://www.tesla.com/jp/autopilot> (2019 年 10 月 22 日確認)
- [3] Ort, Teddy, Liam Paull, and Daniela Rus. “Autonomous vehicle navigation in rural environments without detailed prior maps.” 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2018.
- [4] Kang, Lei, et al. “Augmenting self-driving with remote control: Challenges and directions.” Proceedings of the 19th International Workshop on Mobile Computing Systems & Applications. ACM, 2018.
- [5] Audi “Audi A8 Audi AI parking pilot and garage pilot” <https://www.audi-technology-portal.de/en/electrics-electronics/driver-assistant-systems/audi-a8-audi-ai-parking-pilot-and-garage-pilot> (2019 年 7 月 30 日確認)
- [6] HONDA, “スマートパーキングアシストシステム | テクノロジー図鑑 | Honda” <https://www.honda.co.jp/tech/auto/hondasmart-parking/> (2019 年 9 月 26 日確認)
- [7] TOYOTA, “PRIUS 取扱書” 2016
- [8] Unity 社, “製品 - Unity” <https://unity3d.com/jp/unity> (2019 年 10 月 18 日確認)
- [9] LG 社, “LGSVL Simulator — An Autonomous Vehicle Simulator” <https://www.lgsvlsimulator.com/> (2019 年 10 月 15 日確認)
- [10] PDSL 社, “自動運転ソフトウェア:Autoware” <https://www.pdsl.jp/fot/autoware/> (2018 年 10 月 16 日確認)
- [11] 国土交通省. “駐車場設計・施工指針について” 1992
- [12] Biber, Peter, and Wolfgang Straer. “The normal distributions transform: A new approach to laser scan matching.” Proceedings 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2003)(Cat. No. 03CH37453). Vol. 3. IEEE, 2003.
- [13] 橘川雄樹, et al. “自動運転実証実験: 位置推定精度の検証 (特集 IoT, Big data と交通).” IATSS review 42.2 (2017): 130-135.
- [14] Conlter, R. Craig. “Implementation of the Pure Pursuit Path'hcking Algorithm.” (1992).
- [15] Garcia, Carlos E., David M. Prett, and Manfred Morari. “Model predictive control: theory and practice—a survey.” Automatica 25.3 (1989): 335-348.
- [16] Nikolaou, Michael. “Model predictive controllers: A critical synthesis of theory and industrial needs.” (2001): 131-204.