

Учебная задача моделирования системы управления торможением мобильной роботизированной платформы

М.М.Татур, М.М.Лукашевич, М.М.Шавердо

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
 кафедра ЭВМ.

Ключевые слова: мобильная роботизированная платформа, нелинейное управление, компьютерное моделирование.

В работе представлены постановка учебной задачи нелинейного управления и варианты ее решения, которые предназначены для использования в университетских курсах по интеллектуальной робототехнике.

Введение

При проектировании робототехнических комплексов типовой задачей является задача нелинейного управления исполнительными устройствами. Нелинейность может проявляться как следствие адаптивности принятия решений в тех случаях, когда система в реальном времени реагирует на свое состояние и/или на состояние внешней среды.

При изучении (или при проектировании) алгоритмов нелинейного управления возникает определенная проблема. Так, изучаемый алгоритм можно исследовать (или демонстрировать) только в динамике и только в условиях взаимодействия объекта управления с внешней средой. Но использовать реальный объект или реальную внешнюю среду, особенно на ранних стадиях проектирования, практически невозможно. Поэтому, применяют компьютерное моделирование с использованием современных универсальных систем, таких как MathLab, MathCAD и др., либо специально разработанных программ. При моделировании важно не только владеть аппаратом моделирования, но и корректно ставить модельные задачи. Именно этому посвящается настоящая работа. А поскольку рассматриваемая задача относится к разряду «учебных», то к ней предъявляются дополнительные требования, такие как наглядность и простота: чтобы обучаемые могли интуитивно понимать суть методологии без обращения к сложным математическим выкладкам или специальным знаниям.

1. Постановка задачи

Пусть платформа движется с начальной скоростью V_0 , и на расстоянии S_0 от препятствия включается автомат торможения. Платформа должна плавно остановиться в непосредственной близости от препятствия. Алгоритм управления торможением A постоянно получает текущие значения скорости v и расстояния $S_{кон}$, оставшегося до препятствия, и вычисляет усилие F , прикладываемое к системе торможения (Рис.1).

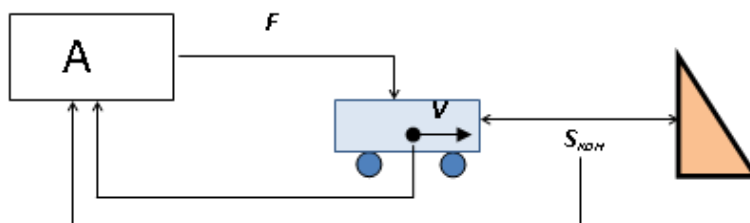


Рис. 1 – Мнемосхема учебной задачи на разработку алгоритма управления торможением мобильной платформы

Требуется предложить алгоритм управления торможением, разработать математическую модель внешней среды и провести серию модельных экспериментов, в ходе которых оценить качество управления.

2. Модель внешней среды

Решение задачи следует начинать с построения модели внешней среды. На начальном этапе исследования, упростим модель и абстрагируемся от массы платформы, инерционных эффектов, инструментальных ошибок измерений параметров и др. факторов, объективно влияющих на процесс торможения. В идеальном случае будем полагать, что сила F и замедление a – прямо пропорциональны, т.е. $F \propto a$ и мы, теоретически, можем «обеспечить» любое необходимое замедление.

При этом, обучаемым предлагается опираться на знания средней школы, т.е. оперировать категориями: скорость, расстояние, время, ускорение (замедление), а для расчета текущих значений v и $S_{кон}$ в модели «внешней среды» использовать известные формулы замедленного движения. Тогда общую модель можно представить, как показано на рис. 2.

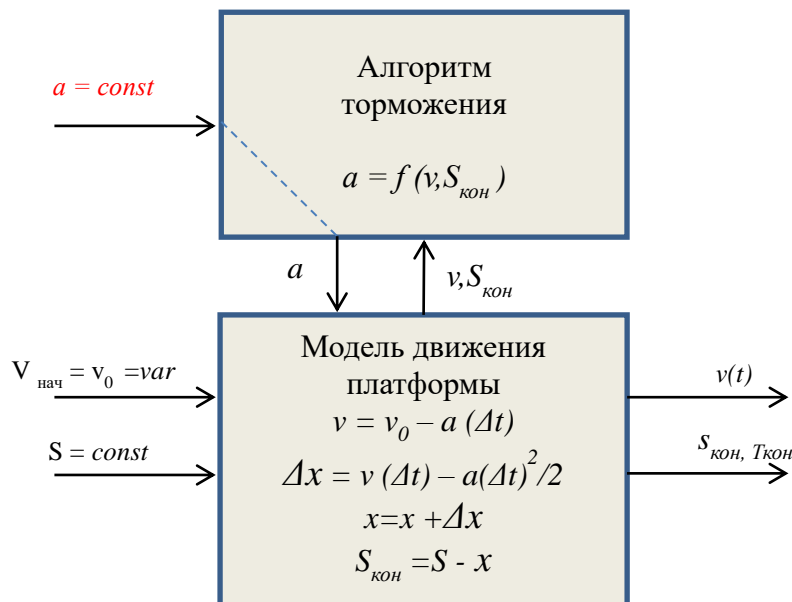


Рис.2 – Схема упрощенной математической модели процесса торможения мобильной платформы

На данном рисунке в явном виде модель разделена на две части. Первая – «Модель движения платформы», которая рассчитывает оставшееся расстояние до препятствия и текущую скорость, является моделью внешней среды. Вторая часть – представляет собой алгоритм управления торможением.

3. Алгоритмы управления торможением

Качество управления торможением, по сути, является субъективным понятием и может трактоваться достаточно широко [1-3]. Чтобы перейти к конкретным рассуждениям предлагается рассмотреть несколько вариантов (или режимов) торможения и изобразить семейство соответствующих графиков зависимости скорости от времени торможения, рис.3. На рисунке красным цветом изображен график равнозамедленного движения. Понятно, что данный вариант

не обеспечивает плавности остановки в начальной и конечной точках. Также очевидно, что данный режим не обеспечит адаптивность торможения в зависимости от внешних факторов.

Также на рисунке приведены возможные варианты режимов торможения, при которых обеспечивается плавность остановки, причем конечное время может быть как большим ($T_{кон3}$), так и меньшим ($T_{кон1}$), по сравнению равнозамедленным (простейшим) вариантом. Каждому из вариантов будет соответствовать свой алгоритм нелинейного управления. Если выбрать один из вариантов в качестве эталонного, тогда под качеством управления будем понимать расхождение графиков реализуемого и эталонного режимов. Количественно, это расхождение может быть оценено известными способами в результате компьютерного моделирования системы в целом [4,5].

При необходимости несложно для каждого режима торможения получить график зависимости $S_{кон}$ от времени.

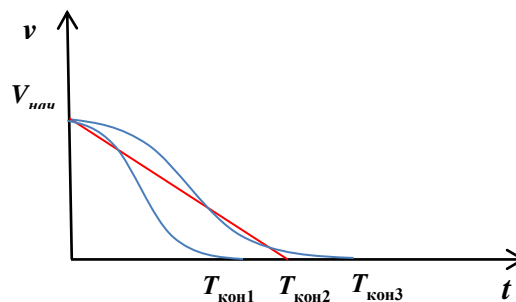


Рис.3 –Семейство графиков, характеризующих различные варианты торможения

В простейшем случае, для построения алгоритмов управления могут быть применены эвристические подходы, основанные аппроксимации графика эталонного варианта торможения линейными и/или нелинейными функциями. В дальнейшем, при более глубоком изучении теории управления для разработки алгоритмов могут быть использованы специальные знания из теории регуляторов (ПИД-регуляторы, нечеткие контроллеры) [6].

4. Усложнение модели торможения

После того, как модель будет протестирована и отлажена для идеального случая ($F \propto a$) можно рассматривать более сложные варианты влияния внешней среды на торможение. Напомним, что в реальных условиях на замедление влияют такие факторы, как инерционность (масса) платформы, уклон, сцепление с поверхностью, время срабатывания исполнительных устройств системы торможения и др. Но в приведенной модели такие параметры как масса платформы, коэффициент сцепления с дорогой, процент уклона и т.п. не содержатся. Тем не менее, существует возможность косвенной имитации влияния названных факторов на замедление, например через введение времени запаздывания в алгоритм торможения и др. способы. В результате зависимость между прикладываемой силой F и замедлением a становится нелинейной.

Для таких, усложненных моделей внешней среды, алгоритмы управления должны проявлять адаптивность, т.е. «стремиться» остановить платформу не смотря на отрицательное влияние внешних факторов. И как раз в этих случаях выявляются сильные и слабые стороны разрабатываемых алгоритмов.

На рис. 4 приведены результаты моделирования одного из алгоритмов адаптивного управления торможением, когда замедление a не пропорционально силе F , например: а) в системе наблюдается запаздывание срабатывания исполнительных устройств; б) на некотором участке отсутствует сцепление колес с дорогой.

В первом варианте мы видим, что алгоритмы хоть с запаздыванием, но обрабатывают общую динамику снижения скорости. Во втором варианте мы наблюдаем «стремление» алгоритма компенсировать отсутствие снижения скорости на скользком участке дороги.

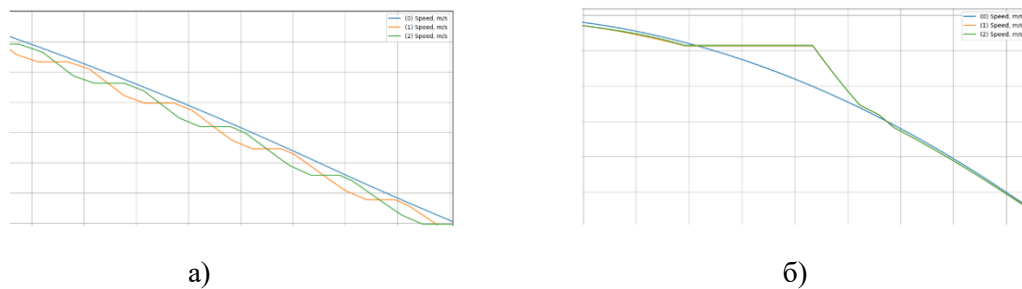


Рис.4. – Результаты моделирования адаптивных алгоритмов торможения в усложненной модели внешней среды: а) с временной инерционностью срабатывания исполнительных устройств; б) с имитацией участка дороги с нулевым сцеплением.

Заключение

В настоящей работе предложена учебная задача моделирования нелинейного процесса управления торможением. Очевидно, что требование $S_{кон} \rightarrow \min$ напрямую связано с вероятностью аварии, т.е. чем ближе $S_{кон} \rightarrow 0$, тем вероятнее случай столкновения платформы препятствием. В работе этот аспект не рассматривался. Также, очевидно, что требование $T_{кон} \rightarrow \min$ входит в противоречие с требованиями $S_{кон} \rightarrow \min$ и плавности останова. Всегда можно задать достаточно малое время, за которое обеспечить плавную остановку реальной системы станет невозможным. Оптимизация принятия решений по нескольким критериям также не рассматривалась.

При кажущейся простоте настоящая задача отражает методологию моделирования в целом и может быть усложнена за счет специальных алгоритмов управления и детализирована относительно влияющих факторов внешней среды. Также очевидно, что по аналогии можно сформулировать и решать задачи моделирования в других приложениях, например управлением поворота, управлением акселератором и т.п.

Литература

- [1] Brake System Modeling and Control. University of California/ J.K Hedrick, M. Uchanski. – Berkeley, USA, 2001. (<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.571.9831&rep=rep1&type=pdf>)
- [2] Ким, Д. Алгебраические методы синтеза систем автоматического управления / Д. Ким. – М.: Физматлит, 2014 – 163 с (<https://books.google.by/books?id=O8t3CwAAQBAJ&lpg=PP1&hl=ru&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>)
- [3] Brake System Modeling, Control And Integrated Brake/throttle Switching Phase I. University of California / J.K. Hedrick, J.C. Gerdes, D.B. Maciuga, D. Swaroop – Berkeley, USA, 1997. (<https://cloudfront.escholarship.org/dist/prd/content/qt02b8f7q2/qt02b8f7q2.pdf?t=kro33h>)
- [4] Dynamic Braking Control for Accurate Train Braking Distance Estimation under Different Operating Conditions / H. A. Ahmad, Blacksburg, VA, USA, 2013 (https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/19322/Ahmad_HA_D_2013.pdf;sequence=1)
- [5] Potapovs, A., Mors-Jaroslavcevs, A., Ļevčenkovs, A., Gorobecs, M. Smooth Braking of Train Using Adaptive Control Algorithms on Embedded Devices. In: Riga Technical University 53rd International Scientific Conference: Dedicated to the 150th Anniversary and the 1st Congress of World Engineers and Riga Polytechnical Institute / RTU Alumni: Digest, Latvia, Riga, 10-12 October, 2012. Riga: RTU, 2012, pp.135-135. (<https://ortus.rtu.lv/science/en/publications/13714>)
- [6] M.D. PHUNG, Th. V. Th. NGUYEN, C. H. QUACH, Q. V. TRAN Development of a Tele-guidance System with Fuzzybased Secondary Controller/2010 11th. Int. Conf. Control, Automation, Robotics and Vision Singapore, 5-8th December 2010. P.1826-1830.