



UvA-DARE (Digital Academic Repository)

Dynamic delay management at railways: a Semi-Markovian Decision approach

Al Ibrahim, A.

Publication date
2010

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Al Ibrahim, A. (2010). *Dynamic delay management at railways: a Semi-Markovian Decision approach*. Thela Thesis.

General rights

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <https://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

Динамичное разрешение конфликтных ситуаций и урегулирование задержек на железнодорожных сетях

Диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук (Ph.D.).

Амстердамский университет, факультет Экономики и Бизнеса. Май 2010

Железнодорожная сеть Нидерландов относится к одной из самых загруженных сетей мира. По этой сети проходит большое количество пассажирских и грузовых перевозок. В расписании движения поездов часто планируются короткие промежутки времени между поездами. Взачастую этот интервал состоит лишь из трех-четырёх минут. В случае отклонений или опоздания поезда, задержка может мгновенно привести к последствиям, влияющим на движение других поездов, что нередко наблюдается на практике. Такие задержки и конфликты между поездами наносят огромный ущерб экономике Нидерландов. Кроме того, по оценкам экспертов следует, что спрос на железнодорожный транспорт растёт и будет расти и в будущем, что приведет к росту объема железнодорожных перевозок. Эта тенденция наблюдается как в пассажирском, так и в грузовом секторах. Для того чтобы суметь справиться с такой повышенной деятельностью, необходимо повысить эксплуатационную вместимость сети. Строительство новых железных дорог является очень дорогим решением данной проблемы. Кроме того, длительный процесс строения новой инфраструктуры даёт эффект только через несколько лет. Намного эффективнее будет рассмотреть новые возможности, которые могут быть осуществимы в пределах ныне действующей инфраструктуры.

Голландские железнодорожные ведомства, а также и правительство Голландии осознают, что способ действий, используемый в данный момент, неадекватно подготовлен к будущему. График следования поездов, который в стандартном и в обязательном порядке составляется с целью обеспечения бесконфликтного движения поездов, в будущем может привести к понижению пропускной способности сети Нидерландов. В качестве примера здесь могут быть приведены пересадки пассажиров из поезда в поезд, которые предусмотрены расписанием. Эти пересадки приводят к тому, что поезда ждут друг друга, при этом занимая ценную инфраструктуру.

В 2008 году правительство Голландии сформулировало проект "Высокочастотное железнодорожное движение" (ВЖД), который направлен на существенное повышение количества железнодорожных перевозок в пределах наиболее плотно населенной части Голландии, носящей имя Randstad¹.

Это новшество приведет систему железных дорог к сближению с системой, применяющейся в сетях метро, где пассажирам не требуется запоминать расписание поездов и не нужно беспокоиться успевать на пересадку, ведь в такой сети среднее время ожидания до следующего поезда незначительно. Однако более важное преимущество внесения этого новшества состоит в том, что эта программа способствует увеличению пропускной способности сети Голландии.

К сожалению, у такой системы есть и отрицательный элемент. Малый промежуток времени между поездами способствует повышению уязвимости сети, так как задержка одного поезда скорее приведет к возникновению железнодорожных конфликтов.

ProRail - это государственное ведомство, которое занимается обслуживанием сети национальных железных дорог и уполномочено обеспечить ее функционирование и дальнейшее развитие. Эта организация является владельцем железнодорожной инфраструктуры и ежегодно выдает концессии различным операторам на ее использование. Кроме того, ProRail управляет железнодорожным транспортом в Голландии и регулирует конфликты между поездами. В случае возникновения конфликтов ProRail разрешает их в соответствии с руководством (регламентом), которое носит название TAD. В сущности, TAD является документом, содержащим указания для поездных диспетчеров, которые определяют порядок следования поездов. Этот порядок зависит от задержек и заранее установлен для ряда конфликтных ситуаций.

К сожалению, не все ситуации предусмотрены этим документом, что приводит к тому, что диспетчеры часто принимают решения о порядке следования поездов в соответствии с навыками и опытом, полученным в течение работы. Этот способ действий не всегда эффективен и нередко приводит к неудовлетворительному разрешению конфликтов.

В данной диссертации впервые рассматривается возможность применения известной в математике теории Управляемых Марковских Процессов (УМП) с целью разрешения конфликтов между поездами. Эта теория эффективно применяется на прак-

¹к числу городов, находящихся в этой части Голландии, относятся такие известные города, как Амстердам, Роттердам, Гаага и Утрехт. Эти города находятся так близко друг к другу и растут в такой степени, что был введен термин, объединяющий их и указывающий на формирование в будущем одного большого метрополиса Randstad.

тике в разных отраслях экономики, но еще не употреблялась в целях, описанных в данной работе. С теоретической точки зрения эта теория описывает системы, где динамика и стохастические процессы играют центральную роль. Железнодорожный сектор по своей природе является такой системой, которой характерно динамичное ее свойство, а также свойственны задержки и перебои в графике движений, что приводит к стохастическому поведению системы.

В основе этой диссертации лежат два вопроса. Первый вопрос носит теоретический характер и рассматривает возможность описания железнодорожной ситуации в общем, и железнодорожного конфликта, в частности, в рамках теории УМП. Другими словами, в состоянии ли теория УМП моделировать столь сложную систему, как железнодорожная сеть, с целью создания регламента, регулирующего движение поездов и разрешение конфликтов между ними как в железнодорожной сети сегодняшнего времени, так и в системе будущего.

Второй вопрос, обсуждаемый в рамках этой работы, изложен с практической точки зрения. Может ли модель, основанная на теории УМП, быть внедрена на практике, и, если да, то в состоянии ли она улучшить качество разрешения конфликтов, которое на сегодняшний день определяется при помощи регламента ТАР. Для того чтобы ответить на эти вопросы, необходимо, чтобы плодом модели являлся регламент, который не только способен разрешать конфликты теоретически, но и который можно легко внедрить на практике. Кроме того, этот регламент обязан содержать ясные правила, понятные для диспетчеров, которые будут их применять.

Посредством тесного взаимодействия между поездами большая часть задержек приходится на перекрестки, где поезда, идущие из разных направлений, встречаются и могут повлиять на движение друг друга. Кроме того, задержки "переносятся" с поезда на поезд на длинных участках железной дороги, где более скорые поезда не могут обогнать менее скорых и, таким образом, остаются за ними на долгий промежуток времени. Методы, изложенные в данной диссертации, направлены именно на перекрестки и те участки железной дороги, где возникают конфликты между поездами.

В первых главах рассматривается модель, которая направлена на наиболее простой по характеристике перекресток, где поезда из двух направлений встречаются. В последующих главах эта модель совершенствуется путем расширения ее возможностей. Таким образом, моделирование более сложных перекрестков становится возможным. К таким перекресткам относятся места пересечения более двух направлений, перекрестки, включающие в себя двустороннее движение, и перекрестки, после которых часть поездов движется в направлениях, отличающихся от направлений

других поездов.

Плодом модели является регламент, который мы будем называть SMD-регламент. Также, как и руководство TAD, SMD содержит в себе указания, определяющие порядок следования поездов при конфликтной ситуации. Для того чтобы определить качество регламента SMD на практике и сравнить итоги от его применения с результатами, полученными от применения других регламентов, мы прибегаем к методу Имитационного Моделирования (Computer Simulation). Этот метод дает возможность заменить реальную систему компьютерной моделью, описывающей ее с достаточной точностью и способной воспроизвести поведение исследуемой системы. В рамках такой среды поведение перевозочных составов, проходящих через исследуемый участок железной дороги в течение нескольких лет, можно воспроизвести всего за несколько секунд. В случае возникновения конфликта между поездами, процесс воспроизведения приостанавливается на долю секунды, в течение которой отыскивается указанная регламентом инструкция разрешения конфликта, которая незамедлительно осуществляется. После осуществления инструкции процесс воспроизведения восстанавливается.

При помощи Имитационного Моделирования качество регламента SMD сравнивается не только с регламентом TAD, но и с такими часто употребляемыми как в теории, так и на практике руководствами, как FCFS (First Come, First Served)², а также с регламентами, определяющими привилегии на основе категории поезда³ и привилегии на основе задержки поезда⁴.

Каждый из выше перечисленных регламентов имитируется на протяжении нескольких модельных лет, в течение которых фиксируется каждая задержка поездов. В конечном итоге наиболее перспективный регламент - это тот, который обладает повышенной способностью подавлять существующие задержки и тот, который лучше способствует предотвращению новых задержек.

Результаты, приведенные в данной диссертации, показывают, что регламент SMD способен разрешать конфликты эффективно, существенно сокращая при этом задержки. Регламент SMD превосходит большую часть других руководств, хотя в ходе исследований были обнаружены отдельные руководства, которые в некоторых слу-

²FCFS - это руководство, дающее право на пересечение конфликтного участка поездам, не меняя их порядок, то есть поезд, подходящий первым, имеет право первым пересечь этот участок.

³привилегии на основе категории поезда - в качестве примера руководство может быть таковым: конфликт разрешается всегда в пользу скорого пассажирского поезда, затем следуют региональные пассажирские поезда и только потом грузовые поезда.

⁴например, поезда с более длительной задержкой имеют право первыми пересечь конфликтный участок.

чаях по качеству были схожи с руководством SMD. Рассматривая внимательно эти руководства, было однако отмечено, что их качество сильно колеблется от ситуации к ситуации. Таким образом, на практике такое руководство далеко не всегда приводит к удовлетворительным результатам, в то время как руководство SMD проявило себя динамичным и высококачественным в каждой ситуации.

Эти результаты дали нам повод расширить диапазон исследований и переместить внимание с уединенных перекрестков и участков дорог на ряд конфликтных зон, вместе составляющих маломасштабную железнодорожную сеть. В пределах такой сети руководство SMD, по своей натуре, разрешает конфликты на локальном уровне, то есть не рассматривая ситуацию в других частях сети. Тем не менее, результаты таких локальных руководств рассматриваются на уровне всей сети. В связи с этим было составлено трое таких маломасштабных сетей, которые увеличивались по уровню сложности. При этом последняя из этих сетей включает в себя множество элементов, имеющих у реальной сети. Руководство SMD оказалось эффективным в каждой из этих сетей, при этом значительно увеличивая качество разрешения конфликтов в самой комплексной из трех сетей.

Результаты, полученные из теоретических сетей, рассмотренных выше, свидетельствуют о перспективности регламента SMD и открыли путь к рассмотрению эффективности этого подхода в реальных сетях. ProRail предложил направить ресурсы исследования на изучение ситуации на одном из самых загруженных участков Голландии: перегон Утрехт-Гауда и рассмотреть эффективность подхода SMD вокруг разрешения поездных конфликтов. Перегон Утрехт-Гауда включает в себя станцию Утрехт, которая является самым крупным и объемным железнодорожным узлом Голландии. Пассажиры здесь имеют возможность сделать пересадку на огромное количество поездов, уходящих по разным направлениям, включая международные. Кроме того, перегон Утрехт-Гауда используется грузовыми передвижными составами, которые движутся от порта Роттердам в сторону Германии и обратно. Будучи одним из самых больших портов мира, Роттердам создает устойчивый поток грузовых перевозок. Главной целью исследования этого участка является изучение руководства TAD, которое используется организацией ProRail для разрешения конфликтов и рассмотрения возможностей применения руководства SMD для наиболее эффективного разрешения конфликтов. В ходе исследования был представлен способ действий, необходимый для моделирования столь сложного по структуре перегона. Кроме того, при помощи метода Имитационного Моделирования результаты, полученные от применения руководства SMD, были сравнены с результатами регламента TAD и ряда других. Результаты показали бесспорное превосходство регламента SMD

над регламентом TAD.

Результаты исследования, приведенные в данной диссертации, показывают перспективность подхода, основанного на теории Управляемых Марковских процессов. Модель SMD, основанная на этой теории, показала хорошие результаты как в системе ближайшего будущего Голландии, где расписание поездов будет играть менее важную роль, так и в системе сегодняшнего времени. В рамках будущего проекта мы советуем рассмотреть совершенствование применения этой теории с целью разрешения конфликтов в сети железных дорог и тестирования эффективности этого подхода на уровне более глобальной системы, предпочтительно, на национальном уровне, при помощи метода Имитационного Моделирования.