

城市交通控制的演变 ——政策与技术变更

Andrew Hamilton¹, Ben Waterson¹, Tom Cherrett¹, Andrew Robinson², Ian Snell² 著, 王金秋³ 译

(1.南安普顿大学交通研究小组, 英国 南安普顿 SO17 1BJ; 2.西门子, 英国 普尔 BH17 7ER; 3.中国城市规划设计研究院, 北京 100037)

摘要: 在过去的一个世纪里, 城市交通控制始终在演变, 以适应日益复杂的政策目标和不断增长的交通需求。一个高效的交通控制系统可以带来很多收益, 例如缓解拥堵、提高经济效益以及改善道路安全和空气质量。车辆检测和通信技术方面取得的显著进步为交通控制系统的调控能力带来了一系列阶段性变化: 从早期(固定配时)信号控制发展到现代化的集成系统。多种类型的交通控制系统在全球不同地区建设完成, 每种系统都有各自的优势和不足。首先通过对比分析目前占据领先地位的商用系统(以及一些较少为人所知的系统), 凸显交通控制系统的关键特征和差异, 然后评估目前的交通控制系统是否能实现现代交通政策的职能和需求。最后, 探讨了当前及未来的交通政策, 以及未来10年交通控制发展的技术性蓝图, 指出交通控制有望通过技术进步从有限数据时代迈入大数据时代。

关键词: 城市交通控制; 技术; 政策; 拥堵

The Evolution of Urban Traffic Control: Changing Policy and Technology

Written by Andrew Hamilton¹, Ben Waterson¹, Tom Cherrett¹, Andrew Robinson², Ian Snell², Translated by Wang Jinqui³

(1.Transportation Research Group, University of Southampton, Southampton SO17 1BJ, UK; 2.Siemens, Poole BH17 7ER, UK; 3.China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100037, China)

Abstract: The history of urban traffic control (UTC) throughout the past century has been a continued race to keep pace with ever more complex policy objectives and consistently increasing vehicle demand. Many benefits can be observed from an efficient UTC system, such as reduced congestion, increased economic efficiency and improved road safety and air quality. There have been significant advances in vehicle detection and communication technologies which have enabled a series of step changes in the capabilities of UTC systems, from early (fixed time) signal plans to modern integrated systems. A variety of UTC systems have been implemented throughout the world, each with individual strengths and weaknesses; this paper seeks to compare the leading commercial systems (and some less well known systems) to highlight the key characteristics and differences before assessing whether the current UTC systems are capable of meeting modern transport policy obligations and desires. This paper then moves on to consider current and future transport policy and the technological landscape in which UTC will need to operate over the coming decades, where technological advancements are expected to move UTC from an era of limited data availability to an era of data abundance.

Keywords: urban traffic control; technology; policy; congestion

收稿日期: 2014-05-14

作者简介: Andrew Hamilton(1988—), 男, 英国人, 博士, 主要研究方向: 利用新数据源开发新型交通控制算法。E-mail: Andrew.hamilton@soton.ac.uk

译者简介: 王金秋(1972—), 女, 辽宁辽阳人, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 交通规划、交通设计。E-mail: 13910094550@139.com

文章来源: Transportation Planning and Technology, 2013年第36卷第1期24-43页, Taylor & Francis Ltd.(http://www.tandfonline.com) 版权所有, 文章链接: http://dx.doi.org/10.1080/03081060.2012.745318。

0 引言

英国机动车行驶英里数在过去60年中增长约1 000%^[1]，全世界范围内都存在类似的趋势(例如，美国自从1940年以来，机动车行驶英里数增长500%^[2])。面对道路上越来越多的车辆，控制城市内交通流的需求变得愈加强烈，以期最大限度地满足安全和通行能力的要求，同时尽可能降低延误和拥堵对环境造成的影响。

从最早的煤气信号灯^[3]开始，城市交通控制(Urban Traffic Control, UTC)的演变一直受到3个关键因素的影响：道路网中车辆数量的增加、技术的进步(或局限)，以及政策制定者对于可持续交通最大化的追求。

本文旨在说明，在某一时间节点上那些主导性的交通控制系统均以其可获得的技术所达到的承载量来定义，因此，交通控制系统在发展过程中不得不对技术的进步来实现性能方面的阶段性改变。一个技术进步速度快于交通控制系统开发速度的崭新时代正在到来，它将重建政策、技术和交通控制系统之间的平衡关系。

1 过去

1.1 阶段一——最初的交通信号灯(1868—1920)

最初的煤气信号灯脱胎于铁路设计，只有红绿两种颜色。这些信号灯由交通警察手动操控，目的在于改善交通控制器的可见性，因此信号灯的灯柱有24英尺(约7.3 m)高，在道路交叉口的任何一个方向都能被看到^[4]。但是，这一系统的问题在于技术方面的严重局限性，因为没有自动控制，道路交叉口必须安排交警值班。不幸的是，英国的第一批交通信号灯没能运行多久，因为在安装后不到一个月的时间内就发生了爆炸事件^[5]。

在目睹美国和德国的成功之后，英国于20世纪20年代首次引入电力信号灯。使用交通信号控制隐含着一系列政策性目的，其中首要目的是减轻交警在交通管理方面的负担，因为随着交通量持续快速增长，需要越来越多的交警来指挥交通。这是政策驱动交通信号灯开发的第一个案例。首先，议员认为这项举措将有助于改善公共安全；其次，

财政方面也有潜在收益：安装信号灯的花费约为100英镑，而一个交警一周的工资即6~7英镑。因此，当地政府从中看到投资资金可以迅速回笼^[6]。

1.2 阶段二——“固定配时控制”(大约为1920—1980)

1.2.1 发展概况

这一阶段是城市交通控制的真正发端，不断增多的交通拥堵使决策者们越来越觉察到这一问题的严重性，并由此确立了所有信号控制系统的基本目标。早在1964年的《布坎南报告》(Buchanan Report)中，英国的交通拥堵作为一个严重的问题开始受到关注，报告预测到2010年英国的机动车保有量将达到4 000万辆^[7]；2009年实际登记的机动车已超过3 400万辆^[8]。《布坎南报告》对于鼓励政府寻求私人机动车的替代交通方式起到重要作用。1969年英国明确提出建设更多的道路并非城市交通拥堵的解决方案^[9]；与此相反，艾森豪威尔(Eisenhower)总统于1952年为美国制定了一个通过建设整体公路系统来减少城市交通拥堵的宏伟方案^[10]。这展现了20世纪五六十年代解决交通拥堵的迥异策略。但是在这两个案例中，政策的目标仍然包括由交通控制系统引领以达到希望的结果。

20世纪50年代后期，开始出现通过实施联动交通信号来改善最初各自孤立的固定配时控制的建议。这需要确定相邻道路交叉口的相位差以便能够产生“绿波”，来减少主干路的交通延误和拥堵^[11]。为实现这种区域联动，多个道路交叉口被分区定义，这些分区内的信号灯可以在绿信比(split)、周期(cycle)和相位差(offset time)等方面进行优化。但是对于固定配时控制来说，如果想调校准确，信号周期必须是相同长度或者整数倍，因此在一个区域里的信号周期通常依据交通量最大的道路交叉口来确定。

信号周期是一个道路交叉口完成信号的所有相位所需的全部时间。绿信比是在一个完整周期内每个相位分配给绿灯的时间。相位差是相邻道路交叉口为实现交通流的畅通而设置的绿灯时间延迟。最简单的形式是单向相位差为两个道路交叉口之间的车辆行驶时间，这样可以保证当车辆到达下一个道路

交叉口时刚好处于绿灯状态^[12]。如果某一方向的交通流量明显大于反方向的交通流量,相位差可以偏重于交通流量大的方向(如早高峰时段进城与出城方向的对比)。

固定配时控制可用于构建绿波、给出预先确定的优先权,以及应对如足球比赛之类可以预测的特殊事件。但是,固定配时控制无法应对计划外的事件,例如交通事故或者道路施工。固定配时控制很容易过时,特别是在交通流量增长特别迅速的区域。如果配时方案未能经常更新,联动所带来的优势将在3~4年后消失,而方案更新本身可能是一个耗费很大的过程^[11]。研究表明,固定配时控制的效果每年会降低约3%,因此,定期更新非常必要^[13]。

在(可预测的)高需求的情况下,固定配时控制与很多联动控制系统相比在平均延误方面不相上下,但是拥堵的持续时间通常会更长。但是,在交通流量较低的情况下,固定配时控制的优势微乎其微,因为如果一队车辆频繁的错过预先确定的绿灯时间,反而会造成更多的延误。

1.2.2 交通网络研究工具

交通网络研究工具(TRANSYT)是一款开发最好并被广泛应用的固定配时控制设计系统,目前仍然在使用。该系统假设交通流在一段固定的时间内已知并且稳定不变。TRANSYT使用历史观测的交通数据进行离线计算,并针对一周内的特定日和一日内的特定时间生成优化方案。TRANSYT通常应用于单独的道路交叉口,不过也可以用于相邻道路交叉口的联动^[14]。英国交通研究实验室(Transport Research Laboratory, TRL)预测并观测到,当TRANSYT试用于格拉斯哥(Glasgow)相邻道路交叉口的联动时,燃料耗费减少了3%~5%^[15]。

TRANSYT主要由两部分组成:交通模型和信号优化模块。交通模型代表交通行为,预测一个特定时间方案和每个路段上交通流平均状况的性能指标(Performance Index, PI)。PI衡量交通拥堵造成的全部损失,是车辆全部延误和停止行驶次数的加权组合(Weighted Combination)^[11]。模型需要与时间相关的历史流量信息,同时一组离散模型被用以确定道路交叉口之间的相位差。信号优化模块不断调校模型中的信号配时从而得到最优PI。数据表明,与原有信号方案相比,TRANSYT使整个加利福尼亚州的出行

时耗减少了7.4%~11.4%^[16]。

1.3 阶段三——独立型车辆感应交叉口 (20世纪70年代至今)

1.3.1 发展概况

20世纪60年代,交通拥堵问题日益显著,英国政府致力于寻求技术提升。政府为一些研究和开发的独立权威机构设立基金,用以寻求问题的解决方案;同时按计划在伦敦和格拉斯哥进行投资,以提高城市路网的运行效率^[17]。

随着感应线圈的出现并在路网上广泛安装,交通信号得以被通过道路交叉口的车辆所触发。在英国,孤立的道路交叉口一般都采用车辆感应控制^[14],检测线圈是国际上最广泛应用的检测方法^[18]。系统依赖于交通检测器,可以相应地分配绿灯时间;这一方式与固定配时信号相比需要更多的基础设施,所以采用车辆感应的道路交叉口需要较高的初始投资,但是相对来说在流量监测和时间校准方面可节省很多开销。更新改造固定配时控制需要大量的时间和资源的投入,例如,多伦多在决定升级到车辆感应系统之前曾经进行估算,如果更新所有的固定配时信号灯,需要耗费30个人年的努力^[19]。

感应线圈由缠绕的金属丝组成,被埋入道路下方,在道路边缘有检测器,可以给金属丝供电,并在线圈周围形成一个磁性区域。线圈以一定的频率共振,这个共振可以通过检测器进行监测,当车辆经过该磁力区域,共振频率会增加,检测器就可以监测到车辆的出现^[20]。一般来说,线圈通常放置在道路交叉口的上游,这样当车辆被检测到之后,有充足的时间让交通信号灯做出反应。

1.3.2 车辆感应优化微处理器

车辆感应优化微处理器(Microprocessor Optimised Vehicle Actuation, MOVA)是一种高级车辆感应控制器,可以分析各车道的检测数据,并控制信号配置以最小化延误和停止行驶次数。整个英国约有3 000个道路交叉口采用MOVA,每年约安装200个左右^[21]。

MOVA被设计成能够良好应对较低和过饱和的交通流^[21]。在道路交叉口饱和之前,MOVA以一种延误最小化的模式运行,但是当交叉口达到饱和之后,它就会以通行能力最大化的模式运行。由于没有系统能够有效处理仅仅因为道路上有过多车辆而造成的饱和状态,因此最大化通行能力是一个非常

益的特征。最新版本的MOVA能够联合两个或更多的交叉口，它们就成为非独立型交叉口，例如，MOVA可以应用于设有信号灯的环形交叉口^[21]。

2 现状

感应线圈改变了交通控制的运行方式；但是，因为没有考虑对相邻道路交叉口的影响，独立型车辆感应交叉口(例如MOVA)没有在城市环境中发挥最大的潜力。本章主要指出目前具有发展潜力的通过感应线圈、雷达和红外线检测技术的车辆检测方法，这些都是可以使相邻道路交叉口实现联动而使用的主要技术。

交通拥堵仍被认为是持续增长的经济问题，但同时也被认为是环境和社会问题^[22]。有评估表明，每年交通拥堵所引起的时间延误给英国造成的损失大约价值350亿美元(220亿英镑)^[22]。根据文献[23]，2009年美国因交通拥堵造成的经济损失约为1148亿美元(约720亿英镑)。当相关的政策驱动者为此仍停留在最小化拥堵和延误时，焦点已经逐渐从单一问题转变为全局角度的人的移动。

2.1 阶段四——联动型车辆感应交叉口(20世纪70年代晚期至今)

在交通控制系统中通常被提到的车辆感应系统都是指联动控制。全球范围内有很多不同的交通控制系统；有不少理论上的交通控制系统被提出，而本文主要聚焦于已经投入商业化运作并且在很多地方实际应用的系统，见表1。

与阶段三独立型车辆感应交叉口相同，用于联动交叉口的车辆感应系统采用在线监测措施来优化信号配时，以周期循环为基础来更好地满足需求。这些系统可以通过一个中央计算机实现联动，例如绿信比、周期、

相位差优化技术(Split Cycle Offset Optimization Technique, SCOOT)；或者通过智能分配在当地层面实现联动，例如集成自动化的城市交通优化(Urban Traffic Optimization by Integrated Automation, UTOPIA)。中央控制系统使用相对不太复杂的本地控制器，相反，分散型系统给予地方更高的决定权，包括相邻控制器之间一定程度的联动^[11]。

所有的主流交通控制系统的运行都是基于相似的基础：调整绿信比、周期、相位差来优化通行于一连串道路交叉口的交通流^[11]。但是，每个交通控制系统都有不同的算法来调整变量，以获得更高效的道路交叉口区域或网络。

与联动系统相比，独立型车辆感应交叉口在改变交通信号方面有更大的弹性，因为无须考虑对相邻道路交叉口所产生的影响^[27]。然而，如果每个交通信号都独立运行，那么整个网络可能存在潜在的问题。在弗吉尼亚(Virginia)进行的一项对比研究表明，与最初的非联动感应控制交叉口相比，联动感应控制交叉口的车辆出行时间降低了30%^[28]。

2.1.1 绿信比、周期、相位差优化技术

SCOOT是国际上应用最广泛的交通控制系统(见表1)，已经有超过250个城市和镇区安装该系统^[21]。这是一个动态的交通控制系统，采用实时交通数据来确定合适的信号配时。SCOOT通常使用路段上游的动态线圈检测器来检测周期内交通流，估算实时需求。SCOOT有三个优化过程来调整信号配时：绿信比、周期和相位差，通过不同频率和不同程序进行优化^[11]。一些早期针对SCOOT进行的研究表明，相比最新的固定配时信号系统，SCOOT系统最高可以减少12%的延误^[29]；但是，最近的一些研究表明，与一些典型的没有得到完全更新的固定配时信号系统相比，SCOOT可以减少高达

表1 交通控制系统安装数量

Tab.1 Number of UTC system installations

交通控制系统	安装情况
SCOOT	全球范围内250处以上 ^[21]
SCATS	全球范围内20处以上 ^[24]
UTOPIA	意大利的几个城市，以及荷兰、美国、挪威、芬兰和丹麦部分城市 ^[25]
RHODES	4处安装 ^[24]
MOTION	德国有应用 ^[26]

20%的延误^[27]。

SCOOT 要求高频率的检测信息更新以保证配时的时效性，每秒钟表明车辆出现或者离开的二进制信号都被送达 SCOOT。SCOOT 依赖参数的输入质量来保证精确地模拟和反映车辆行为^[30]。当车辆速度已知时，检测器可用于确定事故或者拥堵的发生，一些典型的辅助软件与 SCOOT 共同使用可以更好地处理这些问题，例如，Comet 可以给网络运行者提供非常友好的交互性界面。SCOOT 需要进行大量的微调优化决策，通常在一个由 100 个道路交叉口组成的网络中每小时会进行超过 1 万个微优化^[27]，因此有大量的信息需要处理。

SCOOT 具有系统上的弹性，可以重写值并为不同区域、不同时间设置参数，例如，采用准入政策(gating strategies)以确保某个区域远离过度交通量，或者通过公交优先措施(bus priority measures)提升公共汽车的准时性和规律性^[11]。如果需要，SCOOT 也可以提供不同的公交优先权，通过撤回、跳过或延长某个时段来确保公共汽车的通行优先权^[14]。

SCOOT 可以遵从不同时间的交通流趋势和地区性的短时间变化。但是，优化过程只允许进行绿信比、周期和相位差的小幅度调整，因此，SCOOT 可能会在突发的交通流变化中受到限制(例如足球比赛)。然而，一项在多伦多进行的研究表明，与之前的固定配时控制相比，SCOOT 有效减少了棒球赛之后 61%的交通延误^[19]。

2.1.2 悉尼自适应交通控制系统

悉尼自适应交通控制系统(Sydney Coordinated Adaptive Traffic System, SCATS)基于联动车辆感应和固定配时控制的整合，使用一系列在特定情况下开发的固定配时方案。该系统在两个基本水平下运行：“高水平”，包括相位差方案的选择；“低水平”，包括不同道路交叉口参数的优化^[11]，如绿信比和周期^[11]。

SCATS 在实时状态下运行，有许多分散式控制器。但是，它并非采用完全综合的设计，而是采用很多小型的相位差和阶段配时方案的组合。SCATS 依靠渐增的监测反馈来随时间调整信号方案。系统采用覆盖本地道路交叉口的中央控制，以便执行渐增的配时方案，这些方案可以对之前的交通信号配时

进行 2% 的调整。每个区域都需要对某个关键道路交叉口进行命名，周边道路交叉口的配时方案都基于此。每个区域需要确定检测流量与饱和流量的比率(V/C)，以便对拥堵水平进行评价^[32]。

SCATS 通过“结合与分离”确定相位差；有一组外部相位差选项可以使用，“结合”是指两个邻近区域采用同样的周期。内部相位差由周期长度确定，可以由工程师进行调整^[32]。如果道路条件发生显著改变，SCATS 可以在每个信号周期后改变周期时长。

SCATS 可以通过三层系统(高、中、低)为公共汽车或有轨电车提供优先权。有轨电车可以获得最高优先权，这表明有轨电车可以跳过某些信号阶段从而避免停止行驶；而公共汽车可以获得中级优先权，这意味着可以通过减少或延长某个信号阶段来减少公共汽车停止行驶的次数^[14]。

SCATS 最大的性能缺点是相位差的优化，这会对区域间车辆的运行产生影响。SCATS 是基于停车线的检测，这意味着系统对于队列的长度没有概念^[32]。但是，SCATS 有一个非常实用的过饱和特性，当道路流量达到饱和和交通流时，SCATS 会将所有额外的周期时长都赋予最忙的相位，以减少拥堵的影响。因此，SCATS 能够很好地适应包括接近饱和流量、复杂的流量以及不可预测的流量差异等类型的大交通流的情况^[32]。

2.1.3 集成自动化的城市交通优化

UTOPIA 是分层-分散交通信号控制策略。目标在于使车辆的时间损失最小化；对公共交通工具给予优先权，避免在信号控制交叉口停车。UTOPIA 以费用优化函数为基础，这一函数基于车辆的延误和停止行驶次数、公共交通的延误以及对基准计划和历史信号配时的偏离。优化既应用于本地层面也应用于整个路网；本地层面的优化基于损耗函数确定信号配时，优化在 120 s 的时间范围内进行(每 3 s 重复一次)。在整个路网层面上，损耗函数要考虑相邻的道路交叉口，以便建立一个动态的信号联动机制^[14]。

UTOPIA 有一个三层分级建构系统：

1) 本地层面。采用微观模型评估道路交叉口的状态，直接收集可以描述交叉口特征的数据(饱和流量、转弯比例、延误等)；

2) 区域层面。采用较笼统的交通模型监测整个路网状态。这一层面会确认本地检

测, 检查交通数据与历史数据之间的变化;

3) 城镇管理者层面。集成由UTOPIA提供的拥堵信息和从其他系统获得的数据, 例如公共汽车出行时间。在这一层面上采用宏观模型, 它具有多渠道收集信息和覆盖整个城市范围的优势^[27]。

UTOPIA的设计思想明确体现公共交通优先^[25]; 因此, UTOPIA结合系统优先和系统最优化, 通过使“绿色窗口”(green window)与公共汽车的预期到达时间保持一致来为公共汽车提供优先权。公共汽车定位技术被应用于信号控制交叉口的上游, 系统可以逐渐使交叉口适应车辆到达时间。UTOPIA采用在网络上的关键交叉口布设线圈检测器的方式, 检测器一般设在前一个交叉口的下游^[14]。

在都灵(Turin), UTOPIA对出行时间产生了显著影响, 使公共汽车和其他车辆的出行时间分别降低了20%和10%~15%^[11]。UTOPIA表现出对于整个网络更强的适应性, 但是损耗函数相应地有很多不确定性, 因此可能需要常规维护以保证足够的效率。UTOPIA主要依赖于准确的出行时间预测和检测技术, 这样公共交通的优先权才能够得到保障^[14]。

2.1.4 实时、递阶、最优化、分布式且可实施的系统

与UTOPIA类似, 实时、递阶、最优化、分布式且可实施的系统(Real-time Hierarchical Optimised Distributed and Effective System, RHODES)的建构也基于三个层次: 最高层次将交通量分配至路网以确定交通的基础水平, 这需要考虑交通需求和路网的几何结构; 下一层次基于预测的交通流到达类型以确定信号配时; 最后, 在道路交叉口层次, 对个体交通的运行进行建模。

RHODES对交通的自然随机行为做出响应^[14]。包括两个重要的阶段: “评估及预测”和“决策系统”。第一个阶段是基于收集到的上游实际数据, 第二个阶段是所在交叉口的相位差和周期被选定用于优化给定的目标(最短队列长度、每车延误或车辆停止行驶次数)^[11]。

2.1.5 在线路网交通信号优化方法

在线路网交通信号优化方法(Method for the Optimisation of Traffic Signals in Online Networks, MOTION)有两个主要的组成部

分: MOTION中心(MOTION Central)和MOTION本地(MOTION Local)。“中心”的职能是制定方案, 而“本地”可进行调整^[14]。MOTION在四个不同的功能层面运行^[27]:

1) 数据获取。应用于不同的功能、路网事故识别和起讫点(OD)。

2) 动态交通模型。通过对最重要的个体交通流进行评估以及根据目前交通状态确定的交通分析来实现。

3) 优化控制变量。通过不断调整常规信号周期和绿信比来确定最优绿灯时长。采用排队模型来试验和优化道路交叉口的相位差。

4) 决策。将新的信号程序与当前进行比较。如果有显著改善则改变信号程序; 如果仅有微小改进则沿用当前的信号程序。

MOTION对本地和路网两个层面都有考虑; 然而, 本地方案能对战略性的网络方案带来多大改变尚不明朗。

2.1.6 全球范围的交通控制系统

全球范围内有很多在固定配时系统方面做出重大改善的交通控制系统并没有在文献中被广泛讨论。新加坡采用的交通控制系统是绿色链接决策(Green Link Determining, GLIDE), 这是一个针对各种方法的绿灯时间进行优化的动态系统。与固定信号配时系统相比, GLIDE可使早高峰时段平均出行速度提高8%^[33]。

日本采用的交通控制系统是通用交通管理系统(Universal Traffic Management System, UTMS), 利用红外技术检测车辆并与车辆进行通讯。因此, 如果车辆安装了红外设备, UTMS可以对驾驶人进行路径引导, 正如长野冬奥会所证明的, 安装红外设备的车辆比未安装此设备的车辆运行速度提高了11%^[34]。

2.2 关于交通控制系统的讨论和总结

在对交通控制系统进行比较时, 无论是直接比较还是探讨系统与政策驱动者的符合性, 最大的挑战是缺乏对于两种商业系统直接比较的实地调研资料。在查阅设计者公开出版的统计数据时, 由于产品的商业性特征, 通常都会有一项偏爱的要素。每个城市都存在差异, 而且不同国家间相异的政策也决定了各自不同的需求, 同时政策也会随着时间发生变化; 例如, 许多国家的环境政策

鼓励使用公共交通和自行车代替私人机动车，而另外一些国家则不是这种情况。因此，对于交通控制系统的选择是专业性很强的任务。文献[27]指出促使地方管理机构取舍交通控制系统的一些原因。这些原因在政策和技术两个方面影响决策：

- 1) 国家标准和偏好；
- 2) 为系统提供的专业技术或可获得的支持；
- 3) 在相似的运行条件下有效性的有力证明；
- 4) 安装、运行和维护的费用；
- 5) 交通特征(交通混合程度、增长率、变化率、拥堵程度)；
- 6) 与检测系统相关的问题(维护费用)；
- 7) 发展前景。

当城镇或城市出现增长时，固定信号配时系统会被某种形式的交通控制系统取代，以提高路网效率。但是，根据美国交通运输研究委员会(Transportation Research Board, TRB)的研究，当固定信号配时系统被取代后，交通控制系统较之存在更多运行方面的需求，因为运行交通控制系统需要额外的技术性专业技能^[35]。

交通控制系统与固定信号配时系统相比很明显有很多优点；但是，在TRB进行的一项调查中发现，交通控制操作者表示他们通常没有被给予足够时间或培训来学习如何完整地操作这些系统^[35]。如果操作者不能理解如何工作以及重点在哪里，这对于交通控制系统的有效性来说是个严重问题，因为当技

术进步时，对运用技术的一些额外的考虑也变得愈加重要。表2列出三种不同类型交通控制系统的优缺点，同时也列出所需的检测和通信系统。由于没有直接比较交通控制系统，不可能很明确、客观地指出哪个系统是最好的；但是，通过表2可以识别不同系统的优势与劣势，以便根据需求来选择系统。

本节描述的交通控制系统基于可用技术已发展成型。目前，受限于所采用的检测技术(感应线圈、红外线、微波)，交通控制系统只能对道路上片段的交通状态做出响应。为使交通控制系统能够超越目前的局限，更好地了解道路的状态十分必要，这只有通过先进的检测和通信技术以改进空间及暂存数据源才能实现。

2.3 阶段五——整合交通控制和智能交通系统(1997年至今)

目前最先进的交通控制系统越来越多地与其他交通管理系统进行中央整合，从而减少道路运行管理者的工作量并提高路网效率。进行交通控制时有不同的要素需要考虑(见图1)，通过有效整合，可以减少运行者的参与。这些已通过一系列的技术进步得以实现，多数技术进步包括改善检测技术或者改进与驾驶人的通讯方式。

2.3.1 城市交通管理和控制系统

英国交通部(UK Department for Transport)构建了城市交通管理和控制系统(Urban Traffic Management and Control, UTMC)，目的是帮助地方政府从他们集成的交通控制系

表2 不同类型交通控制系统的优缺点

Tab.2 Summary of advantages and disadvantages of different types of UTC system

交通控制系统	优点	缺点	技术
固定配时	安装和维护费用较低； 可以采用非中央控制设备运行； 设置便于常规使用者熟悉； 较容易实现绿波	需要收集和更新大量数据； 信号方案需要定期更新； 方案变更时会导致中断； 操作者需要对事故做出响应； 不能处理短期的交通波动	感应性：离线 通讯交互性：无
响应方案选择 (如SCATS, MOVA)	可以处理一些日常波动； 更加便于主干路； 比完全响应系统价格低	数据需求多于固定配时系统； 检测器失灵会产生隐患； 何时变更方案需要进行商讨； 若自动变更方案可能出错； 难以提前预测所有的特殊情况	感应性：当前道路状态 通讯交互性：取决于系统
完全响应 (如SCOOT, UTOPIA)	对前期数据需求较少； 实时方案无须更新； 可以处理短期和长期的波动(尤其是长期波动)； 自动响应交通事故； 提供实时交通信息	检测器失灵会导致有效性的显著降低； 安装成本高于维护成本； 需要一定的中央控制； 维护尤为重要	感应性：当前道路状态 通讯交互性：至少可达地方层面

资料来源：文献[11]。

统和智能交通系统 (Intelligent Transport Systems, ITS)中获得最大效益。UTMC系统的设计允许交通管理系统内不同的应用程序相互关联、信息共享^[36]。这有助于建立一个更加动态、智能、基于实时信息的交通管理系统。20世纪90年代,英国交通政策主要致力于实现以下目标^[37]: 1)安全有效的交通系统; 2)更好、集成度更高的公共交通系统; 3)环境更可持续的交通系统; 4)交通与土地使用规划政策性整合度更好。这些目标可以说相当普通,但是很显然,整合是这一时期政策的关键,这也正是UTMC的目标。

基本上,UTMC系统被认为是模块化的开放性系统,可以基于交通控制和其他交通系统已有的功能建立并为之配合^[11]。交通控制系统是UTMC系统的核心,而通过提供附加信息可显著增加UTMC系统其他特征的益处。准确且实时更新的信息是成功的UTMC系统的关键。例如,操作者可以向道路使用者提供路网内拥堵或事故方面的信息并据此为其重新导航,或者给驾驶人提供城市中心区可使用的停车设施信息。UTMC系统由很多智能交通系统组成(见图1)。

对于道路使用者来说UTMC有很多优点^[39-40]:

1) 建议。系统可以给驾驶人提供行程时间建议,例如,使用车牌自动识别相机,可以确定平均速度并在可变信息板(Variable Messaging Signs, VMS)显示行程距离。

2) 警告。通过可变信息板,驾驶人可以得到有关路网内存在危险的警告。“强风”信息可以在桥梁上显示,给驾驶人提供警示。

3) 引导。通过可变信息板,驾驶人可以了解道路上因拥堵或事故而产生的延误。同时,许多城市在城市中心区的入口处使用停车可变信息板,以便驾驶人对使用何处的停车设施进行计划。

对于操作者来说,UTMC的一个主要优点是建立了国家标准,所以不同的智能交通系统组件之间的通讯交互变得更加容易。标准化是一种政策引导方法,用于处理最初各自独立的交通控制和智能交通系统之间复杂互动带来的问题,同时这也给予了地方权威机构更广泛并有可能更便宜的产品选择^[39-40]。一种通用语言被开发出来用于更快捷的信息共享,因此,交通网络可以利用其他形式的通讯方式而不必支付高昂的安装费用。例

如,闭路电视网络可用于发送信息^[39-40]。当需要单独的检测器和通信设施时,智能交通系统的运行费用比较高,而现在,检测器通常都用于一种以上目的。全感应式交通控制系统的发展潮流已经创造出更加具有竞争性的市场,系统和供应商的选择范围都更加广泛。由于UTMC系统本质上是共享数据库的标准格式,因此数据之间的交互式操作更加容易。现在已经出现了一些系统,例如CUTLAS或者Comet,管理从不同的交通控制和ITS资源得到的数据,试图获得运行优势^[41-42]。

美国也开发了一个非常类似的系统——国家智能交通系统通信协议(The National Transportation Communications in ITS Protocol),重点是一系列为使计算机和智能交通系统组件之间实现有效通讯而设计标准规范^[43]。

3 展望

城市对于实现可持续交通的持续政策诉求近期不会改变,其核心驱动力是保持较低消耗和较小环境影响。本章将阐述未来一段时间交通控制如何受到即将应用于交通产业中的技术进步的影响而改变。但是,很显然,政策措施不可避免地要与技术发展同步,或者技术渗透的速率将更加缓慢且对路网性能的影响也会更小。交通控制方面技术集成得到改善之后,对于通勤者来说,智能连接的交通网络意味着更好的出行信息、更少的出行延误和更少的压力;对于环境来说,意味着更少的排放^[44]。

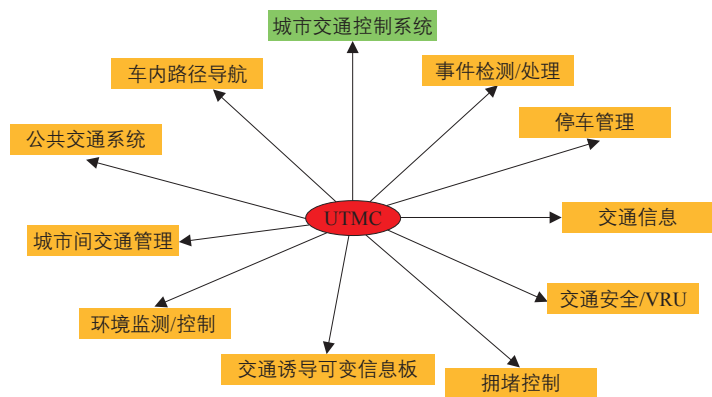


图1 UTMC系统组成

Fig.1 Schematic illustration of a UTMC system

资料来源:文献[38]。

3.1 近期可能使用的技术

检测技术一直在不断完善，一项由欧洲资助的车路协同系统(Cooperative Vehicle-Infrastructure System, CVIS)项目对很多新技术进行了测试。这一项目已经研发出一种新的通讯架构，可以使车辆之间以及与周边设施实现通讯。通讯媒介是通过无线局域网(WLAN)、红外线、蜂窝技术(GPRS/UTMS)或数字广播通讯^[45]实现，使整个系统具有最大的潜在适应性。采用CVIS架构和交通控制系统进行的测试表明，车辆可以节约15%左右的出行时耗，次要道路上每辆车在每个道路交叉口最多可节约5 s^[45]。

在不远的将来，新的通信技术将对交通控制系统产生重大影响。通过精准的检测和通信技术，可以迅速定位路网中的车辆，车速也可以迅速被感知。这有助于改善车队离散模型的算法(platoon dispersion modelling algorithms)，以减少不确定性。随着越来越多的信息和数据源对操作者开放，这一领域的研究具有非常大的潜力。同时，如果车辆之间可以互相通讯，当发生严重拥堵时，相关信息可以迅速向上游传播。欧洲的项目COOPERS采用驾驶模拟器证明当提前获得有关严峻驾驶状况的警示时，驾驶人会改变驾驶行为，并且平均车速下降了14%^[46]。因此，通过获取这些信息，车辆可以避免加入排队或进入拥堵区域，从而使路网的运行状态得到改善。

“物联网”(internet of things)是另一种可以使车辆收发数据的技术。个体车辆都有独有的身份信息，可以成为一个信息发送系统，其他车辆、行人以及交通控制操作者都可以读取由这个车辆发送的信息。这些信息可以是车辆到过哪里、将要去哪里、之前行驶路段的天气如何，以及其他很多可能会用到的信息^[47]。

蓝牙传感器在出行时间估算方面的使用越来越广泛，伦敦交通局(Transport for London)曾经做过试验，探求蓝牙是否可以用于在关键的城市主干路上向驾驶人发送信息^[48]。蓝牙传感器存在的一个问题是车内的渗透率缺乏确定性，这使得交通流的测算不够精准；但是，它的确能够提供很好的车速和检测方面的数据^[49]。

浮动车数据已获测试(例如 ITIS Holdings plc 和 Opus^[50])，有望在近期成为一种被更广泛使用的检测技术。在这种方式下

活跃的移动电话可以被用作交通传感器；由此可推测车辆的位置和速率，从而为路网运营者提供道路条件方面的信息。这种技术的最大优点之一是不需要额外的硬件设施；但是，需要开发一种新的构架来将新的信息源整合到交通控制之中，因为与连续的数据流相比，现状系统使用的是单一的检测点。目前，较难对交通控制系统进行标定和校核比较，但是当采用浮动车数据时，这种标定和校核将因为数据获取的简便而变得更加容易^[51]。

最近一个应用于高水平交通系统、非政府主导的商业创新案例是谷歌公司的谷歌地图(GOOGLE Map)。自2007年以来，谷歌地图开始为在出行前规划路线的使用者提供实时交通信息。它采用众包数据(crowd-sourced data)收集匿名者的位置和速度数据，由此推测道路状况^[52]。然后谷歌对这些信息处理后以一种可视化的输出方式来表现道路的拥堵或畅通程度(尽管在2011年夏天这一功能被谷歌以“太不准确”为理由移除^[53])。

考虑到数据是通过移动电话或者卫星导航系统获取，本文所描述的定位技术存在的最大问题是隐私问题^[54]。收集到的数据在用来描述道路状况之前都已经进行匿名化处理；但是，大众不相信或者不能理解收集这些信息背后所隐含的原因^[55]。很多公众想了解有哪些数据被收集，是否会反追踪到个人，为什么交通部门需要这些数据，是否会因为这些数据而被处罚？这些疑问都需要被着重说明，以便公众确信自己的隐私没有受到任何形式的破坏。

目前，可变信息板是向驾驶人传递路网信息的主要方式。然而，当卫星导航系统提供实时交通信息变得越来越平常，道路管理者可以通过车载技术向驾驶人提供有关延误和路线重新引导的任何信息。根据CVIS项目，未来理想的智能交通系统需要一个具有如下特征的通讯子系统^[56]：

- 1) 无论何时何地车辆出现在交通网络中都可以使用该系统；
- 2) 可以以清楚明确的方式实现车与车之间以及车辆与基础设施之间的通讯；
- 3) 使用者无须了解通讯方式设置和管理；
- 4) 采用现代互联网技术和全球通用标准(IPv6)；
- 5) 为数据传输速度、通讯距离、费用和其他参数提供多种可能性。

3.2 阶段六——自动化城市交通管理和控制

如果技术发展的趋势和政策的成本动因朝向不断减少交通控制系统的人力需求发展,一个合理的结论是交通控制系统未来将越来越趋向于一个无须人力协助的直观系统,但是可以识别系统内发生的任何问题并传送至控制中心。这些自动化系统可以有效管理交通控制系统和智能交通系统技术,减少运行过程中出现的人为错误。拥有完全自动化系统的好处是减少费用支出,通过使用类似浮动车数据和卫星导航系统等这些基于已有硬件设施的检测技术,会减少对道路上硬件设施(感应线圈、红外线感应器)的需求,人力资源费用和系统维护费用都将相应有所降低。

在采用智能自动化系统的情况下,如果能够监测每辆车的平均延误,计算机可以学习如何最好地控制交通信号。基于逻辑回归和神经网络的控制系统已经被开发出来。这种自动化系统在仿真建模方面优于 MOVA,但还需要在真实的路网上进行测试^[57]。

虽然完全自动化的系统很显然有很多优点,但是并不意味着在不久的将来可以完全不需要人的参与。如上所述,目前的交通控制系统还不能进行全盘考虑和预测大流量。若未事先对短时间内的大量交通流建立对策,类似足球比赛这样的事件将给周围的交通控制系统带来相当大的麻烦。由于交通流会骤增,交通控制系统将一直需要人为更新这些事件的发生时间。

目前的交通控制系统也有一个缺点,即需要将路网划分为比较小的“片区”(regions)。当一个片区内建立了联动之后,随着交通量不断增加,片区之间交界处的交通状况将变得更加糟糕。由于更好的定位技术和连续的通讯将有助于建立上游道路状况更翔实的描述,新技术将能够改善所有道路交叉口之间的通讯。这一问题带来的挑战是构建可以有效使用新数据的控制算法。

当对交通管理进行历史性回顾时,单个道路交叉口的效率可能因整体路网改善而受损。这就是“闸门概念”(the concept of gating),即有意增加次要道路交通延误,来维持主要道路较高的通行率和更可靠的出行时间。例如,2012伦敦奥运会期间应用这一理论以改善关键性通道的出行时间可靠性^[58]。如果控制系统为全自动,对于识别交通瘫痪

比人工迅速,因此可以给主要道路以优先权从而减少整体的时间损失。当道路状况接近饱和时,控制系统可以给主要道路以优先权从而维持尽可能长的畅通交通流。尽管这改善了道路上大多数使用者的交通状况,但是仍然可能给一小部分驾驶人造成较大的延误,而被认为是不公平的。

3.3 信息丰富性

如果类似于浮动车数据和车辆间通讯等新技术在不远的将来得到应用,以配合交通控制,那么对于交通控制的运行者来说,一个具有典范意义的转变将是从小数据匮乏的时代进入到一个数据丰富的时代。目前,通过传统的感应器(感应线圈、红外线、微波检测器)只能获得有限的信息,运行者希望了解更多路网信息,无论是通过车辆自动识别相机还是闭路电视摄像头得到的出行时间数据。但是,如果所有潜在的新技术都得以应用,则需要增加运行资源的分配来解释这些数据,否则额外获得的一些信息将成为巨大的资源浪费。

交通控制目前在考虑使用那些并非专门为其设计的技术^[49]。例如,Wi-Fi在欧洲有交通专用带宽,但Wi-Fi在设计之初并没有考虑要应用于交通控制。蜂窝数据目前在估算出行时耗方面可用,同时,基于智能手机的高使用率有很多应用程序被开发,并通过众包数据在手机上显示目前路网的状态。卫星导航系统开发之初并没有预期要为交通控制提供众包数据。然而,交通控制趋向于使用这些并非专门为其开发的技术是出于财政考虑,这些技术费用低廉且无须额外的基础设施,或许未来的政策将提倡这些更加经济的方法。

在新的政策实施之前,需要采用成本效益分析工具对这些技术进行评价^[59]。收益通常以车辆节省小时数、支付意愿和减少的维护成本等形式进行评价,而成本则包括初始成本和运行费用。纵观本文,政策是以通过施行新技术来减少成本呈现,但金钱不是唯一的影响要素。一个实际的挑战是对其他效益的量化,但是“支付意愿”的价值在业内已得到广泛接受^[60];然而,类似道路安全等问题的货币评估有很强的主观性,因此,在决定一个项目的价值之前有必要进行敏感性分析。

在交通行业内信息的传播方式也在改

变；当前不仅仅是本地的相关部门需要收集和传播信息。社会化网络对于人们的出行也在产生影响，它是一种与大众分享交通信息的简易途径。许多本地相关部门注册 Twitter 和 Facebook 账号，以便将有用的信息发布给本地居民和游客。同时，由于智能手机数量的增加，有很多应用程序可以向使用者提供实时拥堵信息，方便使用者选择其他路径^[61]。尽管该产业尚处于发展初期，商业化出行信息传播(即不是直接由本地权威机构发布)还在不断增加，特别是越来越多的开发以及使用实时数据对车载导航系统的支持。

4 结语

由于受到政策持续推动的技术进步影响，城市交通控制发生了显著改变。但是目前的联动型交通控制系统仍然受到数据的限制，随着不久的将来引入多种技术改善检测技术，将使发展向数据的丰富性方面转变。目前，交通控制系统没有从已有的数据得到足够的反馈，所以对于改善配置只做了最基本的尝试(运行者自行决定)。在进行交通控制更新换代之前，需要对整个城市路网的检测和通信技术的改善进行政策性评估。

近期，对交通控制产生重要影响的一个政策变化是欧盟白皮书 2011(European Union 2011 white paper)，其中倡导到 2050 年实现城市中心区交通系统零碳排放^[62]。这可能是政策刺激带来变化过程的开始。交通控制系统决策方面的潜在改变是每个道路交叉口碳排放的最小化，这有可能带来社会氛围方面的重大变化。

下一个阶段所需要的检测和通信技术方面的支持(Wi-Fi、蓝牙、蜂窝数据、车辆间通讯)均已实现，但是相应的基础设施和系统建构尚未到位。建设这些系统(特别是从基于基础设施转变为基于车辆检测)需要大规模的投资，这是进行下一代交通控制系统建设过程中最关键的障碍。因此，交通政策也需要进行修改以适应交通网络方面的这些新技术，但是很不幸，在这些变化完全发挥作用之前还需要漫长的引导时间(以年计或者以 10 年计)^[22]。这是交通控制发展历史上首次不是由政策作为下一阶段发展的驱动力；直到欧盟白皮书将零碳排放写入其中，未来将继续有并非专门为交通控制设计的新技术出现来引导政策。

未来的挑战将是如何建立一种更加集成、直观的交通控制系统，将对人力投入的需求最小化。新技术将有助于更好地了解车辆的位置和目的地；但是，目前的交通控制系统尚不能使用这些新信息。需要构建创新的控制算法来利用新的数据源，帮助我们进入城市交通控制变革链的下一阶段。

参考文献：

References:

- [1] DfT (Department for Transport). Transport Statistics Great Britain: 2011 Roads and Traffic[R/OL]. 2010[2012-09-14]. assets.dft.gov.uk/statistics/releases/transport-statistics-great-britain-2011/roads-and-traffic-summary.pdf.
- [2] US Census Bureau. Trends in Vehicle Miles Travelled[EB/OL]. 2005[2012-09-14]. www.pewclimate.org/global-warming-basics/facts_and_figures/us_emissions/vmt.cfm.
- [3] Day L, McNeil I. Biographical Dictionary of the History of Technology[M]. London: Routledge, 1996.
- [4] The Engineer. Street Signals, Bridge Street, Westminster[R/OL]. 1868[2012-09-14]. www.ukroads.org/ukroadsignals/articlespapers/18681211_theengineer.pdf.
- [5] BBC. The Man Who Gave Us Traffic Lights [EB/OL]. 2009[2012-09-14]. www.bbc.co.uk/nottingham/content/articles/2009/07/16/john_peake_knight_traffic_lights_feature.shtml.
- [6] Royal Commission on Transport, Great Britain. Control of Traffic on Roads: The First Report [R]. 3365, London: HMSO, 1929.
- [7] Buchanan C D. Britain's Road Problem[J]. The Geographical Journal, 1964, 130(4): 470-478.
- [8] DfT (Department for Transport). Vehicle Licensing Statistics, Great Britain: Quarter 2 2012 Vehicles[R/OL]. 2012[2012-09-14]. assets.dft.gov.uk/statistics/releases/vls-q2-2012/vls-q2-2012.pdf.
- [9] Ministry of Transport, Great Britain. Roads for the Future: A New Inter - Urban Plan[R]. 4369, London: HMSO, 1969.
- [10] Connery R H, Leach R H. The Federal Government and Metropolitan Areas[M]. Cambridge: Harvard University Press, 1960.
- [11] Papageorgiou M, Ben-Akiva M, Bottom J,

- Bovy P H L, Hoogendoorn S P, Hounsell N B, Kotsialos A, McDonald M. ITS and Traffic Management[C]//Barnhart C, Laporte G. Handbook in Operations Research and Management Science. Amsterdam: Elsevier B.V., 2007: 715-774.
- [12] U.S. DoT (U.S. Department of Transport). Signal Timing on a Shoestring (FHWA-HOP-07-006) [R/OL]. 2005[2012-09-14]. www.cedengineering.com/upload/Signal%20Timing%20on%20a%20Shoestring.pdf.
- [13] Bell M C, Bretherton R D. Ageing of Fixed-Time Traffic Signal Plans[C]//IEE. Proceedings of the Second International Conference on Road Traffic Control, 1986: 77-80.
- [14] Gardner K, D'Souza C, Hounsell N B, Shrestha B P, Bretherton D. Review of Bus Priority at Traffic Signals Around the World[R/OL]. 2009[2012-09-14]. www.trg.soton.ac.uk/research/bus/UITP_WORKING_GROUP_Interaction_of_buses_signals_at_road_crossings-FINAL_REPORT_V2.0-April_2009.pdf.
- [15] Robertson D I. Coordinating Traffic Signals to Reduce Fuel Consumption[R/OL]. 1982 [2012-09-14]. www.jstor.org/stable/2397455.
- [16] Skabardonis A. ITS Benefits: The Case of Traffic Signal Control Systems[M]. Washington: District of Columbia, 2001.
- [17] Ministry of Transport, Great Britain. Transport Policy[R]. 3057, London: HMSO, 1966.
- [18] Box S, Waterson B. Signal Control Using Vehicle Localization Probe Data[R/OL]. 2010[2012-09-14]. <http://eprints.soton.ac.uk/73751/1/UTSG10BoxWaterson.pdf>. UTSG Plymouth.
- [19] Quan B Y, Greenough J C, Kelman W L. The Metropolitan SCOOT Demonstration Project [R]. Toronto: Municipality of Metropolitan Toronto, 1993.
- [20] Marshproducts. The Basics of Loop Vehicle Detection[R/OL]. 2000[2012-09-14]. www.marshproducts.com/pdf/Inductive%20Loop%20Write%20up.pdf.
- [21] TRL. MOVA. 2011[2012-09-14]. www.trlsoftware.co.uk/products/traffic_control/mova.
- [22] Eddington R. The Eddington Transport Study (Volume 2: Defining the Challenge)[R/OL]. 2006[2012-09-14]. www.hm-treasury.gov.uk.
- [23] Bloomberg (Carol Wolf). Traffic Cost U.S. \$114.8 Billion in 2009, Texas Institute Says [EB/OL]. 2011[2012-09-14]. www.bloomberg.com/news/2011-01-20/traffic-jams-cost-u-s-114-8-billion-in-time-fuel-in-09-institute-says.html.
- [24] Jhaveri C S, Perrin Jr J, Martin P T. SCOOT Adaptive Signal Control: An Evaluation of Its Effectiveness over a Range of Congestion Intensities[R/OL]. 2003[2012-09-14]. www.ltrc.lsu.edu/TRB_82/TRB2003-002166.pdf.
- [25] KonSULT. Urban Traffic Control Systems[R/OL]. 2009[2012-09-14]. www.konsult.leeds.ac.uk/private/level2/instruments/instrument014/l2_014c.htm.
- [26] Mueck J. The German Approach to Adaptive Traffic Control[R]. Germany: Siemens, 2008.
- [27] Hounsell N B, McDonald M. Urban Network Traffic Control[J]. Journal of Systems and Control Engineering, 2001, 215 (4): 325-334.
- [28] Byungkyu B, Chen Y. Quantifying the Benefits of Coordinated Actuated Traffic Signal Systems: A Case Study[R/OL]. 2010[2012-09-14]. www.virginiadot.org/vtrc/main/online_reports/pdf/11-cr2.pdf.
- [29] Hunt P B, Robertson D I, Bretherton R D, Winton R I. SCOOT: A Traffic Responsive Method of Coordinating Signals[R/OL]. 1981 [2012-09-14]. www.trl.co.uk/online_store/reports_publications/trl_reports/cat_traffic_engineering/report_scoot_-_a_traffic_responsive_method_of_coordinating_signals.htm.
- [30] Wylie M. Aimsun to Siemens SCOOTLINK Application[R/OL]. 2009[2012-09-14]. Siemens_SCOOT_Link.pdf.
- [31] SCATS. Products: Adaptive Control[EB/OL]. 2012[2012-09-14]. www.scats.com.au/product_adaptive_control.html.
- [32] Martin P. SCATS, An Overview[R/OL]. 2001 [2012-09-14]. www.signalsystems.org.vt.edu/documents/Jan2001AnnualMeeting/SCATS_TRB2001_PeterMartin.pdf.
- [33] Keong C K. The GLIDE System: Singapore's Urban Traffic Control System[J]. Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary, 1993, 13(4): 295-305.
- [34] Kitamura O M. Overview of the UTMS on the Nagano Winter Olympic Games[C]//ITS

- Japan. Proceedings of the 5th ITS World Congress. Seoul: ITS Japan, 1998.
- [35] NCHRP. Adaptive Traffic Control Systems: Domestic and Foreign State of Practice[R/OL]. Synthesis 403, Washington DC: NCHRP, 2010.
- [36] DfT (Department for Transport). The UTMC Initiative[EB/OL]. 2009[2012-09-14]. www.utmc.uk.com/background/02.php.
- [37] Glaister S. UK Transport Policy 1997-2001 [R/OL]. 2001 [2012-09-14]. www.cts.cv.ic.ac.uk/staff/wp21-glaister.pdf.
- [38] DETR (Department of the UK Environment, Transport and the Regions). The 'SCOOT' Urban Traffic Control System[R]. Traffic Advisory Leaflet 7/99, London: DETR, 1999.
- [39] UTMC. FAQs[EB/OL]. 2009[2012-09-14]. www.utmc.uk.com/background/pdf/UTMCFAQsBeginnerGuide.pdf.
- [40] UTMC. Welcome to UTMC[EB/OL]. 2009 [2012-09-14]. www.utmc.uk.com.
- [41] Envitia Plc. Interoperability[EB/OL]. 2012 [2012-09-14]. www.envitia.com/sectors/sectordetails.aspx?id=17,628,0.
- [42] Siemens. Comet[EB/OL]. 2012[2012-09-14]. www.siemens.co.uk/traffic/en/index/productssolutionservices/systems/comet.htm.
- [43] AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). National Transportation Communications for ITS Protocol: The NTCIP Guide[R/OL]. 2009[2012-09-14]. www.ntcip.org/library/documents/pdf/9001v0406r.pdf.
- [44] Siemens. Traffic Solutions: Equipment, Installation, Maintenance and Operation for Traffic Control[R/OL]. 2010[2012-09-14]. www.siemens.co.uk/careers/pool/apprenticeships/siemens-traffic-brochure.pdf.
- [45] CVIS. CVIS Mobility 2.0: The New Cooperative Era[EB/OL]. 2010[2012-09-14]. www.cvisproject.org/download/ERT_CVIS_Final_Project_Bro_06_WEB.pdf.
- [46] COOPERS. Project Presentation[EB/OL]. 2010 [2012-09-14]. www.coopers-ip.eu/fileadmin/results/deliverables/D1-A1100_COOPERS_Project_Presentation_052010.pdf.
- [47] EPoS. Internet of Things in 2020[EB/OL]. 2008[2012-09-14]. www.iot-visitthefuture.eu/fileadmin/documents/researchforeurope/270808_IoT_in_2020_Workshop_Report_V1-1.pdf.
- [48] TfL. Transport for London's Test of Value Added Services to Support DSRC Road Charging Trials[EB/OL]. 2006[2012-09-14]. www.tfl.gov.uk/assets/downloads/TfL-value-added-test.pdf.
- [49] ITS. Welcome to the Jungle[J]. ITS International, 2011, 17(2): 48-49.
- [50] PR Newswire. Nationwide Traffic System Deployed in Australia Using ITIS Traffic Science CFVD Technology[R/OL]. 2009 [2012-09-14]. www.prnewswire.co.uk/news-releases/nationwide-traffic-system-deployed-in-australia-using-itis-trafficsscicentm-cellular-floating-vehicle-data-cfvd-technology-152765845.html.
- [51] CVIS. Cooperative Urban Mobility[EB/OL]. 2010[2012-09-14]. www.cvisproject.org/download/CVIS_Handbook_FINAL%20Version.pdf.
- [52] Barth D. The Bright Side of Sitting in Traffic: Crowdsourcing Road Congestion Data[R/OL]. 2009[2012-09-14]. <http://googleblog.blogspot.com/2009/08/bright-side-of-sitting-in-traffic.html>.
- [53] Schwartz B. Google Maps Removes Driving with Traffic Estimates[R/OL]. 2011[2012-09-14]. www.seroundtable.com/google-maps-traffic-13702.html.
- [54] Leduc G. Road Traffic Data: Collection Methods and Applications[R/OL]. 2008[2012-09-14]. <http://ftp.jrc.es/EURdoc/JRC47967.TN.pdf>.
- [55] Cruickshanks S, Waterson B. Are Privacy Fears Associated with Intelligent Transport Systems Justified?[R]. UTSG 2011-01, UK: Milton Keynes, 2010.
- [56] CVIS. CALM: Communication Access for Land Mobiles, CVIS 2.0: The Future of Intelligent Transport Systems[R/OL]. 2010 [2012-09-14]. www.cvisproject.org/download/qfree_cvis_brosjyre.pdf.
- [57] Box S, Waterson B. An Automated Signalized Junction Controller That Learns Strategies from a Human Expert[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2012, 25 (1): 107-118.

(下转第53页)