

COVID-19 和公共交通：当前评估、前景和研究需求

亚历杭德罗·古尔乔尼，奥德俊锡
智利交通研究所

摘要：由于需求和收入空前下降，COVID-19 大流行对全球当代公共交通构成了巨大挑战。在本文中，我们综合了截至 2020 年 6 月上旬有关公共交通和 COVID-19 大流行的关键发展的最新技术，包括世界各国政府和公共交通机构采取的不同应对措施，以及研究需要涉及在所谓的封锁后阶段将公共交通中的传染风险降至最低的关键问题。虽然一些国家正在尝试保持身体距离（这对大众公共交通的概念提出了挑战），但最新研究表明，对于公共交通工具等封闭环境，正确使用口罩可以显著降低传染。公共交通中 COVID-19 爆发的经济和社会影响超出了服务绩效和健康风险，扩展到财务可行性、社会公平和可持续流动性。存在的风险是，如果公共交通部门被认为无法顺利过渡到大流行后状况，那么将公共交通视为不健康的观点将会获得支持并可能持续下去。为此，本文确定了研究需求，并概述了替代策略和情景对公共卫生影响的研究议程，特别是减少公共交通拥挤的措施。本文为交通政策制定者、规划者和研究人员提供了概述和展望，以描绘与大流行危机对公共交通的影响相关的事态和研究需求。鉴于几个国家的最终利害关系：恢复公共交通系统发挥其社会作用的能力，一些研究需要得到紧急关注。

关键词：COVID-19 病毒传播、可持续性、安全性、弹性、公共卫生

COVID-19 and Public Transportation: Current Assessment, Prospects, and Research Needs

Alejandro Gurjoni, Oded Junsik
Transport Institute, Chile

Abstract: The COVID-19 pandemic poses a great challenge for contemporary public transportation worldwide, resulting from an unprecedented decline in demand and revenue. In this paper, we synthesize the state-of-the-art, up to early June 2020, on key developments regarding public transportation and the COVID-19 pandemic, including the different responses adopted by governments and public transportation agencies around the world, and the research needs pertaining to critical issues that minimize contagion risk in public transportation in the so-called post-lockdown phase. While attempts at adherence to physical distancing (which challenges the very concept of mass public transportation) are looming in several countries, the latest research shows that for closed environments such as public transportation vehicles, the proper use of face masks has significantly reduced the probability of contagion. The economic and social effects of the COVID-19 outbreak in public transportation extend beyond service performance and health risks to financial viability, social equity, and sustainable mobility. There is a risk that if the public transportation sector is perceived as poorly transitioning to post-pandemic conditions, that viewing public transportation as unhealthy will gain ground and might be sustained. To this end, this paper identifies the research needs and outlines a research agenda for the public health implications of alternative strategies and scenarios, specifically measures to reduce crowding in public transportation. The paper provides an overview and an outlook for transit policy makers, planners, and researchers to map the state-of-affairs and research needs related to the impacts of the pandemic crisis on public transportation. Some research needs require urgent attention given what is ultimately at stake in several countries: restoring the ability of public transportation systems to fulfill their societal role.

Keywords: COVID-19 virus transmission, sustainability, safety, resilience, public health

引言

一种新型冠状病毒是 2019 年冠状病毒病 (COVID-19) 的病原体，于 2019 年 12 月在中国湖北省武汉市首次被发现，此后迅速在全球传播。世界卫生组织 (WHO) 于 2020 年 1 月宣布其为国际突发公共卫生事件，两个

月后宣布为全球大流行病。自 2020 年初出现首例确诊病例以来，截至 2021 年 7 月，韩国累计病例已超过 17 万例。

COVID-19 是一种严重的急性呼吸系统综合症，主要通过感染者的飞沫传播，在日常生活中很容易传播。

这种传染病前所未有的传播速度和死亡率导致了恐慌。世界上许多国家和城市隔离了感染者以防止 COVID-19 的传播,并实施了当地封锁和设施关闭以及行动限制。

COVID-19 病毒的迅速传播在数周内成为全球大流行病,这归因于我们当前生活方式的高度流动性、全球化以及第一个震中武汉的连通性和可及性。从那时起,COVID-19 大流行迅速演变为对全球生活方式和旅行产生深远影响的情况,从航空旅行的急剧减少到远程办公的空前增加。这些影响源于政府措施(例如,旅行限制和整个经济部门的关闭)以及个人选择避免旅行以减少与他人的接触和污染风险。

世界各地的城市旅行都在减少,但并非所有模式都如此;调查数据显示,公共交通受到的打击最为严重。在某些情况下,这伴随着服务供应的减少,并且由于公共交通工具和车站与其他人的接触可能(有时不可避免)更密切,因此人们认为公共交通比私人或个人交通工具更具风险,从而加剧了这种情况。图 1 显示了基于谷歌移动报告数据(作者自己的阐述)的公共交通枢纽使用的变化。数据的基线是 2020 年 1 月 3 日至 2 月 6 日这五周期间一周中相应日期的中值。

与其他国家不同,韩国没有实施此类措施。相反,这些政策的重点是通过扩大对确诊 COVID-19 患者的先发制人检测、隔离和治疗、跟踪和管理密切接触者,通过早期发现来预防疾病传播;并限制聚会的规模。居民可以不受限制地自由行动;但是,由于担心感染,行动仍然大大减少。许多人开始避免使用公共交通工具,转而使用私家车。

尽管如此,还是有一些方法可以减少或消除与所有这些因素相关的风险,本文对此进行了综述。此外,旅行期间与在人们访问的地方进行的活动期间的 COVID-19 传染风险水平尚不清楚,因为有几个变量干预确定不同环境中的实际风险水平。

世界各地关于使用公共交通工具应对 COVID-19 大流行的建议各不相同。一方面,官方指南明确不鼓励使用公共交通工具。英国明确建议,“你应该尽可能避免使用公共交通工具”和“在使用公共交通工具之前考虑所有其他形式的交通工具”。同样,荷兰国家政府建议“只有在确实有必要且您没有任何其他交通工具时才使用公共交通工具,并尽可能在高峰时间以外出行”。在美国,建议雇主应“鼓励员工使用尽量减少与他人密切接触的交通方式(例如,单独或与家庭成员一起骑自行车、步行、驾车或乘车)”。这样的职位可以伴随着严格的物理距离规则。例如,2020 年 5 月在澳大利亚新南威尔士州,标准 12 米长的公共汽车和火车车厢的容量分别减少到 12 名和 32 名乘客。

在本文中,我们分析了 COVID-19 大流行期间与公共交通使用有关的关键问题,其中一些问题提供了理解不同国家/地区采用的各种公共交通使用方法的见解,

如上所述。COVID-19 全球危机是一个迅速演变的事件,迄今为止,在与病毒传播途径和预防措施有效性有关的关键问题上,科学证据迅速增加但有限且不确定。我们审查了截至 2020 年 6 月上旬公开可用的证据,这些证据涉及 COVID-19 大流行期间与公共交通相关的几个因素。然后我们使用这些信息作为基础来提出研究议程。

讨论的一些主题涉及 COVID-19 危机或封锁期,在此期间,联邦、州和地方政府采取了大规模措施来遏制病毒的传播,通常意味着任何人都应避免所有不必要的旅行交通工具。然而,大部分讨论都与所谓的封锁后阶段相关,该阶段被宽泛地定义为危机最严重部分过去后的时期,此时人们恢复因 COVID-19 而暂停的活动。这个封锁后的时期可能会延长,因为只要人群中没有广泛的免疫力,预计它就会持续下去。此外,无法确定在第一次危机之后不会出现新的广泛感染浪潮。

一、COVID-19 的影响和使用公共交通工具的新规则 保持身体距离的出现

COVID-19 等呼吸道感染通过感染者在呼吸、说话、咳嗽和打喷嚏时呼出的飞沫(5 至 10 μm)和气溶胶(小于 5 μm)传播。尽管 COVID-19 传染发生的各种方式仍然存在很多不确定性,但几位作者已经确定了封闭环境中的空气传播。因此,封闭环境通常比开放环境更具风险。气溶胶可以在室内空气中积聚并保持传染性数小时,这是 COVID-19 大流行期间公共交通和其他封闭环境中恢复日常人类活动的最大挑战。例如,关于恢复工作场所活动的指南强调了自然通风、空气过滤和员工遵守严格的卫生规程的相关性,此外还有清洁和消毒,尤其是高接触表面的清洁和消毒等多项行动。

物理距离(也称为社会距离)的概念已成为用于防止 COVID-19 传播的最广泛的非药物措施之一。世界卫生组织(WHO)建议与他人保持至少一米的距离,而其他卫生组织建议保持两米的物理距离以降低 COVID-19 传播的风险。已发现至少一米的距离可以显著降低 COVID-19 传染的可能性。在非药物预防措施中,保持身体距离的建议对于公共交通服务的部署和使用来说是最重要和最关键的,前提是保持身体距离会大大降低车辆和车站容纳旅客的能力。简而言之,身体距离与公共交通的概念相冲突。

目前的研究表明,作为预防措施,与他人保持 1.0、1.5 或 2.0 米距离的一般建议在暴露时间较短的室外环境中有效,但这一物理距离规则在室内环境中受到挑战,因为据报道,在较远的距离内感染了未感染的人。沉等。报告 2020 年 1 月在中国宁波乘坐公交车的案例,据信一名无症状感染者在两次 50 分钟的公交车行程中将 COVID-19 病毒传播给了 22 名乘客(总共 67 人)。在这种情况下,乘客没有戴口罩。目前的研究认识到暴露的持续时间也很重要,但是在撰写本文时,仍然不知道传染的可能性如何随着暴露的持续时间而增加。这与

公共交通的使用特别相关,以便了解长途旅行相对于短途旅行的固有风险。总而言之,在没有面部防护、经常清洁和通风的情况下,公共交通成为主要病毒传播者的所有方框:它是一个封闭的环境,人们可能会被长时间隔离。在这种情况下,如果病毒正在传播,保持身体距离可以减少感染人数,但如果不辅以其他措施(例如普遍使用口罩),其本身并不能阻止病毒传播。

口罩的使用

无症状者使用口罩作为病毒遏制措施一直是一个有争议的问题,尤其是在 COVID-19 大流行的头几个月。反对建议广泛使用口罩的论点包括其有效性的最初有限证据、由于缺乏有关如何正确佩戴口罩的信息而导致的误用,以及戴口罩时采取危险行为的可能性。几个月来,世界卫生组织(WHO)建议仅对有呼吸道症状的人和医护人员使用口罩。2020年6月5日,世卫组织修订了指南,建议在包括公共交通工具在内的公共场所使用非医用(织物)口罩,并建议弱势群体使用医用口罩。继 WHO 之后,美国疾病控制与预防中心(CDC)最初也建议公众不要戴口罩,但该建议在2020年4月更新为建议在公共场合使用织物口罩,显然是作为替代品,因为外科口罩短缺。Konda 等人测试了不同织物过滤气溶胶颗粒的效率,发现当使用多层以及组合不同织物(例如棉和丝、棉和薄纱)。

尽管在许多国家普遍存在对普遍使用口罩的质疑,尤其是在 COVID-19 危机的头几个月,但最新研究表明,普遍佩戴口罩对于遏制 COVID-19 至关重要。口罩可以显著减少呼出气中传染性 COVID-19 病毒的数量,尤其是无症状人群和症状较轻的人群。织物口罩的过滤能力对于小于 300 nm 的颗粒大于 80%,对于大于 300 nm 的颗粒大于 90%,常见织物的特殊组合包括棉、丝绸、雪纺和法兰绒。最近,“预防原则”建议在 COVID-19 危机期间广泛使用口罩,因为公共卫生的潜在收益可能在很大程度上超过所涉及的风险。现阶段,从流行病学数据也可以清楚地看到,有效遏制了 COVID-19 传播的国家,如台湾、日本、香港、新加坡和韩国,已经强制普遍佩戴口罩。仿真模型还预测了在城市或国家层面广泛采用口罩在降低 COVID-19 死亡率方面的有效性。正确使用口罩的教育与强制普遍使用同样重要,因为佩戴不当的口罩会使气溶胶过滤效率降低 60%。

因此,积累的证据表明,只有使用适当的口罩并且人们知道如何正确佩戴和使用口罩,在公共交通中使用口罩才能成为阻止 COVID-19 病毒传播的有效方法。一场倡导使用口罩的运动既需要确保普通民众能够负担得起合适的口罩,又需要对人们进行使用方面的教育。眼部保护装置还可以降低 COVID-19 传染的可能性,但尚未强制要求公共交通乘客使用它们。除其他措施外,可以考虑为公共汽车司机等高风险工人提供眼睛保护。

卫生、消毒和通风

关于提高的卫生和清洁标准,已发现 COVID-19 病毒在不同类型的表面(包括塑料和不锈钢)上从数小时到数天仍具有传染性。因此,与受污染表面的身体接触是 COVID-19 传播的一种潜在方式。这意味着作为推荐的预防措施,经常清洁公共交通工具和车站的高接触表面。公共交通工具和车站的消毒已在世界范围内广泛采用,强度级别各不相同,具体取决于每个机构的组织程度和可用资源。一些指南已经建议必须为公共交通工作人员采取更多的卫生措施,不仅在车辆和车站,而且在更衣室、会议室和管理办公室。对这些措施的有效性进行严格的评估是缺乏的,也是非常需要的。在封锁后的时期,即使感染风险被认为很低,也可能需要采取个人防护措施和卫生措施来安抚工作人员和乘客并保持对公共交通系统的信心。应向用户广泛提供相关信息,包括行为和卫生标准、正确使用口罩以及乘客出现发烧和咳嗽等症状时避免乘坐公共交通工具。

使用空调是否会进一步传播 COVID-19 病毒并导致在距离源头更远的地方传播仍不清楚,可能取决于使用再循环空气。有限的证据表明,空调可以在餐厅等室内环境中发挥传染作用。CDC 建议使用非再循环模式的通风/空调系统。作为一项预防措施,通常建议经常对公共交通工具等封闭空间进行通风,这对于在车内待数小时的驾驶员尤其重要。在没有关于公共交通工具通风的具体指南的情况下,英国建议遵循建筑物的通风流量指南,即 8-10 l/s/人(每人每秒升数)的新鲜空气,无需再循环。

二、公共交通中 COVID-19 爆发的经济和社会影响 财务困境

在短短几周内,COVID-19 大流行成为几十年来公共交通服务面临的最大的经济危机。由于新的卫生和清洁标准,COVID-19 导致公共交通需求严重下降,同时成本增加。在这种情况下,一些公共交通机构陷入财务困境,给政府带来压力。由于 COVID-19 大流行,美国最大的公共交通机构纽约大都会交通管理局(MTA)正在寻求 40 亿美元的救助。在智利等其他国家/地区,政府已同意就其首都圣地亚哥的需求损失(高达 80%)向公交运营商进行补偿。荷兰政府已拨款 15 亿欧元用于补偿荷兰铁路(NS)以及阿姆斯特丹、海牙和鹿特丹的三大城市公共交通运营商。瑞典政府转移了 30 亿瑞典克朗,以弥补全国因门票销售减少而造成的收入损失。公共交通机构寻求财政救济的另一个问题是 COVID-19 大流行对公共资金的可用性产生负面影响,因为政府面临大量需要财政支持的社会需求(例如失业、小企业破产风险、医院和医疗保健),同时期望减少税收。在这种情况下,公共交通必须与其他几种社会需求竞争财政支持。

关于车费支付,公共交通使用的新规则可能对减少收入产生不良影响。如果司机与乘客没有身体分离,可以建议强制性后门登机以避免司机和乘客之间的接触。

自 2020 年 3 月起, 该政策已在圣地亚哥和蒙特利尔等城市以及荷兰实施。但在依赖前门登机的乘客支付车费的系统中, 后门登机会带来财务风险, 例如诱导或强迫搭便车。除了这个问题之外, 由于传染风险增加, 可能无法进行传统的机票检查, 检查员会接近乘客以检查他们是否持有有效的机票或旅行通行证。如果没有可用的替代付款方式, 这可能会导致逃票行为增加。

由于需求减少以及由此导致的公共交通财务压力, 面临的最大问题是公共交通提供商如果不获救则可能破产。一些国家可能有能力支持公共交通, 而其他国家可能没有。在低收入和发展中国家, 公共交通通常不受监管或监管不力, 没有适当的安全或卫生标准, 也没有公共补贴, 司机的收入直接取决于每天运送的乘客数量。此类系统和提供此类公共交通服务的人员的财务状况在很大程度上取决于 COVID-19 危机的最终持续时间。

社会公平

正如美国、加拿大和智利等不同国家 / 地区的数据所报告的那样, 在 COVID-19 危机期间在家工作已被证明主要是高收入工作的特权。根据从德国、英国和美国的 20,000 名受访者收集的调查数据, Adams-Prassl 等人得出的结论是, 受教育程度较低的工人和妇女更容易受到大流行病对劳动力市场影响的负面影响。预计大流行病的长期影响不仅会加剧国家内部的差距, 而且会加剧各国之间的差距, 因为各国在从危机中恢复的机智水平不同。

在这种情况下, 公共交通作为社会融合而非社会隔离的动力的愿景在今天似乎比以往任何时候都更加遥远。随着 COVID-19 大流行, 人们放弃了公共交通工具, 但并非一律如此: 高收入群体有更多人放弃了公共交通工具。最近的一项调查比较了圣地亚哥在冠状病毒危机爆发前的最后一周与 2020 年 3 月采取全国性措施遏制该病毒的第一周的旅行, 发现来自高收入家庭的人停止乘坐公共交通工具的人数最多。虽然最低收入家庭的公共交通出行次数下降了 30% 至 40%, 但最高收入家庭的公共交通使用下降幅度超过 70%。这些数字量化了这样一种说法, 即离开公共交通工具的人主要是那些可以选择这样做的人——通过在家工作、能够支付替代交通工具的费用以及通过网上购物——而那些继续出行的人乘坐公共交通工具的主要是收入较低的人。不同社会群体之间旅行行为适应率的这种差异可能会在整个后危机时期以某种方式继续存在。因此, 今天改善公共交通比以往任何时候都更关乎社会公平。

可持续流动性

由于新的物理距离行为和对 COVID-19 传染的恐惧, 公共交通需求急剧减少, 这对未来城市交通的可持续性提出了几个问题。设计一项计划, 使公共交通在一段可能会延长的时期 (危机后) 保持安全 (只要对新病毒没有广泛的免疫力), 需要政策制定者、公共交通机

构、工人和用户。目标应该是确保公共交通尽可能安全, 并且它可以容纳和吸引更多的人, 而不是那些没有其他可行选择的人。

如果公共汽车和火车在 COVID-19 时代几乎空无一人, 那么促进公共交通的经济和环境效率论点将受到严重挑战, 剩下的唯一论点就是为那些必须出行的人提供机动性, 因为公共交通是他们的交通工具唯一的选择。如果实施新的物理距离和占用规则, 一项有效的研究是公共交通工具占用的需求阈值 (即盈亏平衡点), 它使公共汽车在能源消耗、拥堵和污染方面比私家车更有效率。例如, 考虑道路空间消耗。在 COVID-19 危机爆发之前, 圣地亚哥的公共汽车平均载客量在 28 到 65 人之间 (考虑到高峰期和非高峰期), 而汽车的平均载客量在 1.4 到 1.5 人 / 车之间。因此, 考虑到每辆公共汽车两到三辆汽车的乘用车当量 (PCE), 估计汽车用户占用的道路空间是公共汽车用户的 10 到 15 倍。因此, 公共汽车的平均占用率可以大大降低, 同时在道路空间的使用方面仍然是一种比驾车出行更有效的方式。

三、前进的道路: 政策方向和研究议程

在下文中, 我们确定并讨论了潜在在政策干预的关键方向以及需要知识进步的领域。本节概述了一项研究议程, 以解决一系列已确定的研究差距、与公共卫生考虑有关的问题以及减少公共交通拥挤的措施。

交通规划中的公共卫生考虑

将公共卫生考虑纳入服务规划

如果不采取适当措施, 人们共享相同设施和车辆的客运特别容易传播病毒。对于大众公共交通来说尤其如此, 许多来自不同起点和目的地的乘客在拥挤的环境中出行。那么问题是, 公共交通系统应该承担哪些成本——以预防措施和延长出行时间的形式——以减少与传染病相关的公共卫生风险。尽管这会带来不安, 但社会对于他们愿意为挽救生命做出多少牺牲是有限度的。无论假设的风险水平如何, 这都需要做出道德选择, 正如 Chorus 指出的那样, 这在交通政策领域绝不是新鲜事。例如, 考虑决定是否投资一条可以节省乘客时间的线路, 而不是一项旨在降低致命事故风险的安全措施。此外, 在 COVID-19 背景下做出决策时, 这涉及在抽象但严重的风险与许多人的经验和烦恼之间进行权衡。因此, 需要方法来支持基于证据的决策, 并需要专业人员向决策者和公众传达所面临的困境和做出的决定。

公共交通中的身体距离

在 COVID-19 封锁期间, 人们普遍认为必须尽量减少旅行, 只允许必要或不可避免的旅行。随着活动在封锁后恢复, 引发了公共交通中保持身体距离的问题。迄今为止, 可用的稀缺实证研究并未提供关于在公共交通设施和车辆等封闭环境中保持物理距离的影响的确凿证据。尽管有限, 但有证据表明, 如果实施其他非药物措施, 例如正确使用口罩、加强卫生, 甚至禁止谈话, 可

以大大降低公共交通中保持身体距离的相关性（新加坡案件）。一方面，如 Shen 等人所报告的那样，如果室内环境中的传染可能由于空气传播而发生在两米以上的距离。并在最近的流行病学文章中进一步讨论，那么不戴口罩仍然存在病毒传播的风险。在有受感染的乘客在场的情况下，保持身体距离有助于减少感染人数，但在乘客不戴口罩的情况下并不能完全防止感染。另一方面，最新的流行病学研究表明，口罩可有效预防或至少显着减少 COVID-19 病毒传播。正如日本最近报道的那样，目前公共交通系统的客流量很大，乘客间距低于两米的物理距离规则，而且当每个人都戴口罩时，公共交通不会爆发 COVID-19。在该国，最近发现大多数 COVID-19 传染群起源于人们聚集、饮食、聊天和唱歌的地方，例如健身房、酒吧、现场音乐场所和卡拉 OK 室。没有集群与通勤列车相连。病毒学家 Hitoshi Oshitani 假设在公共交通工具中陌生人之间的近距离交谈很少见，这是对发现的解释之一。这种结果导致新加坡决定不在公共交通中执行严格的身体距离规则，而是要求乘客戴上口罩，不要互相交谈。

尽管普遍采用口罩可能带来很大的安全收益，但如果所有乘客在大流行的不同阶段都佩戴不同类型的口罩（外科口罩、布口罩、N95），公共交通工具或车站的安全性有多高尚不得而知，与如果只有他们的一个子集这样做。这是一个最相关的问题，因为它可以帮助确定公共交通的“合理”占用率，这是一个具有重大经济、运营和社会影响的因素。换句话说，如果在人们不戴口罩的情况下，两米的物理距离在公共交通工具中无法正常工作，那么如果所有人都正确使用口罩，车辆的最大载客量应该是多少？东京和首尔等亚洲大城市目前的经验表明，在普遍使用口罩和高卫生标准的情况下，公共交通中小于一米的物理距离似乎效果很好；然而，这些地方目前的病毒流行情况尚不清楚。这种在不设置严格的物理距离规则的情况下使用公共交通的方法的演变，应在不久的将来密切关注，以了解允许其在世界其他城市复制的条件。

值得强调的是，关于不同使用和运营规则（包括采取预防策略）下公共交通中 COVID-19 传播风险的确凿证据仍然很少，预计未来几个月将获得新的见解。由于新的物理距离要求而导致的新的最大入住标准问题是一个多方面的挑战，取决于口罩的使用、消毒和通风等因素。但是，由于一些乘客没有（正确）戴口罩，情况可能不太明确。因此，我们在下文中假设可能需要某种形式的物理距离，这是许多国家当前的现实。

COVID-19 背景下服务效率、有效性和稳健性之间的权衡

正如这场大流行危机清楚而痛苦地证明的那样，所有交通方式提供的连通性不仅是一种资产，也是思想交流和交流的催化剂商品，也是逆境的潜在催化剂，例如

病毒。系统稳健性是根据其承受冲击和恢复功能的能力来衡量的。在大流行及其后果时代提供公共交通服务涉及有效性（根据提供的可访问性和服务水平定义）、稳健性（与公共交通出行相关的健康风险）、和效率（提供给服务供应所需的资源量）。通常情况下，效率和稳健性之间存在内在冲突，因为后者需要设计更大的裕度和储备，这意味着在正常情况下存在冗余。鉴于全球许多公共交通服务提供商已经经历了不利的财务状况，这一点尤其令人担忧。在遵守物理距离措施并因此降低容量标准的情况下，从运营商的角度来看，稳健的解决方案不仅会导致效率低下（即需要额外的资源），而且还会导致效率低下，因为它会导致 - 服务由于预计频率较低，因此在危机后阶段等待时间较长。

衡量系统弹性及其恢复功能的能力鉴于公共交通系统作为关键基础设施和对整个社会的重要性，必须采取措施来减轻病毒在公共交通系统中传播的影响，同时保持其作为关键基础设施的功能对其他可能。McDaniels 等人提出的浴缸模型。提供了一个概念框架，用于分析发生中断时系统性能的演变。在公共交通方面，系统性能可以根据提供的原始容量份额、运输的乘客总数、总乘客公里数以及因中断造成的总乘客时间损失来衡量。公共交通系统的稳健性和弹性的概念化和分析主要限于供应性能和乘客可达性和连接性。大流行对系统造成了冲击，导致系统性能突然下降，对其核心功能产生了影响。世界上一些地区目前正在经历复苏期的不同阶段。恢复期间系统性能有所提高，但不能保证 (1) 系统恢复将遵循单调模式、挫折，例如在所谓的“第二波”之后引入更多限制性措施，以及 (2) 系统性能将恢复到其原始水平（即，恢复可能会产生新常态）。这需要开发概念和方法来评估系统弹性，同时包括对公共健康的影响以及可访问性、公平性、可持续性和财务可行性。

评估病毒在公共交通中的传播

了解和量化病毒在公共交通系统中的传播对于评估替代方案和策略的公共卫生后果至关重要。因此，迫切需要耦合交通模型和流行病学模型，以便分析由此产生的联系图及其空间后果。联系网络反映了一个人在公共交通旅程中可能遇到的一组乘客。交通模型将出行需求分配给服务网络，输出将用作流行病学模型的输入，然后更新与病毒携带相关的出行需求群体的状态。任何给定日期的每位乘客都可能具有以下状态之一：易感（未感染）、感染（并旅行）、隔离（已感染但未旅行）和免疫（并再次旅行）。然后将乘客需求重新分配给网络，以分析病毒传播的演变并获得关键绩效指标，例如已被感染的乘客人数比例或消除新病例数所需的天数。由于病毒传播需要与受感染的乘客身体接近，因此必须分析个别乘客的轨迹和由此产生的拥挤程度。Krishnakumari 和 Cats 演示了如何使用详细的智能卡轨迹来做到这一点。他们根据假设最初被感染者的轨迹，估

计了每位乘客在旅程的任何部分所经历的拥挤情况,以及一个人与被感染者接近的可能性。这种建模功能允许测试各种需求水平、服务提供和假设的病毒传播特征的潜在后果,以支持退出策略和大流行后现实的设计。

接触者追踪以降低病毒在公共交通中传播的风险

医学发展(例如对更多公众进行检测和加快诊断速度)将通过减少受感染乘客的出行数量从而降低健康风险,从而显着影响病毒在公共交通中的潜在传播给别人。为此,接触者追踪还可以支持缩短诊断前潜在病毒携带者的接触时间。世界各国政府已经推出或正在推出旨在促进这一点的接触者追踪应用程序。在公共交通方面,智能卡数据验证可用于公共交通系统中的接触者追踪,正如 Krishnakumari 和 Cats 为华盛顿特区地铁系统所展示的那样。被动收集的票价数据为进行联系人追踪研究提供了一个独特的来源,并支持根据记录或推断的乘客轨迹识别联系人网络。在仅需要点击和/或提供基于站点(而不是基于车辆)验证的系统中,下车站点和车辆推理方法的应用将很有帮助。

避开人群:适应保持身体距离的规定

物理距离对服务能力的影响 公共交通部门目前的重点是调整服务以遵守物理距离要求以及车辆和车站的清洁度,以遵守政府指示并降低公共卫生风险。然而,如上所述,目前还没有确凿的证据表明严格的物理距离规则的相关性(因为如果人们不戴口罩,在封闭环境中两米可能不够,而且公共交通系统的占用率很高,其中每个人都戴口罩效果很好)。遵守物理距离要求的代价是所提供的服务容量急剧下降,从而导致系统满足需求的能力下降。例如,假设乘客在站台和地铁列车之间间隔开,以确保与任何同行者的最小距离为 1.5 米(约 5 英尺),这意味着可容纳 312 名乘客,华盛顿地铁减少了 80% 以上直流地铁。同样,作为保持当前公共距离的一种方式,可以建议标准 12 米长的公共汽车的最大载客量为 18-20 名乘客。但是,随着大流行的发展和可靠的流行病学知识的出现,任何新的 COVID-19 诱导能力指南都应该重新审视和评估。在许多系统中,通过每小时或每天车辆增加容量(作为抵消每辆车容量减少的一种方式)不是一种选择,因为服务已经在高峰期满负荷运行,或者因为资源短缺(缺乏更多的车辆、司机和操作员)。这在即将到来的时期可能特别具有挑战性,因为收入减少导致预算有限,大流行本身导致司机可用性减少,或者由于需要保护风险较高的司机(例如,60 岁以上患有慢性病的工人)。司机工会也可能要求在大流行期间减少工作时间和轮班次数,以减少接触病毒的机会。处理因 COVID-19 相关问题可能造成的员工缺勤是公共交通运营商普遍关心的问题。

重新设计服务以适应普遍的需求模式和运力限制

考虑到新的、更具限制性的运力限制,公共交通服务可能会重新设计,以更有效地满足乘客需求。例如,

可以重新设置服务频率,以最大限度地提高可满足的乘客需求份额,如华盛顿特区地铁网络的 Gkiotsalitis 和 Cats 所证明的那样。服务重新设计还可能超出对现有服务的重新分配,涉及服务配置的更改;例如,在停止模式和短转方面,更好地调整供应以适应不平衡的需求空间模式。这需要在战略、战术和运营决策中潜在地引入物理距离限制,并考虑其后果。

不满足部分旅行需求会产生公平影响,应该对其进行评估并将其纳入决策过程。按需交通服务可用于满足基于线路的公共交通无法满足的需求。通过按需共享服务出行预计会导致联系网络规模有限。此外,除了运送留守乘客外,按需服务还为老年人和医护人员等高危人群用户提供上门接送服务。墨西哥等国家已经实施了共享出行公司为医护人员提供专属服务的安排。

有效管理有限容量

有多种方法可以管理稀缺资源。一种选择是让人们排队等待这些服务,在他们上车之前可能会被拒绝几次。这不仅会严重拖长出行时间、服务不可预测、引发不满,还会造成大量人群排队等公共健康风险。另一种方法是限制访问。根据服务类型和票价验证技术,可能会部署预订系统,让乘客在特定时间段内或按特定轨迹旅行,或者更好的是,按照特定路线旅行。这将有助于管理服务能力,从而确保遵守物理距离要求,并将限制每位乘客在较长时间内接触的乘客数量。然而,预订系统是以限制旅行者的自发性(即导致日程安排延迟)为代价的。这种解决方案的可行性可能仅限于已经具备数字计费 and 订阅功能的系统。访问可以基于设置优先级甚至限制。例如,旅行可以优先安排或仅限于必要的工作人员,例如医疗支持人员和无法远程执行工作的职业用户,从而减轻一些社会公平的影响。某些时间段可能会限制某些用户组,例如只允许老年人在上午 10 点到下午 4 点之间出行。这种优先排序或限制应由地方决策者制定。或者,定价可以用作管理容量的工具。例如,可以在非高峰时段提供更大的折扣,以刺激可以改变出发时间的乘客这样做,从而减少运力稀缺时期的拥挤程度。移动即服务(MaaS)生态系统可以通过提供信息和支付的集成平台,在支持和促进不同(新)模式的顺利使用方面发挥关键作用。此外,MaaS 平台可以发挥作用,促进潜在的公共交通预订系统,并为不同部门或风险群体应用不同的票价和优先级。

有效管理拥挤以降低公共健康风险

由于物理接近目前被认为是病毒传播的先决条件,因此拥挤管理对于对抗它至关重要。这适用于公共交通系统的所有区域,包括除车辆外的站台和车站走道,以最大限度地减少乘客出行各个环节的拥挤:步行、候车、乘车和换乘。单向入口、通道和楼梯等车站的拥挤管理措施有助于隔离人流并减少乘客之间的身体互动。同样,指定的车门可能用于上下车,尽管这项措施可能会增加

以前允许从所有车门上车的站点的停留时间。

公共交通优先和控制措施也可以在缓解乘客拥挤方面发挥关键作用。在封锁后的时期,由于旅客从公共交通工具转向汽车,如果管理不当,拥堵可能会加剧。随着拥堵加剧,支持公共交通的运营措施将比以往任何时候都更加必要。专用公交车道不仅可以降低运营成本 and 公共交通用户的出行时间,还可以减少车辆和公交车站的拥挤情况。如果公交车队保持不变,由于服务频率的增加,出行时间的减少将转化为每辆车平均占用率的按比例减少。同时,由于公交车之间的发车间隔不规律导致不必要的过度拥挤(一辆半空的公交车随后满载的公交车),即使系统的总容量足以满足公共交通出行的需求,控制措施在 COVID-19 大流行期间,减少拥挤的公共汽车发车间隔将变得比以往任何时候都更加重要。应对公交拥堵的策略包括等候、跳站和限速。

传播乘客需求的机会

公共交通需求通常是派生需求,即人们出行是因为他们需要在目的地进行的活动。因此,降低车站和车辆的占用率不能仅通过供应导向措施来实现,还需要部署需求管理措施。实际上,所有措施都旨在减少因公共交通出行而产生的联系网络的规模和连通性。鼓励在家工作和避免不必要的旅行是最重要的措施之一。随着封锁后阶段的逐步开放,鉴于物理距离要求下公共交通服务的容量大大减少,高需求服务在高峰时段将不可避免地供不应求。因此,尝试尽可能多地在时间和空间上分发服务是关键。在此,重要的是要协调经济和社会不同部门的退出战略计划,尝试安排工作、学习和购物模式,以在较长时期内分散需求。这需要利益相关者之间的协调,并且在 COVID-19 危机过去后应该继续有益。尽管如此,预计某些公共交通服务在某些时间段内的运力仍将是供不应求的资源。

旅行信息在缓解拥挤方面的潜在作用

有关船上拥挤状况的信息越来越多。一些旅游应用程序(例如 Google Maps Transit 服务、Moovit)根据用户对拥挤体验的历史反馈提供拥挤信息。此外,由荷兰铁路、东京铁路和新加坡巴士等个别服务提供商开发的应用程序会根据车辆占用负载的实时数据(例如,来自重量传感器的数据)发布拥挤信息。相比之下,迄今为止,关于即将出发的车站拥挤信息显示的实施受到限制。由于大流行,乘客不愿意乘坐拥挤的车辆的情况可能要高得多,这反映在比之前报道的更严重的拥挤处罚上。因此,预计会有更多乘客寻求拥挤信息并相应地调整他们的旅行计划。这可以证明是在可用供应上分配旅行需求的有效方式。一个关键的挑战将是确保所提供信息的可靠性不会因过度反应而受阻,从而违背其目的。这要求开发受汽车交通环境发展启发的需求预期旅行信息方案,这一直是大量研究的主题。

乘客进行的行为反应和适应

乘客可能会进行各种行为适应,以应对 COVID-19 大流行情况和相关的锁定和退出策略。主要动机是避免接触病毒。在没有更好信息的情况下,这通常意味着遵循避开人群的原则。这会影响所有的旅行选择,从改变路线到不那么拥挤的路线,改变出发时间以避免高峰,模式转变为私人使用(最好是拥有)模式,改变旅行目的地(例如,到不那么拥挤的商店),或者避免一起旅行(例如网上购物)。所有这些决定都会对出行方式和乘客量产生重大影响。人们进行这种适应的意愿和能力差异很大,这取决于个人偏好以及家庭收入和构成、物流、工作时间灵活性、在家工作、数字熟练程度和车辆可用性。所有这些都意味着人们在愿意时避开人群的能力存在相当大的不平等,一些初步证据支持这一点。

结论:

公共交通对于保证日常生活中的机动性至关重要。尽管如此,由于 COVID-19,全世界的人们都在减少旅行并避免乘坐公共交通工具。由于公共交通似乎在 COVID-19 的传播中发挥了重要作用,因此它面临着重大危机。因此,需要采取更多措施来防止 COVID-19 在公共交通工具上传播。正如 Przybylowski 等人建议,为防止人们因感染 COVID-19 的风险而避免乘坐公共交通工具,政府应提供准确的指导方针并实施适当的政策,以帮助人们认为公共交通工具是安全的

COVID-19 大流行给全球公共交通系统带来了巨大挑战。本文审查了现有证据,因为它涉及几个因素对减少或增加公共交通中 COVID-19 传染风险的影响,包括车辆和车站的占用水平、暴露时间(行程长度)、面罩的使用,以及强化卫生标准(包括消毒和通风)的应用。持续的大流行迫使政策制定者在不确定背景下做出决定。

传染的绝对风险在很大程度上取决于社区在任何特定时间的疾病流行情况,因此对公共交通工具使用的任何限制或规定都应根据疫情爆发的阶段进行不同的调整。需要对此问题进行详细分析,从公共卫生的角度确定导致公共交通使用风险增加的传染程度。尽管如此,关于如何确保公共安全或至少显着降低传染风险的一些有希望的证据正在出现,特别是对封锁后阶段的影响。现在下定论还为时过早;需要进行更多研究,以评估在大流行的不同阶段采取适当的病毒遏制措施后,公共交通的真正安全水平。这是一个最相关的问题,因为如果公共交通被大多数人认为是不安全和不健康的,它将无法发挥其应有的社会作用,包括可达性、可持续性和公平性。寻找疫苗或解除封锁措施等某些事态发展超出了公共交通部门的控制范围,但上述许多措施都属于公共交通服务提供商的主要责任范围。这也将有助于向公众保证已采取适当措施。在此期间,沟通、公共关系和安全措施的执行尤为重要。

存在的风险是,如果公共交通部门被视为在向两米

距离条件过渡时表现不佳,那么公共交通不健康的看法将会深入人心,甚至可能在事后持续下去,从而导致新习惯的形成。我们的社会需要公共交通服务才能繁荣发展,并应对最重要且持续存在的关键社会挑战。因此,至关重要的是要避免助长对公共交通使用不健康的刻板印象,这可能会比大流行本身持续时间更长,并阻碍公共交通服务的长期前景。

参考文献:

- [1] CDC . Centers for Disease Control and Prevention (CDC); 2020. Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): How to Protect Yourself & Others. Last Updated July 31, 2020. https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/prevention.html?CDC_AA_refVal=https%3A%25.
- [2] CDC. 2020b. “Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): COVID-19 Employer Information for Office Buildings.” Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Last Updated July 9, 2020. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/office-buildings.html>
- [3] CDC. 2020c. “Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): Protect Yourself When Using Transportation.” Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Last Updated August 3, 2020. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/daily-life-coping/using-transportation.html>
- [4]Chorus, C. 2020. “Moral decisions and the corona crisis - insights from the BEHAVE-research program.” BEHAVE. March 28, 2020.
- [5] Carey, C. 2020. “ViaVan offers free rides to Berlin healthcare workers.” *CitiesToday*. March 25, 2020. <https://cities-today.com/viavan-offers-free-rides-for-berlin-healthcare-staff/>
- [6] Rahman A., Kuddus M.A. Modelling the Transmission Dynamics of COVID-19 in Six High-Burden Countries. *Biomed Res. Int.* 2021;2021:5089184. doi: 10.1155/2021/5089184.
- [7] Chen S., Paul R., Janies D., Murphy K., Feng T., Thill J.C. Exploring feasibility of multivariate deep learning models in predicting COVID-19 epidemic. *Front. Public Health.* 2021;9:661615. doi: 10.3389/fpubh.2021.661615.
- [8]Y ang S., Liu Y., Chen K., Li T., Huang Y., Chen X., Qi P., Xu Y., Yu F., Yang Y., et al. A dynamic model of the Coronavirus Disease 2019 outbreak to analyze the effectiveness of control measures. *Medicine.* 2021;100:e23925. doi: 10.1097/MD.00000000000023925.
- [9] Meng F., Gong W., Liang J., Li X., Zeng Y., Yang L. Impact of different control policies for COVID-19 outbreak on the air transportation industry: A comparison between China, the US and Singapore. *PLoS ONE.* 2021;16:e0248361. doi: 10.1371/journal.pone.0248361.
- [10] Chen Z., Shu Z., Huang X., Peng K., Pan J. Modelling analysis of COVID-19 transmission and the state of emergency in Japan. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2021;18:6858. doi: 10.3390/ijerph18136858.