

Development Status of Data-Link Communication System in the Next Generation Air Transportation System

Hui Du, Chengyu Zhang

College of Psychology, Shaanxi Normal University, Xi'an Shaanxi
Email: 676357995@qq.com

Received: Feb. 6th, 2015; accepted: Feb. 20th, 2015; published: Feb. 26th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

In order to adapt to the rapid growth of air traffic flow, Data-link Communication System was put forward as an important communication resource in the next generation. The ground-to-air communications system was generally called "Data-link", which was used to build a bidirectional data communication between air craft and ground system. Over the past few decades, the ground-to-air communication has been mainly completed by voice system. Compared with the traditional voice communication, Data-link Communication System has many significant advantages. However, it still has a lot of shortcomings in using process. Although current study on Data-Link Communication System doesn't have a consistent conclusion, there are still evidences which show that if the data link communications completely replace the voice communication, it can prevent 37% communication errors; if additional system is designed to determine whether the pilot understands relevant information, it can reduce 30% errors. The data link has brought a huge challenge to the air traffic control system and the pilot. The present study focuses on overcoming technical and potential safety problems to implement the next generation air transportation system completely.

Keywords

Data-Link Communication System, The Next Generation Air Transportation System, Aviation Safety

数据链在下一代航空运输系统中的发展现状

杜 晖, 张成玉

陕西师范大学, 心理学院, 陕西 西安
Email: 676357995@qq.com

收稿日期: 2015年2月6日; 录用日期: 2015年2月20日; 发布日期: 2015年2月26日

摘要

为了适应迅速增长的空中交通流量, 数据链通讯系统(Data-link Communication System)作为“下一代航空运输系统(NextGen)”的重要通讯资源而被提出。“数据链”是地空数据通讯系统的一个统称, 该系统用于建立飞机与地面系统间的连接, 实现地面系统与飞机间的双向数据通讯。在过去的几十年中, 地空通信主要通过语音系统实现, 与传统语音通讯相比, 数据链具有更显著的优势。然而, 数据链通讯系统在使用过程中仍然有一些缺点存在, 尽管目前的研究对数据链通讯系统能否适用于飞行驾驶舱还没有一致的结论, 但仍有一定的数据显示, 如果数据链通讯完全取代语音通讯, 能够预防37%的通讯错误, 而且, 如果设计额外的系统来确定飞行员理解了相应的信息, 又能减少30%的错误。数据链的引入, 给空中交通管制系统和飞行员带来了巨大的挑战, 目前的研究旨在克服技术和潜在的安全问题, 以全面地实现下一代空运系统。

关键词

数据链通讯系统, 下一代航空运输系统, 航空安全

1. 引言

1.1. 背景

随着经济的迅速发展, 空中交通流量显著增长, 目前的空中交通管理系统将无法适应这种增长而必须做出改变。针对这种挑战, 工业财团、科研机构和政府组织共同提出了一个革命性的概念——“下一代航空运输系统”(NextGen), 它将会是一个更加安全、有序和高效的系统, 这就需要全新的空中交通管理系统来实现, 不仅包括飞行员在内的所有操作者在任务、角色、责任上有着重大的转变, 而且相关的人机界面、驾驶舱显示、等效视觉操作系统和监控系统都将全部更新(Shelton, K. J. & Bailey, R. E., 2009)。随之而来的一系列相关问题也亟待被研究解决。

为实现下一代的概念性目标, 全新的概念、工具和技术需要被开发应用, 其中就包括实现信息实时共享的中心网(net-centric)概念(Kraut, J. M. & Kiken, A., 2011)。由于传统地空通讯是通过雷达以语音形式实现的, 其自身的弊端可能导致航空安全隐患, 也无法实现下一代的概念性功能, 由此数据通讯系统(Data-link Communication System)的概念被全面提出。作为下一代的重要通讯资源, 数据链传输网络中, 任何一架飞机及地面控制指挥中心将能够共享实时信息, 以适应随时变化的因素, 如空间信息、天气状况、安全信息, 以及飞机的运行状况, 同时, 还能使空中交通管制员与机组人员沟通并商定整个飞行计划的即时改变。

1.2. 数据链及应用

数据链是地空数据通讯系统的统称, 该系统用于在机载设备和地空数据通信网络之间建立飞机与地面系统之间的连接, 实现地面系统与飞机间的双向数据通讯(AC, 2008)。数据链在空中交通服务(ATS)

通信上的应用包括空中交通管制(Air Traffic Control, ATC)和飞行信息服务(Flight Information Services, FIS), ATC 通信又包括自动相关监视(Automatic Dependent Surveillance, ADS)、管制员 - 飞行员数据链通信(Controller Pilot Data Link Communications, CPDLC)、关联管理(Context Management, CM)或空中交通服务设施通告(ATS Facilities Notification, AFN) (Maryland Inc, 2005)。

计划到 2030 年, 85%的空中交通服务(ATS)通讯将通过数据链机载终端操作区(Terminal Maneuvering Area, TMA)实现。美国国家航空航天局(NASA)开发了驾驶舱显示概念,关注如何在下一代中利用更加先进的航电技术更加直观得呈现数据链信息和图像信息,以实现 4DT 最优化显示(Shelton, K. J. & Bailey, R. E., 2009)。这总共包括 6 个方面, 驾驶舱主显(PFD)、领航仪(ND)、电子飞行包显示(EFB)、平视显示器(HUD)、表面地图显示(SMD)和机载冲突检测报警系统。

现代化的 FD-ATC 系统包括: 机组人员、ATCOs、地勤人员、辅助组织(如航空公司、服务人员)、以及相关的操作和程序。举个例子: 一个标准飞机上, 飞行员需要与其他机务人员以及不同的空中交通管制运营商(ATCOs)沟通; 飞行员需要从驾驶舱仪表盘和显示屏上获取信息; 也可能从其他飞机和 ATCOs 间“窃听”到信息。这些信息将调动飞行员和空管人员的注意分配、工作负荷、情景意识, 以及随后的通讯行为(Stedmon, A.W. & Nichols, S.C., 2003)。

随着新航空业的发展, 航路的拓展, 一些地方无法通过传统的雷达和语音手段来进行管制, 因此基于数据链的自动相关监视技术就成为了唯一的选择, 这条航路以 ADS(自动相关监视)替代雷达监视, 以 CPDLC (管制员飞行员数据链通信)替代话音通讯, 实现了卫星导航、数据链通信技术在航路飞行中的综合应用。

ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast)是 ADS 技术的进一步发展, 即广播式自动相关监视。是一种机载电子设备使用数据链完全自动广播飞机的呼号、位置、高度、速度和其他一些参数的技术。ADS-B 系统由多地面站和机载站构成, 以网状、多点对多点方式完成数据双向通信。机载 ADS-B 通信设备广播式发出来自机载信息处理单元收集到的导航信息, 接收其他飞机和地面的广播信息后经过处理送给机舱综合信息显示器。机舱综合信息显示器根据收集的其他飞机和地面的 ADS-B 信息、机载雷达信息、导航信息后给飞行员提供飞机周围的态势信息和其他附加信息(如: 冲突告警信息, 避碰策略, 气象信息), 同时方便空中交通管制员准确跟踪该飞机。

1.3. 语音通讯(Voice Communications)和数据链(Data-Link Communications)

在过去的几十年中, 地空通信主要通过无线电雷达实现, 因此, 语音通信是地空最主要的沟通媒介。对于飞行员和空中交通管制员(ATCs)来说, 语音通信有很多优点, 其中最主要的优点是: 使用简单方便、传输速度快、回复及时、传达情绪(表明任务的紧急性和意图)、对话灵活、汇流效应(Shelton, K. J. & Bailey, R. E., 2009)。研究表明, 目前阶段, 无线电通信是必要的陆空通信方法, 因为飞行员使用语音通讯报告和确认飞行条件(如, 高度、速度和方向), 需要通过语音通讯频繁地与 ATCs 确认, 以迅速做出关键的判断(Stedmon, A.W. & Sarah Sharpies, 2007), 同时, 能够增加飞行员对于周围的环境的情况意识, 也称汇流效应(Navarro, C. & Sikorski, S., 1999)。而语音通信的缺点也显而易见, 主要有: 语言误解(如歧义、指代不清、术语、文化等等), 识别错误的呼叫信号、干扰拥堵等。

Prinzo 调查了飞行员和 ATCs 间的通讯之后, 得出了如下结论: 使用语音通信的概率越小, 出现通信错误的几率也就越小, 而有研究者也指出, 语音通信也可以成为导致空中交通事故的一个根源(Lin Chiuhsiang Joe, Lin Po-Hung, Chen Hung-Jen et al., 2012)。Helleberg 和 Wickens 表示, 特内里费灾难的主要原因是“通信误解”, 即飞行员和 ATCs 之间的语音通信出现的错误(Helleberg, J.R. & Wickens, C.D., 2003)。此外, 语音通信还存在一个最明显的问题: 所有航空公司的语音通讯都处于相同的频率, 所以这

个飞行员可能会接收到其实是发送给其他飞行员的错误的信息。这种情况可能引起飞行员的困惑，也可能导致飞行员漏掉消息，因为他需要注意所有的讯息，并辨别出发送给他的指示。从另一个角度来看，ATCs 负责的飞机流量很大，他们的工作负荷也非常大，容易出错，这在许多机场都很常见。吉布森表示，工作负荷是影响飞行安全的一个关键因素(Gibson, J., Orasanu, J., Villeda, E., & Nygren, T. E., 1997)。事实上，繁重的工作负荷与许多沟通问题有关，如广播带宽拥塞、通信干扰和错误以及语言问题。

空中飞行安全高度依赖于空管和飞行员之间的信息交流，由于无线电通讯固有的瓶颈以及频繁发生的延迟，急需开发另外一种模式的通讯技术，数据链的发展应运而生。与无线电相比，数据链通讯系统在很多方面是有优势的。例如，应用数据链系统降低了听力工作负载(Corwin, 1990)、减轻记忆负担、(Helleberg, 2003)并增加了可理解性；而且，基于文本的信息增强了理解性，文本信息还可以被永久保存、提取。然而，数据链通讯系统在使用过程中仍然有一些缺点。首先，理解基于文本的消息所需的时间较长，并且增加了飞行员和 ATCs 之间的响应时间。第二，操作界面增加飞行员的低头查看时间及视觉负荷。第三，数据链系统可以影响飞行员的注意力和情景意识。由于他们的注意力在操作界面系统，而忽视了外界环境中的其他信息。当缺乏足够的外环境情境意识，飞行员会花更多的时间和认知资源来辨别周围的问题。第四，数据信息被飞行员忽略或是未执行，而空管没有得到及时有效的回执(Kraut, J. M. & Kiken, A., 2011)。

根据这些结果和讨论，似乎没有结论性的结果能够说明，数据链通讯系统是否适用于飞行驾驶舱。但仍有一定的数据显示，如果数据链通讯完全取代语音通讯，能够预防 37%的通讯错误，而且，如果设计额外的系统来确定飞行员理解了相应的信息，又能减少 30%的错误(Lin Chiuhsiang Joe, Lin Po-Hung, Chen Hung-Jen et al., 2012)。

1.4. 数据通讯系统对机组人员的影响

一直以来，通信对航空安全至关重要(Hawkins, F. H., 1993)。空管和机组人员间数据通信的引入，可能从根本上改变空管 - 驾驶员通信以及机组内沟通的角色、职责、频率和模式。由于新技术的引入，还存在着研究不足、理解不同以及难以预料的副作用(Billings, C. E., 1997)。

Orjan Goteman 采用现场试验的方法，研究 CPDLC 对机组人员内部沟通合作的影响(Orjan Goteman, 2010)。研究历时 11 个月，随机选取 10 条航线，由研究人员在驾驶舱内对机组人员的沟通合作情况进行观察、记录、统计并进行试验后访谈。

研究结果发现：1) 空管 - 飞行员间的数据通信比其他机组任务优先得到处理，尤其是在高速操作环境下。2) 数据通信将不再有冗余信息和汇流效应，CPDLC 的自动化在一定程度上模糊了飞行员和副驾驶的角色职能。语音通讯模式下，飞行员和副驾驶同时听到空管指令，都参与进沟通环路，对信息进行确认和回执，副驾驶要确保飞行员的操作与空管控制传递的信息是一致的。通过数据通信，空管发送的信息对飞行员和副驾驶不是同时可见的，飞行员不参与沟通环路，除非副驾驶读出信息与飞行员进行沟通。观测发现，高任务负荷的情况下，在一些机组中，副驾驶没有与其他机组成员沟通信息即对空管做出迅速回应，这种行为将显著减少驾驶舱内部沟通。即飞行员和副驾驶间的通信若被干扰，飞行员可能无法接收并执行空管指令。CPDLC 技术的引入的确给常规驾驶工作带来了很大变化，积极的方面是飞行员和空管之间的通信链路被加强了，减少信息误解和语言障碍问题。消极影响是 CPDLC 改变了驾驶舱内沟通链，改变了先前的沟通路径和回执程序。

Chiuhsiang Joe Lin 在模拟情境下研究通信媒介、飞行阶段、及驾驶舱角色对飞行员工作负荷情景意识的影响(Lin Chiuhsiang Joe, Lin Po-Hung, Chen Hung-Jen et al., 2012)。研究表明飞行阶段是唯一显著的影响因素，巡航阶段工作负荷最低、情景意识较高。在常规飞行中，通信媒介没有显著差异，即 CPDLC

至少和语音通信一样,适用于常规飞行的所有阶段。在巡航阶段的初始,飞行员的情景意识在不同通信媒介上有显著差异,此时,数据通信有利于最高的情景意识。即低任务负荷下,数据通信更为适用,但在高任务负荷下,数据通信对情景意识有消极影响。在此研究中,还考察了飞行员对数据通信系统的接受度和有用性评价,飞行员不认为数据通信可以完全取代语音通信,数据通信应该和语音通信相结合,但大多数被试被数据通信系统的评价是很好的。

1.5. 数据通信系统对空管人员的影响

数据通信条件下,空管不用发出语音指令并进行信息重复和确认,节省时间,使他们可以同时处理更多的交通信息,从而能掌控更为广阔的空中区域。空管的角色也由调度掌控转变为监控,降低工作量(Orjan Goteman, 2010)。

Joshua M. Kraut 通过分析数据通讯和语音通信的优缺点,认为将二者结合可以相得益彰。他利用仿真模拟实验,创建了四种模拟情境,最后通过位置报告和冲突评估来考察被试的情景意识;通过客观的考察评分来评估工作负荷;通过问卷来进行感受反馈。理论上,数据通讯是 100%可靠的,研究者在实验中设定故障和失效时间,发现数据通讯故障可导致空管人员工作负荷量增加,降低部门的绩效表现(Kraut, J. M. & Kiken, A., 2011),这时,空管需要投入更多的资源与机组人员取得联系,进行语音交流,但这样,工作量的增加将占用保证安全的认知资源,降低绩效。而事实上,由于机组人员都极其富有经验,能够合理分配认知资源,首要保证安全。

1.6. 人机界面

NASA 开发了飞行甲板显示概念,关注如何在下一代数据链中实现,如何优化机组显示这些信息(Shelton, K. J. & Bailey, R. E., 2009)。研究的主要目标是确定如何利用先进的航空电子设备更直观地呈现数据链信息和 4D 化图形显示,请求许可和其他交通信息。研究的交通意图是有限的,特别是有关表面操作,但现有研究提出,共享情境意识将获得实质性的利益,这样可增强数据通信系统的能力(Williams, J., Hooey, B.L., & Foyle, D.C., 2007)。(意图的操作定义是收集信息显示本机和和其他飞机的状态,提供 4D 路线指导和预测)。

飞行甲板显示概念基于目前最先进的飞行甲板显示概念支持终端和表面操作而设计,针对数据链的问题,一些备选解决方案正在被评估,设想等效视觉显示和 4D 操作将会有更多的问题。

来自美国航空航天局兰利研究中心的 Kevin J. Shelton 研究了数据链通信与下一代 4DT 可视操作界面、地图显示的关系用。探索如何利用先进的航电技术更加直观准确的呈现数据链信息和图像信息。过去的研究已经证明通讯的有效性取决于机组人员获得的资源,沟通程度以及工作负荷,但没有被量化。目前,作为设想,数据链通讯可以提供可视化的信息,因此要将 CPDLC 界面引入飞行甲板显示,需要积极调查、克服潜在技术问题和安全壁垒、优化表面交通、最大化跑道容量(通过降低跑道占用时间)、同步单跑道运营、四维轨迹设计和操作及等效的可视化操作。

在一个实验中:研究设计了四种通讯模式:a) 语音通讯和冗余的数据信息;b) 语音和数据链通讯结合;c) 数据通讯完全替代语音通讯,即只有数据通讯;d) 数据信息指令。场景测试 包括不正确的指令、跑道入侵和数据链问题,在 24 个不同的任务试次中来检测机组人员是否能够识别危险情景。研究数据显示数据链通信能够警告机组人员跑道上的危险信息,但是技术尚不成熟。在另一个实验中:探讨交通指令信息是否能最优的呈现在表面地图显示仪上。假设四维的先进显示效果能够显著提高机组人员对危险/错误情境的检测。设计了三种情况:a) 界面上只有自己飞机的情况,通信以文本信息呈现;b) 界面上显示本机情况并可以手动查询其他飞机的情况;c) 自动设定优先级别显示本机和周围飞机的情况。非正常

事件包括：探测表面冲突、滑行错误、不正确的许可、不明物体检测和跑道入侵。试验的假设是先进的4D显示理念，能够大大提高机组检测出不正确的许可、跑道入侵和滑行错误的情况。而且，设计非正常事件，是为了验证机组成员是否会被引人注目的显示屏占据注意力，是否会增加低头查看时间而减少外部信息获取降低情景意识或者其他危害，Lee 和 Streeter 先后研究数据通信会增加飞行员的低头查看时间，实验结果验证了这个假设。尽管现在下这个结论可能早了，但依旧没有证据表明地表交通显示会增加低头查看时间增加危险。

2. 综述与讨论

在不久的将来，数据链必将取代或者部分取代语音通讯，从而减少语言误解和通讯错误的几率，这样会有效避免拥堵或者干扰现象；但数据链在全面应用到下一代航空系统中存在的问题和潜在的问题还未得到充分的研究和解决。

研究表明，数据链或许能够在常规通讯中取代语音通讯，但由于汇流信息的丢失以及管理混合语音数据信息的固有延迟，也可能引入一系列的安全问题(Shelton, K. J. & Bailey, R. E., 2009)。因此，美国国家航空航天局(NASA)一直致力于研究数据链和 CPDLC 的相关问题及可供选择的解决方案。关于数据通信和语音通信的优缺点已经进行了众多的研究，绝大部分的研究结果是一致的，而无论是现场试验还是模拟实验，都有证据表明语音通讯系统和数据通信相结合是更加安全可靠的选择，有很大一部分原因是数据通信的界面设计问题(Lin Chiuhsiang Joe, Lin Po-Hung, Chen Hung-Jen et al., 2012)。目前已经有一系列的研究关注人机界面的设计问题(McGann et al., 1998)。

虽然通讯媒介对飞行员工作负载没有显著影响，但总体上语音通讯时飞行员的工作负荷总是稍高于数据链通讯条件下。巡航阶段最低，降落阶段最高。通讯媒介对飞行员的情景意识也无显著影响，但在巡航阶段的初始，与语音通讯情况对比，飞行员使用数据通讯将获得更高的情景意识，在这时数据通信就充分显示了它的优势，也就是说，目前的研究多能证明，低工作负荷下或者常规飞行中，目前的数据链通讯系统是适用的。但在高工作负荷下，或者冲突、意外事件发生时，数据通讯系统并不被飞行员作为首选的通讯系统。例如，在爬坡时，CPDLC 将增加飞行员的低头查看时间(Lee, A., 1989)，这时飞行员更乐意使用语音通讯，因为可以不占用视觉通道，飞行员可以平视驾驶，一方面监控飞行状态，保持较高的情景意识，一方面通过听觉通道与 ATCs 进行沟通，接受信息。在巡航阶段，数据通信可以避免接收到干扰信息，不会产生“窃听”、误听或者漏听，降低驾驶员的工作负荷同时提高其情景意识。在巡航结束下降阶段，飞行员需要同时操纵飞机和 CPDLC 界面，增加其工作负荷，降低情景意识，这时通过语音通讯系统将会有更充分的时间接收\回应信息并同时监控飞行状态。

综上，数据通信目前存在的问题主要有两个，第一，数据通信不能及时传达带有紧急情绪或者命令性的讯息，这样会让飞行员无法辨别任务的紧急程度。第二，数据链的人机界面还不够优化，输入信息不如语音通讯直接有效。因此，数据通信系统中的合成语音需要被进一步开发研究，创造出更为自然、逼真、并可以传达情绪特性的声音；另外，数据通讯系统的 4D 地图显示和等效视觉操作界面也需要更多的研究和发展，增加易操作的功能，如设置更多的选择按钮替代信息输入，节省操作时间，降低飞行员的工作量，使得驾驶员更多的去使用 CPDLC，而且，CPDLC 的界面设计应适用于不同的飞行阶段，这样才不会给飞行员增加认知负担。

参考文献 (References)

AC-121-FS-2008-16R1 (2008) Standards and guidelines of aviation operators to use the air-ground data communication system.

- Billings, C. E. (1997). *Aviation automation: The search for a human-centered approach*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Corwin, W. H., & McCauley, H. W. (1990). Considerations for the retrofit of datalink. Paper Presented at the SAE Tech. Rep. No. 901886, Warrendale, PA.
- Gibson, J., Orasanu, J., Villeda, E., & Nygren, T. E. (1997). Loss of situation awareness: Causes and consequences. Paper Presented at the Proceedings of the Eighth International Symposium on Aviation Psychology Columbus, OH.
- Goteman, O. (2010). Flight crew cooperation during live controller-pilot datalink communication trials. CPDLCpaperhufasrev1.doc.
- Hawkins, F. H. (1993). *Human factors in flight* (2nd ed.). Aldershot: Ashgate Publishing Co.
- Helleberg, J. R., & Wickens, C. D. (2003). Effects of data-link modality and display redundancy on pilot performance: An attentional perspective. *The International Journal of Aviation Psychology*, 13, 189-210.
- Kraut, J. M., Kiken, A., Billingham, S., Morgan, C. A., Strybel, T. Z., Chiappe, D., & Vu, K. P. L. (2011). Effects of data communications failure on air traffic controller sector management effectiveness, situation awareness, and workload. In M. J. Smith, & G. Salvendy (Eds.), *Human Interface and the Management of Information, Interacting with Information* (pp. 493-499). Berlin: Springer Berlin Heidelberg.
- Lee, A. (1989). Data link communication in the national airspace system. *Proceedings of the 33rd Annual Meeting of the Human Factors Society*, Denver, 778-782.
- Lin, C. J., Lin, P.-H., Chen, H.-J., Hsieh, M.-C., Yu, H.-C., Wang, E. M.-Y., & Ho, H. L.-C. (2012). Effects of controller-pilot communication medium, flight phase and the role in the cockpit on pilots' workload and situation awareness. *Safety Science*, 50, 1722-1731.
- Maryland Aeronautical Radio, Inc. (2005). Airlines Electronic Engineering Committee. ARINC Characteristics 758-2: Communication management Unit (CMU) Mark 2.
- McGann, A., Morrow, D., Rodvold, M., & Mackintosh, M. A. (1998). Mixed-media communication on the flight deck: A comparison of voice, data link and mixed ATC environments. *The International Journal of Aviation Psychology*, 8, 137-156.
- Navarro, C., & Sikorski, S. (1999). Datalink communication in flight deck operations: A synthesis of recent studies. *The International Journal of Aviation Psychology*, 9, 361-376.
- Shelton, K. J., Prinzel III, L. L. J., Arthur III, J. T. J., Jones, D. R., Allamandola, A. S., & Bailey, R. E. (2009). Data-link and surface map traffic intent displays for NextGen 4DT and equivalent visual surface operations. In *SPIE Defense, Security, and Sensing* (pp. 73280C-73280C). Bellingham, WA: International Society for Optics and Photonics.
- Stedmon, A. W., Nichols, S. C., Cox, G., Neale, H., Jackson, S., Wilson, J. R., & Milne, T. J. (2003). Framing the flight deck of the future: Human factors issues in free flight and datalink. *Proceedings of the 10th International Conference on Human-Computer Interaction*, Crete, 22-27 June 2003, 193-204.
- Stedmon, A. W., Sharpies, S., Littlewood, R., Cox, G., Patel, H., & Wilson, J. R. (2007). Datalink in air traffic management: Human factors issues in communications. *Applied Ergonomics*, 38, 473-480.
- Williams, J., Hooley, B. L., & Foyle, D. C. (2007). Pilot conformance to time-based taxi clearances: Implications for advanced surface traffic management systems. Human Centered System Lab Technical Report (HCSL-07-02), December 2007.