

加强信息融合课程的数学理论教学

王炯琦, 周海银, 吴 翊

(国防科学技术大学 理学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 对信息融合课程设置与要求进行了研究, 针对目前重应用轻理论的教学现状, 结合数学理论和工具在信息处理和融合中的基本性和多重性特点, 分析了信息融合课程设置的基本要求, 并在此指导下, 提出了具体的课程设计思路和实施方案。

关键词: 信息融合; 理工科; 课程设置; 理论教学

中图分类号: G640

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2010)02-0043-04

Reinforcement of Mathematical Theory Teaching in Information Fusion Course

Wang Jiongqi, Zhou Haiyin, Wu Yi

(School of Science, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Information Fusion curriculum and requirements are studied. In view of the present situation of emphasis on application rather than theory, the basic requirements of information fusion curriculum are analyzed in the combination of fundamentalities and multiplicities of mathematical theory and tools in information process and fusion. Moreover, based on this guide, the specific design ideas and implementation plan for information fusion course are proposed.

Keywords: information fusion; science and engineering; curriculum; theory teaching

当今社会已经全面进入了信息时代, 信息时代的显著特征之一是信息爆炸。为了应对这种局面, 信息融合作为一门新的边缘学科应运而生。信息融合的一般定义可大致概括为: 利用计算机技术对按时序获得的若干传感器的观测信息在一定准则下加以自动分析、优化综合, 以完成所需的决策和估计任务而进行的信息处理过程^[1]。按照这一定义, 各种传感器是信息融合的基础, 多源信息是信息融合的加工对象, 协调优化和综合处理是信息融合的核心。

30多年来, 信息融合在军事和民用高科技领域得到了广泛地应用。军事方面, 随着各种先进武器系统的出现与发展, 世界各国都在发展或完善自己的C⁴ISR系统, 以完成指定的战略和战术任务。C⁴ISR系统对各类传感器所收集的大量信息和情报进行分析、

处理、综合, 进而做出正确的决策过程, 即信息融合的过程; 民用领域, 机器人多传感器信息处理系统、医学多传感器图像融合系统、遥感多传感器融合系统, 乃至现代移动通信系统等, 信息融合这项技术均已普遍应用。

1 目前信息融合课程教学的现状

信息融合作为重要的新兴研究学科与应用领域, 在高校的课程设置和安排上没有得到充分的体现。一方面由于国内对信息融合领域的研究是在20世纪90年代初才开始逐渐形成的, 当时只是出现一些专著和译著^[2], 如康耀红等人的《数据融合理论与应用》, 刘同明等人的《数据融合技术及应用》等, 没有相关的教学计划和课程设置; 另一方面, 由于涉及该领域的

收稿日期: 2009-09-24

通信作者: 王炯琦(1979-), 男, 浙江绍兴人, 国防科学技术大学教师, 博士, 主要研究方向为信息融合中的数学理论与方法,

E-mail: wangjq1979@163.com

大多数是从事军工、激光、机器人、遥感、遥测等领域的研究、设计、生产、管理等工程技术人员,他们均是在工作和研究中碰到实际工程问题后才寻找相应的专著和参考书进行学习,进而解决其中的关键技术和难点。而作为未来科技领域研究的核心力量,高校的学生严重缺乏这方面的知识,对信息融合所涉及的研究问题知之甚少,没有打好扎实的理论 and 实践基础,进而使得他们在走上工作岗位后利用信息融合知识解决实际问题的能力和效率受到很大程度的限制。经调查,95%以上从事此领域的研究和管理人员都认为有必要在大学本科高年级或研究生阶段开设信息融合课程,都期望有全面、系统介绍信息融合理论、模型、算法和应用方面的课程安排。有了这方面的需求,近年来,国内已经有些高校开始实施信息融合教学计划,开设相应的课程学习,但从目前的情况来看,还存在着一些问题,主要体现在以下几个方面。

1.1 课程设置

目前,国内工科院系的课程设置人员虽然想到这门课程的重要性,觉得应该开设这门课,但是没有仔细思考信息融合这门课程的特点,只是简单认为它是一门应用型的课程。其实信息融合作为对多源信息的综合处理过程具有本质的复杂性,它是一门跨学科的综合理论和方法,涵括了一大批数学工具及基本知识,信息融合中的数学工具的功能是最基本的和多重,是所有从事该领域研究的人员所必须学习的。只有掌握了信息融合的基础理论知识,才能将其熟练地应用于信息融合的各个应用领域,正如一个木匠师傅,教会了徒弟制作木制产品的基本方法和关键技术,那么该徒弟就能生产出包括桌子、椅子、衣柜等不同形状的产品。

1.2 教学内容

在教材方面,目前基本没有固定的教材,均是选择一些专著和译著,根据研究生自身的需要,选择相关的章节进行讲解;或者是根据课程发展中形成的形态进行“分块”传授。常用的方法是结合信息融合所研究的内容和方向,按理论、算法、技术及应用分为4类:诸如统计理论、模糊逻辑、证据理论、灰色理论、随机集理论和本体论等属于理论类;检测融合、数据关联、状态滤波、态势估计和威胁估计等属于算法类;传感器建模、融合结构、系统设计、计算与推理、软件结构及实现方法等属于技术类;而航空电子综合系统、组合导航、遥感遥测、机器人、智能交通、图像融合等属于应用类。而授课教师因基本上为工科专业毕业的,比较轻视信息融合的理论教学,尤其是数学建模、算法优化等。理论教学的课时少,教师并不好安排理论教学,教师也没有时间去总结理论知识中的问题、解答学生的问题。课程考核只注重应用考试,

使得学生没法检验理论学习的效果。

1.3 授课对象和课时安排

由于目前信息融合课程均是工科院系开设,其授课对象主要是面向工科专业的本科高年级学生或者是工科研究生。在选课方式上,国内一些大学比较常用的方式是把信息融合这门课程按工科专业为研究生开设必修课或者选修课,而选修课所占的比例比较大,课程名称大体为:《信息融合应用前沿》、《现代信息处理专题及应用讲座》等,学分一般为1~2个,学时在18~36个左右。然而,信息融合这门学科本身需要研究的内容较多,在这么短的学时里难以把信息融合的研究内容讲清、讲透,所以学生一般在学完以后只能有个大概印象,对理论和实践问题不知道所以然,更谈不上之所以然。另外,由于课程安排上为选修课,课程考核一般是课程报告,使得学生并不能重视该门课程,对其中的理论推导和证明更加忽视。虽然教师在上课时也会提到信息融合基础理论的重要性,也会要求学生进行理论的推导和证明,但学生有各种借口(如没有学习概率与数理统计、数值微分、本科数学专业主要课程等相应的基础知识),完不成理论学习,从而使得学生从思想上就觉得信息融合教学都是面向应用的,应用技术才是最重要的,理论教学只是把问题复杂化,没有实际意义。

2 信息融合的数学描述及研究核心

在信息融合思想提出之后,经过30多年的发展,信息融合得到了广泛应用,这些应用进一步完善和拓展了信息融合概念的内涵和外延。部分学者(主要是工程作业者)针对信息融合具体模式和应用背景建立了部分信息融合系统^[3],并对一些具体工程实践问题进行了有效的仿真实验和试验验证,得到了一些有益的研究结论。笔者在其博士论文中提出^[4],信息融合的基本问题可以用一个映射机制进行数学描述,如图1,即信息融合过程是把观测空间中的信息向量集 $\{z^{(j)}\}$ 映射到目标特征空间中的状态向量集 x ,而映射函数 F (可以为复合函数)即为信息融合方法,也就是信息融合的数学工具和基础理论知识。因此,信息融合从数学层面上可以描述为:利用多源观测信息向量集合 $\{z^{(j)}\}$,选择相应的信息融合方法(F 函数),得到关于目标总的特征向量集 x 的基于全局信息的融合结果。显然,映射函数(信息融合的基础理论知识)是整个映射机制的核心,这就为信息融合课程设置和教学安排提供了一定的借鉴作用,也就是说,信息融合课程安排不仅需要应用教学,更需要理论教学,让学生了解信息融合这门学科的核心,进而培养其利用理论知识解决实际

问题的能力。

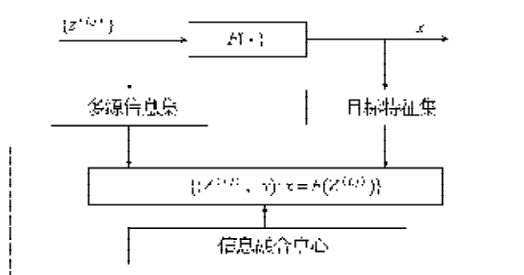


图1 信息融合映射机理的数学描述

Fig. 1 Mathematical description of mapping mechanism for information fusion

3 信息融合课程设置的基本要求

“信息融合技术本质上是一种数学技术”，在信息融合课程教学中，加强基础理论教学，自觉培养学生的数学素养^[5]（包括数学基础知识与技能、数学能力、数学思想方法、数学观与数学的人文和工程应用精神），不仅直接影响到信息融合课程的教学水平和教学深度，更影响到学生长远的持续发展。不仅如此，在许多工程技术领域，数学思想、技术的应用也能有效解决物理、工程技术不能解决的关键问题。因此，有必要使学生数学素质的培养与提高在信息融合课程的学习中得到体现。

1) 在教学理念上：信息融合课程教学必须以工程技术和工程管理为背景，以基础理论知识为核心，以融合算法和技术为依托，以实际问题为驱动，“开拓眼界，更新知识，提高水平，联系实际”，注重培养学生获取新知识的能力、发现和解决问题的能力、综合运用知识的能力、工程应用的能力。显然，理论教学是信息融合课程学习的基础，理论教学为灵活应用信息融合技术和算法、为解决实际工程问题打下了坚实的理论基础。

2) 在教学实践上：从学生的实际需要出发，结合理论教学，多引入一些案例教学和软件平台，兼顾知识的系统性。信息融合课程教学中的理论知识部分应重在培养学生的数学思维能力。数学既是科学的语言，又是思维的工具。在教学实践中，一个重要的目的在于培养学生数学思维能力，包括诸如建立模型、抽象化、优化、逻辑分析、推理计算等等各方面的能力。作为信息融合这门学科中的核心内容，数学知识的引入和介绍当然也要达到这样一个根本性的目的，而这个目的的达到就依赖于理论知识的教学，包括演绎、推导和证明等。在实际工程应用中，会遇到许多疑问，这些疑问都需要数学的理论知识来解答（如信息融合中目标检测问题，实际上就是数学工具中的假设检验问题；多传感器信息的不确定性处理实际上就是数学工具中证据理论和粗糙集理论中的信任度函数

和隶属度函数的构建）。因此，没有理论分析，学生不可能知道理论知识和应用研究之间的内在关联。当然，理论教学中穿插一些案例分析和数值计算也是必要的，这可以帮助学生更好地理解理论教学中所学到的理论知识。此外，信息融合这门学科的终极目的在于实际应用，案例分析和数值计算也可以培养学生的动手能力，从而培养复合型创新人才。

4 信息融合课程开设的具体实践

在信息融合课程设置基本要求的指导下，应该设计“基础理论+算法/技术+应用”三块一体式的课程教学体系，加强基础理论教学的要求。首先将课程名称定义为“信息融合的数学理论及其应用”，教学的重点在于信息融合的数学理论及其算法；其次，改选修课为必修课，学分定为3个，增加学时量至54个，这样才能系统、完整地讲解信息融合此领域所包含的基本知识和基本技能。基于上述理念，信息融合数学理论及其应用的课程体系和教学实践还应注重以下几个方面。

1) 教学和参考资料安排上：从学习的角度出发，要注重信息融合系统的基本概念、基本原理和研究与设计中所采用的基础理论和方法的介绍；注重知识的系统性、循序渐进、由浅入深。如统计推断与参数估计，应先从传统的统计理论（包括经典最优估计理论）、线性动态系统滤波入手，引入最优估计与最优估计准则概念，再进一步学习观测数据中含有非线性影响因素和粗差数据的部分线性模型估计、抗差估计以及用于各种实际系统的非线性滤波和各种自适应滤波，使得学生便于对知识的理解和掌握。此外，上完每一章节课程内容后要及时总结归纳，并给出一些进一步学习的参考资料，以供学生们继续深入学习和研究，扩展知识面，加深对信息融合理论、算法、技术和应用的认识和理解。

2) 教材和教师选择上：目前，高校中有关此领域的教材没有得到很好的体现，尽管目前已经有几本专著面世，但它们毕竟不是教材。所以，要根据信息融合课程本身的特点和教学要求，确定教学内容，寻找或编写合适的课程教材，不仅要让学生乐于学习信息融合中的数学理论知识，同时要培养学生解决实际问题的能力。这就要求教师理论功底深厚，数学概念清楚，知识面宽，能融会贯通，有工程背景知识和工程实践经验，同时还要求对软件平台熟悉，这给从事该门课程（信息融合数学理论及其应用）教学的教师提出了新的挑战。

3) 教学形式上：采用分类教学模式，对于信息融合的数学理论采用“老师讲，学生记、问”的教学模式，课时占总课时量的2/3；而对于信息融合的应用，

采用研究型教学方式，因为信息融合应用面比较广，此时剩余的 1/3 课时是比较紧张的，应该采用“引出问题，启发思路，重点分析，课堂讨论，课外探索，自行归纳”的案例式教学方式。这就要求教师具有宽广的知识面，可行的方法是让学生自己建模、分析、处理，并在课程上安排学生对处理结果进行报告，或者安排参加过相关应用课题研究的教师上课，结合科研成果的经验进行教学。

5 结语

信息融合作为对多源信息的综合处理过程，涵括了一大批数学工具及基本知识，信息融合中的数学工具的功能是最基本的和多重的。本文针对目前信息融合课程教学中存在的重应用轻理论的教学现状，结合信息融合的数学描述及研究核心，对信息融合课程设置与要求进行了分析与研究，指出了信息融合课程设置的基本要求，并在此指导下，提出了具体的课程设计思路和实施方案。对于培养新时代复合型创新人才，具有一定指导意义。

参考文献:

- [1] Llinas J, Waltz E. Multisensor Data Fusion[M]. Norwood, MA: Artech House, 1990.
- [2] 康耀红. 数据融合理论与应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1997.
Kang Yaohong. Data Fusion Theory and Application[M]. Xi'an Electronic Technology University Press, 1997.
- [3] Bar Shalom Y, Chen H, Mallick M. One-Step Solution for the Multi-Step Out-of-Sequence-Measurement Problem in Tracking[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronics Systems, 2004, 40(1): 27-37.
- [4] 王炯琦. 信息融合估计理论及其在卫星状态估计中的应用[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2007.
Wang Jiongqi. Information Fusion Estimation Theory and Its Application in Satellite State Estimation[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2007.
- [5] 王子兴. 论数学素养[J]. 数学通报, 2002(1): 6-9.
Wang Zixing. Discussion on Mathematical Literacy[J]. Shuxue Tongbao, 2002(1): 6-9.

(责任编辑: 罗立宇)

(上接第 17 页)

$$\begin{aligned}
 & \text{而 } \left[\int_0^\infty \int_0^\infty F_\lambda^\alpha dx dy \right]^{\frac{1}{2}} = \\
 & \left(\frac{\lambda}{\phi_p \phi_q} \right)^{\frac{1}{2}} \left\{ \int_0^\infty x^{\alpha(1-\nu_p)-1} f^\alpha(x) dx \right\}^{\frac{1}{2}}, \\
 & \left[\int_0^\infty \int_0^\infty G_\lambda^\alpha dx dy \right]^{\frac{1}{2}} = \\
 & \left(\frac{\lambda}{\phi_p \phi_q} \right)^{\frac{1}{2}} \left\{ \int_0^\infty y^{\alpha(1-\nu_q)-1} g^\alpha(y) dy \right\}^{\frac{1}{2}}. \\
 \text{故 } R_\lambda &= \left\{ \left[\int_0^\infty \int_0^\infty F_\lambda^{\frac{h}{2}} dx dy \right] \left(\frac{\lambda}{\phi_p \phi_q} \right)^{\frac{1}{2}} \right. \\
 & \left. \left\{ \int_0^\infty x^{\alpha(1-\nu_p)-1} f^\alpha(x) dx \right\}^{-1} - \left[\int_0^\infty \int_0^\infty G_\lambda^{\frac{h}{2}} dx dy \right] \right. \\
 & \left. \left(\frac{\lambda}{\phi_p \phi_q} \right)^{\frac{1}{2}} \left\{ \int_0^\infty y^{\alpha(1-\nu_q)-1} g^\alpha(y) dy \right\}^{-1} \right\}^2 = \\
 & (S_p(F_\lambda, h)) - (S_q(G_\lambda, h))^2, R_\lambda < 1.
 \end{aligned}$$

定理得证。

参考文献:

- [1] Yang Bicheng. On A General Hardy-Hilbert's Inequality with A Best Value[J]. Chinese Annals of Math, 2000, 21A(4), 401-408.
- [2] Xin Dongmei, Yang Bicheng. Best Extension of the Hilbert's Type Inequality with Multi-Parameters[J]. Soochow Journal of Mathematics, 2007, 33(3), 453-461.
- [3] He Leping, Gao Mingzhe, Wei Shangrong. A Note on Hilbert's Inequality[J]. Mathematical Inequalities and Applications, 2003, 6(2): 283-288.
- [4] He Leping, Gao Xuemei, Gao Mingzhe. On A New Weighted Hilbert Inequality[J]. Journal of Inequality and Applications, 2008(6): 265-270.
- [5] Gao Mingzhe, Wei Shangrong, He Leping. On the Hilbert Inequality with Weights[J]. Zeitschrift für Analysis Und Ihre Anwendungen, 2002, 21(1): 257-263.
- [6] 洪勇. 关于 Hardy-Hilbert 积分不等式的全方位推广[J]. 数学学报, 2001, 44(4): 619-626.
Hong Yong. All-Sided Generalization about Hardy-Hilbert's Integral Inequality[J]. Acta Mathematica Sinica, 2001, 44(4): 619-626.

(责任编辑: 罗立宇)