

信息流理论及其应用研究^{*}

李卫华^{1,2} 李师贤¹

(中山大学信息科学与技术学院 广州 510275)¹ (广东工业大学计算机学院 广州 510090)²

摘要 信息流(Information Flow)理论,也称为通道理论(Channel Theory),是一种通用的规则理论,能应用到自然界的生物、物理系统和人工世界的计算系统内在的分布式信息的交流中。信息流理论的基本概念之一是信息射(Infomorphisms),是形成信息通道的重要因素。由于信息流理论能弥补 Shannon 信息论难以支持语义互操作的不足,因此逐渐受到重视。本文介绍了信息流理论在国际上应用的状况,也介绍了我们在网格信息共享的研究中利用 Agent 会话机制动态生成信息射的过程。

关键词 信息流,信息射,Agent,会话机制,网络信息共享

The Research of Information Flow Theory and its Applications

LI Wei-Hua^{1,2} LI Shi-Xian¹

(Information Science & Technology College, SUN YAT-SEN University, Guangzhou 510275)¹

(Faculty of Computer, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090)²

Abstract Information Flow theory, also called Channel Theory, is a general theory of regularity that applies to the distributed information inherent in both natural world of biological and physical systems and the artificial world of computational systems. One of basic concepts of Information Flow theory is Infomorphisms. It is the key factor to form information channel. Since Information Flow theory can overcome the drawbacks of Shannon's Information Theory that cannot support semantic interoperability, it becomes important. This paper describes the current states of international applications of Information Flow theory. The paper also presents the Infomorphism dynamic creation process by Agent's conversation mechanism in the Grid information sharing research.

Keywords Information flow, Infomorphisms, Agent, Conversation mechanism, Grid information sharing

1 引言

长期以来支持我们进行信息交流的理论基础是 Shannon 的“A Mathematical Theory of Communication”(通信的数学理论)^[1],人们把 Shannon 的理论称为信息论(Information Theory)。Shannon 信息论的创立已经过了半个世纪,当 Shannon 创建信息论时,有两个最重要的事实:第一,当时人们主要的需求是及时可靠地传递信息,因此只要求获得语法信息,而语义信息和语用信息问题可以由信息的使用者自己的思维来处理;第二,当时人们只拥有精确数学和统计数学两种主要的数学工具,还没有产生可以用来系统描述和处理语义信息与语用信息的数学工具,因此也不可能着手研究语义信息和语用信息问题^[2]。

在当今网络信息时代,获得信息已经不是问题,更重要的是要得到语义上满足需要的信息。信息科学的发展提出了扩展 Shannon 理论的问题。我们在开展网格信息资源共享的研究中深感新的基础理论支持的重要性,为此查阅了大量文献,认识到 1997 年剑桥大学出版的书“Information Flow: The logic of Distributed Systems”^[3]中提出的信息流理论比较好地支持分布式信息共享的需要,因此进行了相关的研究工作。

本文第 2 节介绍信息流理论的主要概念,第 3 节介绍信息流理论在国际上的应用状况,第 4 节介绍我们在网格信息共享的研究中利用 Agent 会话机制实现信息射的动态生成的过程。

2 信息流原理

“Information Flow: The logic of Distributed Systems”的作者 Jon Barwise 和 Jerry Seligman 写此书的目的是提取出理解信息流动最根本的东西,而不只是为了通信。Barwise/Seligman 提出了两个问题:什么信息在系统中流动?为什么它会流动?书中用“local logics(局部逻辑)”表征第一个问题,而用“information channel(信息通道)”的观点回答第二个问题。一个系统的局部逻辑是支持信息在系统内流动的规则的模型,而信息通道是支撑这种信息流动的连接系统的模型。信息流理论又称通道理论(Channel Theory),以区别于 Shannon 的信息论。

该书的第 1 部分 Introduction 对信息流做了回顾,概括了信息方面的一些相关工作,讨论了建立信息流模型的动机,并给出了信息通道模型的概述。这部分最后给出一个简单而详细的分布式系统实例,足以说明该理论的一些主要观点。第 2 部分 Channel Theory 细化了第一部分描述的数学模型,用了 10 章内容详细叙述了第一部分描述的数学模型。数学部分在“局部逻辑”的推理与错误理论中到达极点。第 3 部分 Explorations 探索了信息流模型的一些应用,如言语行为(speech acts)、含糊性(vagueness)、常识推理(common sense reasoning)、表达(representation)和量子逻辑(quantum logic)等。

书中介绍了信息流的 4 个原理。

^{*} 本文由广东省自然科学基金(批准号:032496)和博士点基金(批准号:20030558004)项目资助。李卫华 教授,博士研究生,研究方向为面向 Agent 计算等。李师贤 教授,博士生导师,研究方向为软件工程等。

第一原理:信息流来自分布式系统中的规则。

所谓“分布”是指系统用某种方法分为若干部分,因而信息从一部分流向另一部分。由于系统中出现的规律性以某种方式把系统各部分联系起来,因此允许了信息的流动。

第二原理:信息流的重要之处是同时包括了类型(type)和个性(particular)。

对于信息理论,不能忽略个性或实例(instance),因为个性携带了信息,它们携带的信息是以类型的形式出现的。书中用 token 表示携带信息的个性或实例,是指被分类的东西;而类型是指用来分类的东西。

第三原理:分布式系统中某些组件的信息依靠连接之间的规则携带了其他组件的信息。

分类及其相关的理论给我们一种方法对这些规则建模。用理论的约束和信息射,可以获取信息流有关组件的基本原理。

第四原理:一个给定的分布式系统的规则与利用信息通道对其进行分析有关。

把系统分析成为一个通道取决于与语境有关的角度和标准。这样一个通道可以由一个理论家明确描述出来,或者可以隐含在该系统的用户的判断中。

以上4个原理给出了信息流理论的框架,下面用几个小节介绍信息流理论中的几个重要概念。

2.1 分类与信息射

信息通道和局部逻辑的基本概念是 Classifications (分类)和 Infomorphisms (信息射)。信息流理论用一种很独特的“两层”性质来引入分类的概念,目的是同时注意类型与个性。构成一个分布式系统的每个组件用分类 $A = \langle \text{tok}(A), \text{typ}(A), \models A \rangle$ 表示,如图1所示,包括:

- (1)待分类的对象实例(标记)集合 $\text{tok}(A)$,
- (2)用于划分对象实例的对象(类型)集合 $\text{typ}(A)$,
- (3)二元(分类)关系 $\models A \subseteq \text{tok}(A) \times \text{typ}(A)$ 。

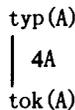


图1 分类

令 A 为一个分类,令 $\langle \Gamma, \Delta \rangle$ 是 A 的一个相继(sequent),如果 A 的一个标记 a 属于任意 $\alpha \in \Gamma$ 的类型 α ,则 a 就属于某个 $\alpha \in \Delta$ 的类型 α ,就称 a 满足 $\langle \Gamma, \Delta \rangle$ 。如果 A 的每个标记 a 都满足 $\langle \Gamma, \Delta \rangle$,就称 Γ 在 A 中蕴含(entail)了 Δ ,记作 $\Gamma \vdash A \Delta$ 。如果 $\Gamma \vdash A \Delta$,则 $\langle \Gamma, \Delta \rangle$ 称为分类 A 支持的一个约束。

分类 A 支持的所有约束的集合称为 A 的一个完备理论,用 $\text{Th}(A)$ 表示。有5种特殊的约束:

- (1)蕴含(Entailment)。 $\alpha \vdash \beta$ 形式的约束表示 α 蕴含 β 。
- (2)必要(Necessity)。 $\vdash \alpha$ 形式的约束表示类型 α 是必要的情况,无需前置条件。
- (3)穷尽情况(Exhaustive case)。 $\vdash \alpha, \beta$ 形式的约束表示每个标记是 α 或 β 类型的一种,也无需前置条件。
- (4)不兼容类型(Incompatible types)。 $\alpha, \beta \vdash$ 形式的约束表示没有任何一种标记既是类型 α 又是类型 β 。
- (5)不连贯类型(Incoherent types)。 $\alpha \vdash$ 形式的约束表示没有标记是类型 α 。

分布式系统中组件间的信息流动用通道理论来建模,通过信息射来连接表示每个组件的词汇(vocabulary)和语境

(context)的各种分类。信息射是分类 A 到分类 B 的一对逆变函数 $f = \langle f^\wedge, f^\vee \rangle; A \rightleftharpoons B, f^\wedge: \text{typ}(A) \rightarrow \text{typ}(B), f^\vee: \text{tok}(B) \rightarrow \text{tok}(A)$,对每个实例 $b \in \text{tok}(B)$ 和每个类型 $\alpha \in \text{typ}(A)$,满足下列基本性质: $f^\vee(b) \models A \alpha$ 当且仅当 $b \models B f^\wedge(\alpha)$ 。如图2所示。

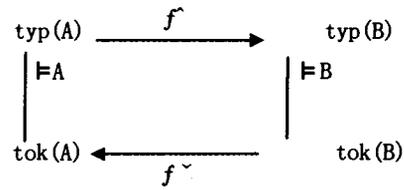


图2 信息射

这是分布式系统中整体与其部分之间关系的模型,信息射可以看成是从 A 到 B 的一个射(morphism)。假设一个标记分类族用 $\text{cla}(A) = \{A_i \mid i \in I\}$ (下标集合)表示,一组信息射用 $\text{inf}(A)$ 表示,则一个分布式系统 A 包含一个标记分类族 $\text{cla}(A)$ 以及其定义域和陪域都在 $\text{cla}(A)$ 中的一组信息射 $\text{inf}(A)$ 。

2.2 信息通道

信息流理论的核心是通道(channel)。设一个分布式系统用分类 C 来建模,它有4个组件,用分类 A_1, A_2, A_3, A_4 来建模,一个“连接”把它们组成一个整体。由于各 A_i 是 C 的一部分,因此必须有一个信息射 $f_i: A_i \rightleftharpoons C$ 反映 A_i 与该系统的关系,如图3。

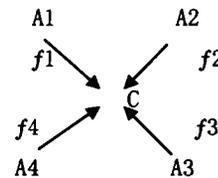


图3 信息射反映分类与系统的关系

图中每个箭头表示一个信息射,这些信息射的集合与公共陪域(common codomain) C 就形成了信息通道:一个信息通道包含一个标记信息射族 $X = \{f_i: A_i \rightleftharpoons C\}_{i \in I}$ 与一个公共陪域 C (称为通道的核心)。 C 的标记称为连接(connection),一个连接 c 称为对每个 $i \in I$ 连接标记 $f_i(c)$ 。具有下标集合 $\{0, \dots, n-1\}$ 的一个通道叫 n 元通道。

最基本的结构是有两个分类 A 和 B 通过两个信息射 ϕ 和 γ 连接一个核心分类 C ,如图4所示。

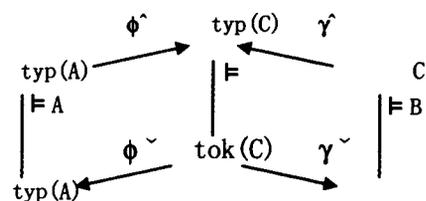


图4 二元信息通道

这种最基本的二元信息通道获取了组件 A 和组件 B 之间的信息流,正是这个“连接”允许一个组件携带另一组件的信息。有了信息通道的概念,就可以对信息流进行分析。

2.3 规则理论

通道理论认为分布式系统内的规则是信息流动的原因,

这些规则隐含在系统组件的表示(分类)和连接(信息射)中,它们也可以用逻辑形式表示,即规则理论(Regular Theories)和局部逻辑。分类 C 与其相关的理论 $Th(C)$ 给了我们一种方法,能对连接的规则建模。用 $Th(C)$ 的约束和信息射可以获得组件间信息流动的基本原理。

一个理论(theory) $T = \langle typ(T), \vdash \rangle$ 包括一组类型 $typ(T)$ 和一个在 $typ(T)$ 的子集之间的二元关系 \vdash , $typ(T)$ 子集的序偶 $\langle \Gamma, \Delta \rangle$ 称为相继(sequent)。如果对 $\Gamma, \Delta \subseteq typ(T)$ 有 $\Gamma \vdash \Delta$, 则相继 $\Gamma \vdash \Delta$ 称为一个约束(constraint)。T 是规则的, 如果对所有类型 $\alpha \in typ(T)$ 和所有类型集合 $\Gamma, \Gamma', \Delta, \Delta', \Sigma', \Sigma_0, \Sigma_1$, 有

- (1) 同一性(Identity): $\alpha \vdash \alpha$
- (2) 减弱(Weakening): 如果 $\Gamma \vdash \Delta$, 则 $\Gamma, \Gamma' \vdash \Delta, \Delta'$
- (3) 全分割(Global Cut): 如果对 Σ' 的每个划分 $\langle \Sigma_0, \Sigma_1 \rangle$ 有 $\Gamma, \Sigma_0 \vdash \Delta, \Sigma_1$, 则 $\Gamma \vdash \Delta$

给定一个分类 A 和 $typ(A)$ 的一个相继 $\langle \Gamma, \Delta \rangle$, 下列性质是同等的:

- (1) $\langle \Gamma, \Delta \rangle$ 是 $Th(A)$ 一致的。
 - (2) $\langle \Gamma, \Delta \rangle$ 是 A 中某个 a 的状态描述的一个子相继。
 - (3) 存在一个标记 a 是 $\langle \Gamma, \Delta \rangle$ 的一个反例。
- 因此, $Th(A)$ 是一致的当且仅当 $tok(A) \neq \emptyset$ 。

给定一个规则理论 T, 由 T 产生的分类 $Cl_a(T)$ 是这样的分类:

- (1) 标记是 $typ(T)$ 的一致划分 $\langle \Gamma, \Delta \rangle$ 。
- (2) 类型是 T 的类型。
- (3) $\langle \Gamma, \Delta \rangle \models cl_a(T)$ α 当且仅当 $\alpha \in T$ 。

给定一个解释 $f: T \rightarrow T'$, 可以定义一个信息射 $Cl_a(f): Cl_a(T) \rightarrow Cl_a(T')$, 其中:

- (1) 对 $\alpha \in typ(T)$, $Cl_a(f) \wedge (\alpha) = f(\alpha)$ 。
- (2) 对 $Cl_a(T')$ 的任何标记 $\langle \Gamma, \Delta \rangle$, $Cl_a(f) \vee (\langle \Gamma, \Delta \rangle) = \langle f^{-1}[\Gamma], f^{-1}[\Delta] \rangle$ 。

由此得到表示定理(Representation Theorem): 对任何规则理论 T, $T = Th(Cl_a(T))$ 。同样, 对任何解释 f , $f = Th(Cl_a(f))$ 。

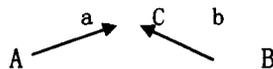
由此得到推论(Abstract Completeness Theorem): 对某个分类 A, 其每个规则理论是 $Th(A)$, 对某个信息射 f , 其每个解释是 $Th(f)$ 。

2.4 局部逻辑

把分类的概念和规则理论相结合, 得到局部逻辑 $L = \langle tok(L), typ(L), \models L, \vdash L, NL \rangle$ 的概念。L 包含一个分类 $cl(L) = \langle tok(L), typ(L), \models L \rangle$ 、一个规则理论 $Th(L) = \langle typ(L), \vdash L \rangle$ 和一个规范标记(normal token) $NL \subseteq tok(L)$ 的子集, 满足 $Th(L)$ 的所有约束。如果 $NL = tok(L)$, 则局部逻辑是合理(sound)的。如果每个规范标记所满足的每个相继是该逻辑的一个约束, 则局部逻辑是完备(complete)的。

合理的和完备的局部逻辑实际上不过是分类, 但信息射允许我们把局部逻辑从一个分类移到另一个分类, 其中不保证合理性和完备性。给定任何信息射 $f: A \rightarrow B$ 和一个分类上的逻辑 L, 我们可以获得另一个分类上的自然逻辑。如果 L 是分类 A 上的逻辑, 则 $f|L|$ 是通过 f 引入从 L 得到的分类 B 上的逻辑。如果 L 是分类 B 上的逻辑, 则 $f^{-1}|L|$ 是通过 f 消去得到的 B 上的逻辑。

对于任何二元通道 C:



定义 B 上的局部逻辑 $Log_C(B) = b^{-1}[a[Log(A)]]$, 其中 $Log(A)$ 是近侧的分类 A 的合理的和完备的逻辑。 $Log_C(B)$ 用分类 A 的完备理论隐含的逻辑来建立, 但可能既不合理也不完备。

分类 B 上的每个局部逻辑都是某个二元通道的 $Log_C(B)$ 形式, 而且 C 的近端分类非常直观的是 B 的理想化解释。这表明局部逻辑很自然地与信息通道相关。

对于信息流方面来说, 我们很希望把通道的核心认为是某个其他通道的远端分类, 并用近端通道去推论该核心和推论各组件。我们把信息流沿着一个通道与它的核心上的某个局部逻辑相关。

分类之和的存在允许我们把任何信息通道转为只有一个信息射的通道, 只需取组件分类之和以及取组件信息射之和。如有任何一个通道 $X = \{f_i: A_i \rightarrow C\}_{i \in I}$, 取 A_i 之和 $A = \sum_{i \in I} A_i$, 以及 f_i 的和 $\sum_{i \in I} f_i$, 这样就可以用一个信息射 $f: A \rightarrow C$ 表示原通道。

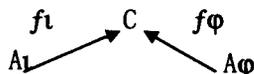
给定该核心上的任何逻辑 L, 我们可以用 f 消去得到的 A 上的一个局部逻辑 $f^{-1}|L|$, 这个逻辑与它的约束和它的一组规范标记获取了通道中固有的信息流。所以说, 局部逻辑 $f^{-1}|L|$ 说明了什么信息在系统中流动, 通道说明了为什么它会流动。

2.5 分布式逻辑

分布式逻辑(distributed logic)是表示信息流出现在一个分布式系统中的逻辑, 设 A 是一个分布式系统, 具有分类 $cl(A) = \{A_i\}_{i \in I}$ 和信息射 $\inf(A)$, 系统级的逻辑 $Log(A)$ 的特征如下:

- (1) 该逻辑的分类是 $\sum_{i \in I} A_i$ 。
- (2) 该逻辑的理论是 $\alpha \vdash f(\alpha)$ 和 $f(\alpha) \vdash \alpha$ 形式、对系统的每个 $f_i: A_i \rightarrow A_\varphi$ 和每个 $\alpha \in typ(A_i)$ 的约束的正则闭包。
- (3) 规范标记是带下标的标记族 $c = \{c_i\}_{i \in I}$ 对应于来自每个组件的一个标记的全局选择, 使得各部分反映系统的整体-部分关系。即: $c \in NL$ 当且仅当如果 $f_i: A_i \rightarrow A_\varphi$ 和 $c_\varphi \in tok(A_\varphi)$, 则 $c_i = f(c_\varphi)$ 。

假如有一个通道 $C = \{f_i, \varphi: A_i, \varphi \rightarrow C\}$



表示信息在 A_i 和 A_φ 之间流动。我们遵从的逻辑是把通道核心 C 上的局部逻辑 L 移到组件 $A_i + A_\varphi$ 之和中所得到的逻辑。在通道核心 C 归纳出理论, 分布式逻辑 $Dlog_C(L)$ 是核心的局部逻辑 L 在信息射之和 $f_i + f_\varphi: A_i + A_\varphi \rightarrow C$ 下的逆像(inverse image)。分布式逻辑 $Dlog_C(L)$ 可以用图 5 反映。

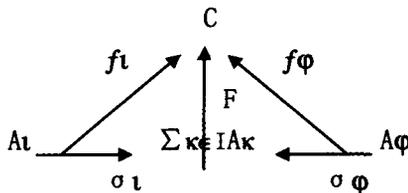


图 5 分布式逻辑产生图

图中 $\sum_{k \in I} A_k$ 是分类之和, σ_i 是 A_i 到 $\sum_{k \in I} A_k$ 的自然

信息射, F 是信息射之和。我们需要的是 $\sum_{\kappa \in IA_{\kappa}}$ 上的一个逻辑, 因此用 $F^{-1}[L]$ 直接表示这个逻辑。

如果在一个通道 C 上的逻辑是完备的, 则该分布式逻辑 $Dlogc(L)$ 也是完备的, 因为取逆像保持完备性。但要注意, 即使 L 是合理的, $Dlogc(L)$ 一般也不是合理的逻辑, 只是在值域 F 保证合理性。

信息流理论用 Exception(例外) 来处理分布式逻辑时难免有错的情况。有关信息流理论的详细内容请参见文[3]。

3 信息流理论的应用

信息流理论已经在国际上受到重视, 并已经有许多应用。

Robert Kent 是最早应用信息流理论的学者, 他说明了本体共享如何在信息流的概念知识模型中能够被形式化^[4]。本体可以形式化为 IF 逻辑, 公共共享的可扩展本体可以形式化为 IF 理论, 参与社团从公共本体到特定社团本体的规格说明链接可以形式化为 IF 理论解释。Kent 指出: 信息流能同时表示概念知识组织的动态性和稳定性, 本体中指定的类型和约束是稳定的, 它们在信息流中被形式化为理论和理论解释。实例集合、它们的分类关系、本体扩展和同义词之间的链接是动态的, 它们在信息流中被形式化为逻辑和逻辑信息射。本体在其实例和类型之间有一个分类关系, 并有一组约束对本体的语义建模。由于本体存在于分布环境下, 质量可能有变化, 因此最好表示为信息流的局部逻辑。Kent 已成功地在信息流的原理上建立了本体共享, 他给出了社团间本体共享的两步过程: 第一步的目的是在不同语境之间规约的转换, 第二步的目的是构造社团连接的虚拟本体。Robert Kent 建立的信息流框架 IFF 已用于 IEEE 的上层本体标准化活动中。

Schorlemmer 和 Kalfoglou 在 Robert Kent 的研究基础上进一步讨论了信息流支持语义互操作的问题^[5,6], 他们指出, 信息流可以作为一种候选理论框架, 方便语义互操作情景的分析与实现。他们得出了获得语义互操作的 4 步:

(1) 利用一个分布式信息流系统的 IF 分类定义每个社团的各种语境(context)。

(2) 定义一个 IF 通道——它的核心和信息射——连接各种社团的 IF 分类。

(3) 在表示各社团之间信息流动的 IF 通道的核心 IF 分类基础上定义一个 IF 逻辑。

(4) 分布 IF 逻辑到社团 IF 分类的总和中获得 IF 理论, 描述所希望的语义互操作。

他们采用了 IF 通道实现了电子政务中不同政府(UK, US)组织结构和职责之间的调整^[6]。

Gerard Allwein 等人比较了 Shannon 的信息论和 Barwise/Seligman 的通道理论, 指出 Shannon 为通信流(communication flow)提出了一个通用的定量理论, 而 Barwise/Seligman 为分布式系统信息流提出了一个通用的定性理论, 信息流是两种流中更为通用的^[7]。他们从两种理论中综合得出一个新框架, 能够用同一种理论结构进行定性和定量分析, 并将所得的理论应用于信息隐藏(steganography)和隐蔽通道(covert channel)中。

Andrzej Skowron 等人研究了粗集(Rough Set)与信息射的关系^[8]。他们认为信息系统(即分类)IS1 和 IS2 之间的信息射是信息系统的基本链接, 使之能够利用 IS1 上的公式定义 IS2 上的一些公式, 而 IS2 上的剩余公式可以用 IS1 上的公式近似地定义, 这些近似操作是用粗集方法定义的。他们还

探讨了用信息网(即通道)进行近似推理的问题。

Michael F. Worboys 探讨了用信息流理论发送地理信息的应用^[9]。他用 Dretske, Barwise/Seligman, Dellin 等人的研究成果扩展 Shannon-Weaver 的信息通信模型。他认为通道是一个关键概念, 可以用于建模语境和空间表示。而语境是通信的关键问题, Worboys 让通道调节通信者的语境。对于地理信息, 他特别关心准确性和详细的级别, 在文中讨论了如何用信息流理论处理含糊性和多语境的问题。

L. John Old 等人研究了隐喻(Metaphor)与信息流的关系^[10]。他们认为隐喻和类比是人认识的重要原则, 因而用信息流理论以及概念图建立了隐喻的形式化模型。隐喻可以定义为一个源分类、一个目的分类、一个带有关系信息射的通道, 按照隐喻关系从源分类映射到目的分类, 所有涉及的分类型都遵从语境一致性约束。

Uta Priss 介绍了一种信息流三合一模型(Triadic Model)^[11], 组合了形式化概念分析、Barwise/Seligman 的信息流理论和 Peircean 的三合一符号概念。他研究出一种理论, 能描述语言单元在自然交流中为何可以不含糊, 并将这种理论用于合并本体, 使之用在电子商务的软件 Agent 中。

M. Kikuchi 等人介绍了用信息流理论描述的在人工环境中交互的数学模型^[12]。他们将人工环境的交互分为 3 种: 工件(artifact)-环境交互、人-工件交互和人-环境交互, 最终形成了人通过接口(工件)与环境交互。他们通过 3 步形成数学模型: 提出一个交互中接口的作用的新观点, 然后用情景语义的概念形式化接口的功能, 最后用通道理论给出交互的数学模型。

Hirofumi Miki 等人用信息流理论对设计和教育进行了数学分析^[13]。他们认为教育和设计是平行的, 用抽象设计理论来形式化教育。他们又认为设计是一种信息流, 从人的希望或需要到现实世界。他们关注教育实践中的规范方法, 发现教育中的信息流必须是它的规范部分、有关教育的有效性。

Tomoyuki Yamada 和 Yasushi Nomura 用信息流理论来描述曾经用情景理论来描述的事物^[14], 证明了一些 Austinian 命题可以认为等价于通道理论命题。但如何用通道理论来做情景语义的事仍有待研究。

国际上还有一些有关信息流理论的应用的文章, 由于篇幅的限制, 在此不一一介绍。

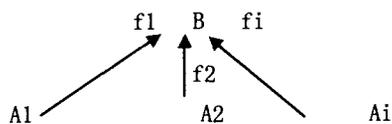
4 信息射动态生成

网格信息共享是近年来信息技术发展的需要, 网格要解决的信息共享不是一般的文件交换与信息浏览, 而是要把所有个人与单位连接成一个虚拟的社会组织(Virtual Organization), 实现在动态变化环境中具有灵活控制的协作式信息资源共享^[15]。信息流理论为网格信息共享奠定了基础, 因为它用分类、信息射、通道、理论、局部逻辑、分布式逻辑等概念支持信息在分布式系统中流动。只要我们对异构信息源不同分类之间建立信息射, 形成信息通道, 就可以使信息在网格中流动, 以便共享。由于网格虚拟组织是动态生成的, 信息资源的需求与供给都在动态变化而且分布在各地, 因此网格信息共享有明显的时间和空间特性。这对信息射的建立造成了困难, 因为信息通道随时要改变。

我们认为, 能胜任建立网格信息共享的信息射任务的软件实体是 Agent。第一, Agent 具有自主性, 能在复杂多变环境下完成计算任务。第二, Agent 能通过通信语言交换信息,

特别是语义信息。因此,我们尝试用 Agent 会话机制动态地生成信息射。

假设在时刻 t 有 i 个信息源,要使某个社团共享它,必须建立信息源创建者分类 A_i 和社团分类 B 的信息射 f_i :



社团委派一个 Agent X 与一个信息源 Agent Y 交互,双方用 FIPA ACL 语言进行通信,试图达到语义理解。假如信息源 Agent Y 告诉社团 Agent X“发现新病毒”,它必须同时将病毒的分类(是生物学类还是程序类)也发送过去:

```
<fipa-message act="INFORM">
  <sender>
    <agent-identifier>
      <name id=Y@host1>
    </agent-identifier>
  </sender>
  <receiver>
    <agent-identifier>
      <name id=X@host2>
    </agent-identifier>
  </receiver>
  <content>
    (found new virus)
  </content>
  <language>English</language>
  <ontology>Computer-ontology</ontology>
  <conversation-id>Y-X01</conversation-id>
</fipa-message>
```

在 Computer-ontology 本体中有 virus 的显式定义,指明它是一种计算机程序类型。Agent X 将 Y 所代表的分类 A_i 中的“virus”与自己代表的分类 B 中的“计算机病毒”链接起来,动态生成一个信息射 f_i 。这样,这条信息就可以共享,不会造成误解。

如果 Agent X 的分类中没有“计算机病毒”,无法链接,它可以请求 Agent Y 进一步描述 virus,直到双方意见达成一致为止,并由 X 将一致意见记录下来,作为它们之间的约束。

由于 Agent 可以自主地监视环境,随时与其它 Agent 会话,这样它们就可以在变幻莫测的网格环境中维护信息通道,保证语义信息共享。

小结 信息流理论为我们解决信息语义互操作问题提供了理论基础,是信息科学发展的新趋势。国际上应用信息流理论的研究越来越多,我们也在这个领域做了初步的研究,利用 Agent 会话机制来动态生成信息射,以解决网格信息共享的问题。更深入的成果有待进一步的研究。

参 考 文 献

1 Shannon C E. A Mathematical Theory of Communication. The

Bell System Technical Journal, 1948, 27 (July, October): 379~423, 623~656

2 钟义信. 从“统计”到“理解”,从“传输”到“认知”. 电子学报, 1998, 126(7): 1~8

3 Barwise J, Seligman J. Information Flow: The logic of Distributed Systems. United Kingdom: Cambridge University Press, 1997

4 Kent R. The information flow foundation for conceptual knowledge organization. 6th International Conference of the International Society for Knowledge Organization, Toronto, Canada, July 2000

5 Schorlemmer M, Kalfoglou Y. On Semantic Interoperability and the Flow of Information. ISWC'03 Workshop on Semantic Integration. Sanibel Island, FL, USA, October 2003

6 Kalfoglou Y, Schorlemmer M. Formal Support for Representing and Automating Semantic Interoperability. First European Semantic Web Symposium, ESWS 2004. Heraklion, Crete, Greece, May 10-12, 2004

7 Allwein G, Moskowitz I S, Chang Li-Wu. A New Framework for Shannon Information Theory: [NRL Memorandum Report]. NRL/MR/5540-04-8748. January 30, 2004

8 Skowron A J, et al. Rough Sets and Infomorphisms: Towards Approximation of Relations in Distributed Environments. Fundamenta Informaticae, 2003, 54: 267~277

9 Worboys M F. Communicating geographic information in context. Meeting on Fundamental Questions in GIScience, Palace Hotel, Manchester, UK, July 2001

10 Old L J, Priss U. Metaphor and Information Flow. In: Proceedings of the Twelfth Midwest Artificial Intelligence and Cognitive Science Conference (MAICS'2001), Ohio, April 2001

11 Priss U. A Triadic Model of Information Flow. In: Proceedings of the 9th International Conference on Conceptual Structures (ICCS'01), Stanford, CA, USA, August 2001

12 Kikuchi M, et al. A Mathematical Model of Interactions in Artifact Environments. In: Proceedings of The Society of Instrument and Control Engineers (SICE) Annual Conference, 2003

13 Miki H, et al. Mathematical Analysis of Information Flows in Design and Education. International Design Conference-DESIGN 2004, Dubrovnik, May 2004

14 Yamada T, Nomura Y. Some Channel Theoretic Considerations on Situations and Information. First International Workshop on Language Understanding and Agents for Real World Interaction, 2003

15 Czajkowski K, et al. Grid Information Services for Distributed Resource Sharing. In: Proceedings of the Tenth IEEE International Symposium on High-Performance Distributed Computing (HPDC-10), IEEE Press, August 2001