

微机网上的分布式专家联合系统 UNION (上)*

赵致琢 庄庆雨 曹 华 陆汝铃

(中国科学院数学研究所, 北京)

A DISTRIBUTED EXPERTS UNITED SYSTEM UNION ON MICROCOMPUTER NET (PART 1)

Zhao Zhizhuo, Zhuang Qingyu, Cao Hua, and Lu Ruqian

(Institute of Mathematics, Academia Sinica, Beijing)

ABSTRACT

Distributed experts united system is an advanced topic in knowledge engineering. In this paper, the design thought, objective, architecture, principle of UNION which is a distributed experts united system on microcomputer net are described. The concept of distributed experts united system was first proposed by professor Lu Ruqian in 1985. In the next year, the experimental system UNION began to be developed by Institute of Mathematics, Academia Sinica. The environment is UNOS system with C and PASCAL on MC68000 microcomputer. Three microcomputers are connected by an Ethernet. So far, the supporting system Support 1 and communication system have been finished and other units are being developed.

摘 要

本文描述微机网上的分布式专家联合系统 UNION 的设计思想、目标、体系结构和原理。UNION 是继 1985 年陆汝铃提出分布式专家系统的概念及其设计思想之后于次年夏天开始组织实现的一个实验系统。目标机型是配有 UNOS 操作系统、PASCAL 和 C 语言的 MC68000 微机, 它们用 Ethernet 局部网联网。UNION 目前已完成支撑系统 Sup

* 1989年9月8日收到, 1989年10月5日定稿。国家高技术发展计划资助课题。

port I 和通信系统, 其余部分正在实现中。UNION 的工程实现由中国科学院数学研究所承担。

§ 1. 背景

分布式专家联合系统是人工智能和知识工程的前沿课题。该领域的研究自 1978 年起逐步展开后, 经过十年的研究在系统的原理与结构方面已经取得了许多成果, 其中有些已付诸实用。国外对这一领域的称谓是分布式人工智能(简称 DAI)。

DAI 的起源是人们对解决一类复杂问题和综合性问题时集中式解题系统局限性的认识, 而网络技术、通信技术和并发程序设计技术的进展和成熟使人们意识到 DAI 已经具备了发展的基本条件。

分布式解题系统因其重要的价值和广阔的应用前景, 研究工作从一开始便受到美国军方、美国国家科学基金会的支持。一些著名的大学和大公司也纷纷投入力量全力开展研究工作, 先后发表了一批研究成果。在理论和技术上美国居于领先地位。

陆汝钤 1985 年提出了一个分布式专家联合系统(UNION)的模型, 并于次年夏天开始组织力量开展工程实现, 目前已完成支撑子系统 Support I 和通信系统, 其余部分正在实现中。

§ 2. UNION 的设计思想和目标

UNION 的设计思想是构造一个协调和管理系统, 它与通信系统相结合, 协调和管理分布在网络结点上的多个专家系统之间的合作解题。专家系统是事先由其它人独立设计, 然后依合作的要求做了少量修改的系统, 或者是依某种规范要求设计的系统, 它们可以分属不同的领域, 采用不同的知识表示和推理技术。

UNION 计划的目标是在实际的网上建立一个多用户多任务的实验性系统, 该系统能够管理和协调网上多个不同专业领域的专家系统合作求解用户给定的任务, 这些任务可以是一类比较复杂和综合性的任务。该实验性系统还可为分布式决策系统提供一个基本的框架结构和为分布式知识库管理系统提供一个内核。

§ 3. UNION 的体系结构和实现方法

1. 结点机的体系结构

UNION 在设计中坚持公平对待网络的每一个结点, 在各个结点机上建立起图 1 所示的结点体系结构。它将任务管理与任务合作求解分层, 管理员利用结点机上的通信系统实现任务的网络调度管理, 分布式任务分解、分布和分布式求解结果的合成或综合, 而任务的网络分布合作求解则由选定结点机上的支撑系统通过通信系统控制、协调分布在网上的多个专家系统相互交换信息来完成。因此, 在任务管理方面, 我们实际上采用了多结点规划的方法, 而在问题求解中我们使用的则是多结点规划与功能精确相结合的方法。

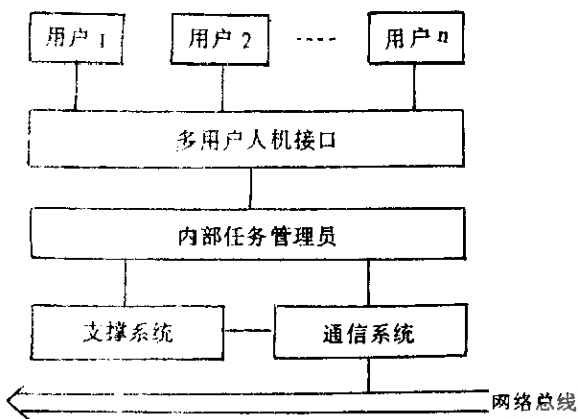


图1 结点机上的体系结构

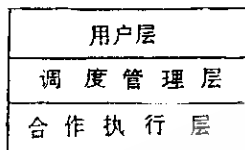


图2 UNION 的三级分层体系结构

多用户人机接口是为了统一用户与系统和各专家系统的接口，保证整个系统对用户的透明性而设计的，它采用面向对象的方法来实现。各专家系统与用户的接口的细节用对象描述，这样，用户与具体专家系统的交互则是依据对象描述来处理。

2. UNION 的分层体系结构

UNION 系统结构的分层抽象可分为三层，它们依次是用户层、调度管理层和合作执行层，如图2所示。用户层主要是多用户人机接口；调度管理层由管理员和通信系统组成，主要完成分布式任务分解、分布和结果合成或综合，系统管理员的注册和专家系统的注册，以及系统知识库的管理等；合作执行层包括支撑系统、通信系统和执行任务的专家系统，支撑系统负责具体组织和实施分布式合作解题。这一抽象使各抽象层之间实现了较大的独立性，从而各抽象层的功能和算法可以独立实现，抽象层之间的接口也达到了简单清晰的目标。系统的这一分层还支持模块化的程序设计。

§ 4. UNION 的原理与各部分功能介绍

1. 多用户人机接口

多用户人机接口是 UNION 中用于与网点机上多个终端用户交互的人机界面，它包含两方面的任务：一是用户与 UNION 的交互，向系统输入原始数据和待解的任务，从系统得到求解的结果信息；二是用户与当前为他服务的专家系统交互。

多用户人机接口的主要功能是将用户输入的数据和任务存入任务队列中，并依据某种原则对任务队列进行重排，以保证管理员每次从队列中取出优先级最高的任务进行处理。此外，它还将定期检测输出队列，即结果队列，一旦有输出需要，就将结果向用户输出。

2. 内部任务管理员

管理员的任务主要有三个：对输入的任务进行分布式任务分解、分布和结果合成或结果综合；对加盟的管理员和专家系统进行注册登记，产生相应的背景知识和控制知识，建立和修改各种内部表(包括标准词汇与非标准词汇对照表，接口对象描述等)；管理系统知识库。

管理员的主要功能如下:

(1)内部表的管理

内部表的管理包括对专家性能表、专家登记表、用户输入数据表、标准词汇与非标准词汇对照表和专家系统接口对象描述信息的管理。专家性能表和专家登记表的内容请见参考文献[16-19]。用户输入数据表登记了用户输入的全部数据,它是为了避免多个专家系统提出相同问题时用户重复回答而设置的。这样,出现重复提问只需从该表中取出第一次输入的数据回答提问即可。因此,管理员应对用户数据表进行登记、检测和存取。管理员应为每个专家系统建立一个标准词汇与非标准词汇的对照表,以便为专家系统在进行求解时使用。专家系统接口对象描述是为实现统一的人机界面提供数据支持,它由管理员在专家系统的加盟过程中建立,为多用户人机接口所使用。

(2)管理员与专家系统的注册

管理员能够将需要加盟的某一专业的管理员纳为自己的下级管理员,不同专业的一批管理员形成一个树状结构;对于需要加盟的专家系统,管理员通过对加盟申请表的处理进行登记注册,把它安排到树结构的适当结点上,有关参数将填入内部表,同时产生相应的系统知识库中的背景知识和控制知识。

任何管理员与专家系统的加盟,须由管理员将加盟信息送到其它结点,由那些结点上的管理员完成同样的注册。

(3)知识管理

管理员拥有两种知识,即背景知识和控制性元知识。前者主要是领域知识,用于管理员对任务的分解,后者主要是网络知识,用于任务的分布。管理员具有自动对两种知识进行增、删、改以及存取的功能。

(4)任务管理

任务管理主要包括网络任务规划、分布式任务分解和分布、专家系统与用户交互信息的处理、结果合成或综合,以及善后处理。

网络任务规划的任务是根据内部表中各结点的当前状态信息(忙/闲标志)确定该任务递交给哪个结点的管理员进行分解、分布,收到任务的结点如果发现更有合适的结点完成这一任务,它可以将任务转发到别的结点。由于网络任务规划时不涉及分布式任务分解,因此,很有可能选定的结点在进行分布式任务分解之后发现不是最佳结点,这是由于事先无法知道任务分解和分布的信息导致的。

接受任务的结点要进行分布式任务分解和分布。分布式任务分解和分布是密切相关的,它们受到用户的要求、网络结点之间的通信开销、网络结点的动态状态、资源(包括专家系统和外部设备)等的影响。一个任务可能有几种分解方法,一种分解也可能有不止一种分布方案。因此,管理员实际上是在任务分解和分布中寻找一种满足用户要求和系统状态的最佳分解和分布。这种规划是依据背景知识、控制性元知识和网络信息来完成的,诚然,所谓最佳是相对于网络当前状态信息而言的。

在分布式合作解题中,专家系统在解题过程中可能会向用户提出进一步的问题。为了保持整个系统对用户的透明性,防止不同的专家系统提出相同的问题而使用户重复回答,管理员应通过用户输入数据表检查并判断专家系统的提问是否曾经提出过,然后决定是向用户递交提问还是将表中相应的参数取出作为答复。此外,当提问的专家系统和用户不在

同一结点时, 管理员应当配合通信系统完成不同结点之间的人机交互。

管理员在完成分布式任务分解的同时, 确定了完成这个任务的一组专家系统之间的工作方式, 它可以是流水线工作方式、冗余工作方式和讨论工作方式中的一种或几种的组合。由于工作方式的不同, 必然会出现结果形成时如何合成或综合的问题, 管理员应具有合成或综合结果的功能, 例如, 在冗余的工作方式中, 管理员将综合多个专家系统的结果, 形成综合解或选出最优解。

善后工作包括回收资源, 除消内部表内的一些信息, 自动修改背景知识和控制性元知识, 以及计算任务的最后运行费用等。有些收回资源等的善后工作得由其它结点的管理员和本结点的支撑系统来完成, 这可以由管理员发出消息来解决。

(5)控制

UNION 采用进程为单位来管理功能独立的程序模块, 包括分布在各网点机上的—批专家系统。因此, 管理员应具有建立、挂起、撤消自己管辖下的进程的功能, 并在需要时向有关进程发送和接收有关的信件, 或者向其它结点转送这类信件。

3.支撑系统

支撑系统的任务是实际控制和组织网络各专家系统合作求解—组任务。在我们完成的 Support 1 中, 实质上是采用黑板结构加系统命令的方法, 通过通信系统的支持由合作控制程序依背景知识和控制性元知识对任务进行网络合作求解。有关 Support 1 详细的设计与实现, 请参见文献[19, 21]。

4.通信系统

通信系统的任务是完成网络各结点机之间的消息通信。UNION 中通信系统的任务有特定的含义, 它除了完成网络的消息通信外, 还必须完成网上各专定系统之间不同知识表示方式的转换, 以及可信度的一致性处理。UNION 实现的第一阶段, 我们暂不考虑知识表示方式的转换。

UNION 中通信系统的具体功能包括以下几方面:

(1)网络消息通信

通信系统有输入和输出缓冲区各一个。当通信系统收到缓冲区的消息时, 它将根据消息标志分别处理。

a)收到来自输入缓冲区的消息后, 如果

①消息来自另一结点的管理员, 那么该消息一定是发送给管理员或专家系统的, 则将消息发送给本结点管理员或专家系统;

②消息来自另一结点的支撑系统, 那么该消息一定是给专家系统的, 则将消息发送到本结点相应专家系统的小黑板;

③消息来自其它结点的专家系统, 那么, 若消息是特别请求, 则将消息发送给本结点管理员, 否则, 消息不是特别请求, 则将消息发送给本结点支撑系统。

b)收到来自输出缓冲区的消息后, 如果

①消息来自本结点的专家系统, 那么, 若消息是特别请求, 则将该消息发送给接受任务的那个结点的管理员, 否则, 消息不是特别请求, 则将消息按消息标志, 发送给组织本任务执行的那个支撑系统。假如该支撑系统就在本结点, 就不需要经过网络通信发送消息, 而由通信系统直接发送给本结点的支撑系统。除此之外, 发送消息实际上是发给接收

消息的结点机上的那个通信系统程序;

②消息来自本结点的支撑系统,那么消息一定是发给专家系统,则将消息按消息标志发送到相应专家系统的小黑板(专家系统与支撑系统同在一个结点),或者发送给相应结点的通信系统程序(专家系统与支撑系统不在一个结点);

③消息来自本结点的管理员,那么消息或者是发送给其它结点管理员的(非特别请求),或者是发送给本结点或另一结点的某个专家系统的(特别请求),则根据消息标志作相应处理。若消息是发给其它结点的,则实际上是发送给其它结点的通信系统程序。

(2)知识表示的转换

知识表示的转换是一个实用分布式专家联合系统中必须考虑的重要问题,也是十分困难的问题。一般地,支撑系统只提供一般知识表示模式,因此,系统必须提供各专家系统在执行合作求解任务中的知识表示转换的保证。在 UNION 中,目前暂要求各专家系统的知识表示与支撑系统的知识表示是相容的。

(3)每个专家系统在执行求解任务时,会进一步向用户提出一些问题,目的在于获取一些原始数据,这在网被视作一种特别请求。为了使这种特别请求得到及时响应,每个专家系统均在自己的小黑板上增设一个特别请求域,实际是通信系统输出域的一部分。通信系统应经常检测特别请求域并分析这类特别请求,然后根据分析作相应的处理。

5.矛盾消解系统

分布式专家联合系统在执行分布式合作求解问题时,必然会出现各专家系统求解结果的矛盾和不一致性。矛盾消解系统的任务是消解这些矛盾。因此,它作为矛盾辩论者双方的仲裁者和辩论的组织者,应具有假设、验证、综合表决结果、判断矛盾等项功能。

6.专家系统

每个加盟并被 UNION 接受的专家系统自身带有一块小黑板,这块小黑板在结构上与合作控制程序管理的黑板完全一样。如果不考虑网络通信的时间延迟,合作控制程序管理的黑板实质上是专家系统小黑板的一份映象。

专家系统的任务是巡回检测(读取)小黑板内的命令和数据,根据命令执行相应的推理操作和处理,然后将处理结果输出到小黑板上,或向小黑板发出请求。当专家系统在推理中感到有必要进一步向用户提问时,它可以在增设的特别请求域中写上特别请求,然后通过通信系统和管理员与用户间接交互。专家系统之间可以通过支撑系统交换数据、子任务(问题)、知识等进行合作。

专家系统在进行合作求解问题时,会遇到从其它专家系统处获得的数据在术语和词汇上不一致,因此,专家系统应具有将非标准术语和词汇转换为标准词汇的功能。UNION 在全局网上提供了一个标准术语词汇表,每个专家系统在输入输出自己的数据时,应能使用加盟时建立的标准与非标准词汇对照表进行翻译。

7.UNION 的原理

UNION 的原理是:系统的多用户人机接口与用户交互,输入用户的初始数据和问题,然后进行任务排序,将任务插入任务队列的合适位置。管理员从任务队列取来优先级最高的任务,首先根据网络信息进行网络任务规划,确定该任务在哪一个结点上分解、分布和合作控制求解,然后将任务发送到相应结点的管理员。如果选择的结点就是接受任务的结点,则进行任务分解。管理员接受任务后,依据背景知识、控制性元知识和网络动态

信息对任务实施分布式任务分解和分布，并从多种分解和分布方案中决定最佳分解和分布，然后递交给支撑系统。支撑系统收到管理员发来的任务后，对每个任务建立起一个合作小组，为组内每个专家系统分配相应的资源，并将最初的合作命令和初始数据写入每块小黑板，然后通知管理员启动各专家系统运行。合作控制程序此后一直监控一组黑板(该任务组内各专家系统小黑板的一组映象)上的信息，并对这些信息进行基于背景知识和控制性元知识的处理，以命令加数据的形式向各专家系统发送进一步的合作命令和数据及任务，从而实现专家系统之间的合作解题。当各专家系统完成任务求解将结果送回合作控制程序监控的黑板后，如果存在矛盾和不一致性问题，则调用矛盾消解系统处理，否则由合作控制程序递交给管理员进行结果合成或综合，最后经多用户人机接口输出结果。

8. UNION 结构与 DVMT 的比较

Lesser 等人多年来一直致力于 DAI 的研究，他们采用功能精确的方法协调网上多个知识源对由各网点上声音传感器共同监视的一个区域发回的原始数据进行处理，以便识别声源的位置和形状。在改进 Hearsay II 基本结构的基础上，他们设计了一种新的结构作为各网点机上共有的系统结构，称之为分布式(信息)传播监测板(简称 DVMT)。下面我们将 DVMT 与 UNION 作一比较。

· 系统结构的比较

DVMT 的系统结构是在每个结点机上，将结点规划程序和黑板系统组合在一起，根据聚合器对最初由传感器发回的数据的处理而产生的最初一级抽象数据和以后由知识源处理产生的较高级抽象数据进行任务规划，逐步产生一组规划队列，直至知识源的处理输出最终结果。DVMT 的每个结点是独立的，其规划程序只能对本结点的活动进行局部规划，每一个结点都是相同的，是在同一个总体设计中产生的，DVMT 的每个结点虽然能够交换局部的数据、结果和规则，但并不存在一个能以全局观点协调网络工作的控制机制。

UNION 虽然在结点控制和管理这一级各结点是相同的，是在同一个总体设计中产生的，但 UNION 的每个结点所拥有的知识源可以是不同的。它通过管理员与支撑系统能同时以全局的观点协调组织合作求解多组问题，而且求解的问题可以是不同的。

· 合作方法的异同

DVMT 的合作方法是功能精确的方法，各结点可交换不完整和不精确的数据，包括局部规划或部分全局规划来合作求解；UNION 的合作方法采用了多结点规划与功能精确相结合的方法，各结点之间不仅能交换数据，而且能交换任务和知识，因而预料其合作连贯性比 DVMT 要好。

· 可靠性

DVMT 的系统结构可靠性较好。由于其每个结点是相同的，因此，即使某一结点发生故障，系统照样继续工作。UNION 由于在求解任务中，任务的分解、分布和合作协调执行必须依赖于某一结点的管理员和支撑系统，因此，一旦该结点发生故障，整个任务的求解宣告失败。如果要提高可靠性，则必须在二个以上的结点分别控制任务的分解、分布和合作协调执行，这势必增加开销，降低网络效率。

· 通信及开销

DVMT 的通信由于只发送数据、结果和规划，而且负载平衡，因此通信开销较小。

UNION 的通信及开销不仅量大, 而且任意两个专家系统之间的通信都必须经过支撑系统所在的结点中转, 这是很不合理的。改进的方法是一组任务的处理由各结点的支撑系统共同监控, 以提高效率, 降低通信开销。但这种做法难度较大, 实现时有不少困难。

· 知识的交换

交换知识一直是 DAI 研究中最困难而待解决的难题, DVMT 和其它先行系统一样, 绕开了知识交换, 而只能交换原始数据、规划和结果。UNION 第一阶段可交换相同表示模式的知识。

参考文献

- [1] Commarata, S. et al., *Strategies of Cooperation in Distributed Problem Solving*, IJCAI-83, Karlsruhe, West Germany, 1983, pp. 767-770.
- [2] Corkill, D. D. and Lesser, V. R., *The Use of Meta-level Control For Coordination in a Distributed Problem Solving Network*, IJCAI-83, Karlsruhe, West Germany, 1983, pp. 748-756.
- [3] Davis, R. et al., *Negotiation as a Metaphor for Distributed Problem Solving*, AI, Vol. 20(1), 1983, pp. 63-109.
- [4] Durfee, E. H. et al., *Using Partial Global Plans to Coordinate Distributed Problem Solvers*, IJCAI-87, August, 1987, pp. 875-883.
- [5] Durfee, E. H. et al., *Increasing Coherence in a Distributed Problem Solving Network*, IJCAI-85, August, 1985, pp. 1025-1030.
- [6] Erman, L. D. et al., *The Hearsay-II Speech Understanding System: Integration Knowledge To Resolve Uncertainty*, *Computing Surveys*, Vol. 12(2), 1980.
- [7] Erman, L. D. et al., *The Design and an Example Use of Hearsay-III*, IJCAI-81, August, 1981.
- [8] Georgeff, M., *A Theory of Action for Multi-agent Planning*, AAAI-83, August, 1983, pp. 121-125.
- [9] Georgeff, M., *Communication and Interaction in Multi-agent Planning*, AAAI-83, August, 1983, pp. 125-129.
- [10] Hayes-Roth, B., *The Blackboard Architecture: A General Framework for Problem Solving?*, HPP Report, HPP-83-30, May, 1983.
- [11] Hayes-Roth, B., *A Blackboard Architecture for Control*, AI, Vol. 26(3), 1985.
- [12] Hayes-Roth, B., *The Blackboard Architecture: A General Framework for Problem Solving*, Heuristic Programming Project Report, HPP-83-30, Stanford University, 1983.
- [13] Hayes-Roth, B., *BB1: An Architecture for Blackboard Systems that Control, Explain, and Learn About Their Own Behavior*, Heuristic Programming Project Report, HPP-84-16, Stanford University, 1984.
- [14] Huhns, M. N., *Distributed Artificial Intelligence*, Pitman Publishing, 1987.
- [15] Lesser, V. R. and Corkill, D. D., *Functionally Accurate, Cooperative Distributed Systems*, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMC-11(1), 1981, pp. 81-96.
- [16] Lu Ruqian, *Expert Union: United Service of Distributed Expert Systems*, Technical Report 85-3, Department of Computer Science, Minnesota University, June, 1985.
- [17] 陆汝铃, 分布式专家系统, 《新一代计算机文集》, 《计算机研究与发展》编辑部, 1988., pp. 114-124.
- [18] Lu Ruqian, *The Architecture and Strategies of Expert Union*, *Advances in Chinese Computer Science*, Singapore World Scientific Pub. House, 1988.

- [19] 陆汝钤, 赵致琢, 分布式知识工程研究(I), 《知识工程进展(1988)》, 中国地质大学出版社, 武汉, 1988., pp. 347-356.
- [20] 周龙骧, 微机网上的分布式关系型数据库管理系统 C-POREL, 中国科学, A 辑, (1)1985., pp. 955-964.
- [21] 赵致琢, 分布式知识工程研究, 中国科学院数学研究所硕士学位论文, 1988, 7. 30.
- [22] Luis, E. C. N., On Distributed Artificial Intelligence, Knowledge Engineering Review, 1989(1), pp. 23-59.
- [23] Bruce, S. and Peter, W., Research Directions in Object-Oriented Programming, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1987.

《软件学报》创刊征稿征订通知

为了适应我国计算机软件不断发展的需要和广大读者的要求, 并受中国计算机学会软件专业委员会的委托, 决定由中国科学院软件研究所主办《软件学报》。该刊已经国家科委批准, 已于一九九零年初创刊, 暂定季刊, 国内外公开发行, 全国各地邮局订阅, 欢迎科研部门研究人员、大专院校的师生以及广大计算机界科技人员投稿。

办刊方针:

加强计算机软件这一领域的学术交流, 为我国计算机软件事业的发展 and 国民经济建设服务, 重点刊登我国计算机科学基础理论、软件理论、软件技术和软件工程方面的重要研究成果, 及时反映我国计算机软件的学术水平。

刊登内容:

数理逻辑、自动机及其在计算机科学中的应用, 可计算理论、网论, 算法设计与分析, 思维科学, 计算语言学, 形式语言和语义理论, 程序设计逻辑, 软件开发形式化技术, 软件自动生成, 人工智能, 专家系统, 知识工程, 定理机器证明, 自动翻译, 计算机辅助软件工程, 程序设计语言, 操作系统, 数据库, 计算机网络, 分布式系统, CAD/CAM/CAT/CAE, 图形、图像、汉字、语言等信息处理, 计算机辅助教学, 软件新技术的应用开发。

读者对象: 广大的计算机科学研究人员、工程技术人员、大专院校的教师及高年级学生、研究生等。

订阅办法: 全国当地邮局订阅(过期期刊可到编辑部购置, 售完为止, 需要邮寄者每本加邮费 0.60 元。)

本刊主编: 许孔时

通讯处: 北京 8718 信箱《软件学报》编辑部。

地址: 北京海淀区中关村科学院南路 6 号中国科学院软件研究所。

邮政编码: 100080 **电报:** 5547 **电话:** 2562563 **联系人:** 鞠玉兰

国内统一刊号: CN11-2560

国内邮发代号: 82-367

单价: 2.40 元