



中国科协学会学术部 编

新

观点新学说学术沙龙文集

75

不确定性人工智能前沿理论与应用研讨



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

新观点新学说学术沙龙文集 ⑦⑤

不确定性人工智能 前沿理论与应用研讨

中国科协学会学术部 编

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

不确定性人工智能前沿理论与应用研讨 / 中国科协学会学术部编 .
—北京 : 中国科学技术出版社 , 2013.12
ISBN 978-7-5046-6516-4

I . ①不… II . ①中… III . ①人工智能 - 不确定系统 - 研究
IV . ① TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 312339 号

责任编辑 赵 晖 夏凤金
责任校对 赵丽英
责任印制 张建农

出 版 中国科学技术出版社
发 行 科学普及出版社发行部
地 址 北京市海淀区中关村南大街16号
邮政编码 100081
电 话 010-62103125 62103349
传 真 010-62173081
网 址 <http://www.cspbooks.com.cn>
印 刷 北京长宁印制有限公司



开 本 787mm × 1092mm 1/16
字 数 200千字
印 张 12
版 次 2014年1月第1版
印 次 2014年1月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5046-6516-4 / TP · 392
定 价 18.00元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页, 请联系本社发行部调换)

倡导自由探究

鼓励学术争鸣

活跃学术氛围

促进原始创新

序

自从2012年3月计算机领域的最高奖——图灵奖——被宣布授予美国学者 Judea Pearl 以来，不确定性人工智能就成为国际学术界最热门的话题之一。Judea Pearl 的主要贡献在于他严格基于概率论，将不确定性引入人工智能领域，并作为主要奠基人之一，提出了贝叶斯网络（Bayesian Network）理论，使得人工智能领域在存在不确定性（Uncertainty）的情况下，第一次有了一个数学上严谨而系统的理论。在我们当前所处的大数据（Big Data）时代，贝叶斯网络已成为从数据中学习并应用知识的重要手段之一，得到了广泛的应用。此外，贝叶斯网络关于因果关系的图形表达方式将拓扑关系引入到不确定知识表达和推理领域，也为学术界打开了一扇美丽的大门。目前，各种基于图的不确定性知识表达和推理模型已成为学术界研究的重点之一。

2012年5月，在中国计算机学会的支持下，一批中国学者在北京召开了一次以“贝叶斯网络在中国的应用和发展”为主题的学术沙龙。我有幸参加了那次会议，并见证了中国学者在这个领域所取得的成绩和研究的热情。在那次会议上，与会的学者们决定成立一个专业委员会，以便更好地组织全国的学者在此领域开展学术交流，进一步推进我国在此领域的研究和应用。最后，经中国科协和民政部批准，专委会定名为“中国人工智能学会不确定性人工智能专业委员会”，并于2013年5月29日在中国科技会堂举行正式成立仪式。可以预见，中国的学者们会更加积极地投身到这个领域、更加活跃和富有成效地在这个领域有所建树。作为中国人工智能学会的理事长，我为这个专委会的成立感到高兴。

在中国科协学会学术部的支持下，专委会成立伊始就举办了中国科协第75期“新观点新学说学术沙龙”。本次沙龙的主题为“不确定性人工智能前沿理论与应用研

讨”。根据科协的规定，“新观点新学说学术沙龙”系列活动的宗旨是：“充分发挥学术交流作为原始创新的源头之一的作用，弘扬‘敢于创新、勇于竞争和宽容失败的精神’，倡导自由探究，鼓励学术争鸣，活跃学术氛围，为科学家萌芽时期尚未获得主流认可的学术观点、理论以及灵感提供交流平台”。本次沙龙无疑是这一宗旨的一次有效的实践。在所述大数据学习和贝叶斯网络红遍全球的背景下，我国学者也有敢于独辟蹊径、与之争锋的勇气。张勤教授提出的“动态不确定因果图”理论就是一个有益的尝试。该理论指出有用的大数据并不总是在需要的地方存在。例如大型复杂工业系统的故障诊断就属于这种情况。在这里，故障数据极少，且可移植性很差。但现场搜集到的信号数据却巨量高频（例如每秒5万个）。这些大型复杂系统的故障诊断需要在极短的时间内完成（例如一秒钟），且通常要求智能系统有能力诊断出从未出现过的故障、诊断结果具有良好的可解释性。“动态不确定因果图”理论及其初步的应用实践让我们看到了解决这一问题的希望。当然，质疑之声也不少，正如我自己提出的不确定云模型所经历过的一样。这是任何新生事物都必须经历的考验。在目前的大环境下，中国学者要完成这一点尤其难，因而也尤其可贵。此外，与会专家各抒己见，还有很多独到的见解，不在此逐一评述。

这次沙龙的成功还在于争鸣。在会上，演讲者做了认真准备，听众在大开眼界的同时，也不时打断演讲提出问题。双方你来我往，激烈而不失优雅，思辨而不落俗套，未必能够达成一致，却在讨论中促进了学术的进步。读者在观览这本沙龙发言文集时，不难发现这一明显的特征。

为了记录和传播本次学术沙龙的演讲和讨论，以便与会和未能与会的学者们进一步思考和探索，我们根据科协的要求，出版了本次沙龙的演讲和讨论文集。其中，每位演讲者都对自己的演讲速记文字进行了整理修改，显示了学者们认真严谨的学术精神。当然，我们还要感谢那些对速记文字与录像进行比对并初步纠错和填空的同学们，没有他们的艰苦努力，就不会有这本文集的问世。

李维录

2013年7月20日

目 录

报告一	动态不确定因果图的最新进展及有关理论问题探讨	张 勤 (6)
报告二	不确定性认知理论与模型	李德毅 (52)
报告三	网络图模型、因果关系与大数据的探讨	耿 直 (69)
报告四	基于数据的贝叶斯网络学习	王双成 (83)
报告五	智能科学中的不确定性研究	史忠植 (97)
报告六	网络智能与软件工程的交叉研究	李 兵 (107)
报告七	数据中的不确定性知识：表示、推理与应用	岳 昆 (118)
报告八	深度学习：语言计算领域的一个挑战问题	孙茂松 (134)
报告九	系统和软件的可靠性：不确定性建模与分析	谢 旻 (143)
报告十	基于贝叶斯网络的数据分类内在属性研究	杨有龙 (149)
专家简介		(165)
编者按		(180)

会议时间

2013 年 5 月 29 日—30 日

会议主题

不确定性人工智能前沿理论与应用研讨

会议地点

中国科技会堂

沙龙主持人

孙茂松 史忠植 耿 直 沈一栋

韩力群（中国人工智能学会副理事长）：

各位领导，各位来宾，大家上午好！在沙龙开始之前，我们大家先共同见证一下中国人工智能领域的一件喜事。下面欢迎中国人工智能学会理事长李德毅院士主持不确定性人工智能专委会成立仪式，大家欢迎。

李德毅：

我们很高兴今天在这里举行中国人工智能学会不确定性人工智能专委会成立会。我们一批志同道合的爱好者们曾经讨论过不确定性人工智能，大家都觉得研究不确定性人工智能的时代已经到来了。清华大学张勤教授始终是这个项目的积极分子和骨干，在他和大家的共同努力下，我们人工智能学会向中国科学技术协会正式提出申请，获得批准。今天非常高兴成立这个专委会。下面有请中国科学技术协会学

会学术部宋军部长致辞。

宋军：

尊敬的李德毅理事长，张勤教授，今天在中国人工智能学会不确定性人工智能专业委员会成立仪式上，我谨代表中国科学技术协会学会学术部向不确定性人工智能专业委员会表示热烈祝贺。人工智能学会第六届理事会第九次常务理事会于2012年11月上报成立专委会，已获得中国科协以及民政部正式批准。确切地说，中国人工智能学会不确定性人工智能专业委员会于2013年2月正式获得批准，登记号为3583—27，住所为北京市海淀区清华大学信息技术大楼三楼513，机构负责人为张勤，业务范围有以下六项：一、组织探索最新有关不确定性人工智能的科学与技术；二、开展学术交流活动，提升会员学术水平和国际竞争力；三、协作研究科学难题，共商技术攻关，促进科技创新；四、进行有关不确定性人工智能的科技咨询和培训；五、宣传不确定性人工智能科普知识；六、出版不确定性人工智能专业文集。下面我把民政部社会团体分支机构登记通知书也宣读一下。民政部2013年6022号，中国人工智能学会：经审查，你会申请不确定性人工智能专业委员会符合有关规定，予以登记。请于批准之日起3日内办理证书。特此通知。民政部2013年2月5日。我们衷心希望专业委员会在中国人工智能学会指导下严格遵循有关章程，积极开展活动，按照中国科协和民政部对分支机构管理要求，把人工智能学会不确定性人工智能专业委员会办出特色，办出水平，取得更大成效。谢谢大家！

李德毅：

下面把我们机构的登记印章、证书副本等交给专业委员会主任张勤教授。我们还有几个专业委员会正在成立当中。借用今天这个机会，

我们把专业委员会的成立搞得更加规范、更加符合要求。下面我把会议主持权转给专业委员会主任张勤教授。

张勤：

谢谢！我们这个专业委员会实际上源起于去年5月在这间会议室的会议，我们在座有很多教授都参与过，当初搞了一个沙龙。刚才李院士说了，我们当时源起于 Pearl 刚刚获得图灵奖，我们觉得国际上这么重视这个领域，我们国内科学家应该就这个议题开研讨沙龙，所以我们当时在计算机学会名义下作了两天研讨。后来大家觉得这批人聚到一起不容易，而且这又是未来发展很重要的领域，觉得应该成立自己的机构，于是就开始筹备成立专委会。应该说，在科协，在民政部，主要是在座很多专家大力支持之下，今天正式成立专委会，这是许多人共同努力的结果。成立之后还有几件事需要说明。我们的章程事先都发给大家了，大家都看过。有个小小的问题：我们的章程基本上是按照范本写的，唯一需要讨论的是有的教授提出我们参会专家是否应达到 $2/3$ 会议表决才有效。我觉得我们不必搞那么严格，还是超过 $1/2$ 有效吧。许多专家不能保证每次都能参会。比如上次参会的倪光南院士昨晚告诉我他来不了了李未院士也是昨晚告诉我他临时有急事也来不了，史忠植教授今天上午必须参加一个答辩会，下午才能来，清华大学的戴琼海教授——他刚刚获得国家发明一等奖——今天上午有重要领导要参观他的实验室，校长通知他必须呆在实验室，所以他只能等那个事完之后才能赶过来参会。可见，参会人员有很多不确定情况。我们成立这个专委会的目的是为了做事情，不是为什么权利。所以我建议 $1/2$ 以上参会和表决通过就有效。如果大家没有意见的话，我建议大家鼓掌通过（鼓掌）。关于专委会主任，必须事先上报批准。当时我们大家交流，多数专家推荐我出面做这个事情。在大家的要求

下,我承担了这个责任。但是副主任还没有确定。我现在提议这么几位:首先提议清华大学计算机系——也就是我们的秘书处所在地——清华大学信息学院计算机系前系主任、现任党委书记孙茂松教授担任咱们的副主任。顺便说明一下,今天提议的副主任,不在这次新参加沙龙的教授们中间产生,因为新参加的教授们大家还不太熟悉;第二位就是沈一栋教授,他是中科院软件所的研究员,我们从在重庆大学起就在一块儿长期合作。沈教授在这方面非常优秀;另外一位是北京大学数学系的耿直教授,他也是咱们中国现场统计学会理事长。我提议耿直教授作为专委会副主任。大家对以上三位有没有意见?如果没有,请大家鼓掌通过(鼓掌)。还有一位,就是刚才说的中科院计算所的史忠植教授,他上次参加过咱们的沙龙,而且对这个活动非常支持。可是史忠植教授突然有事今天上午来不了,下午他会来参加我们的沙龙。他的个人介绍在发给大家的会议材料里面,所以不作专门介绍。现在我提议请他作为专委会副主任,大家有没有意见?如果没有意见,请大家鼓掌通过。另外还有一位也是我们的主力之一:香港科技大学张连文教授。他的学生这几天正好答辩,不能出席这次沙龙,会议材料里没有关于他的介绍。这张照片是今年3月我到香港科技大学的时候跟他的合影。他在上次沙龙中非常活跃,本次沙龙前期跟大家也有很多交流,是国际上很有名的学者、很多杂志的副主编。由于他不能出席咱们这次会议和沙龙,不知我是否可以提议他担任专委会副主任?如果大家同意,请大家鼓掌通过。谢谢!我们的成立仪式到此结束,下面请孙茂松教授主持第一阶段沙龙。

孙茂松:

各位上午好,主持这个沙龙非常紧张,咱们这么多大师级的人物都在这儿。但紧张也得主持。接下来是今天上午的重头戏,请张勤老

师介绍他的比较系统的这些年的理论成果。张老师非常简单，他对因果图的研究始于他在清华大学核研院读博士的时候，后来在美国田纳西大学和 UCLA 大学做访学者，再往后就是在清华经管学院做博士后，再往后张老师担任了一系列行政领导工作，在重庆科委做主任，后来做国家知识产权副局长，再到中国科协做书记处书记，非常繁重的行政管理工作。其间他对因果图的研究一直在坚持，所以这是他几十年工作的一个结果。今天非常高兴时间比较充裕，有两个多小时，请张老师把他的工作系统地跟大家分享一下。他的题目是“动态不确定因果图的最新进展及有关理论问题探讨”，有请张老师。

报告一 动态不确定因果图的 最新进展及有关理论问题探讨

◎报告人 张勤

在开始咱们这次沙龙之前，我想先读一下中国科协对沙龙的定位或宗旨：“科学的本质是批判，交流的本质是质疑，新观点、新学说学术沙龙系列活动旨在充分发挥学术交流作为原始创新的源头之一的作用，弘扬敢于创新、勇于竞争和宽容失败的精神，倡导自由探索、鼓励学术争鸣、活跃学术气氛，为科学家萌芽时期尚未获得主流认可的学术观点、理论以及灵感提供交流平台”。这就是我们这次沙龙的一个主要出发点。本着这样一种精神，我今天想占用比较多一点的时间来介绍我的研究内容。为什么多一点时间？缘自于我要介绍的这套体系全部是原创的，以现实应用为背景。我是学核电站的，后来才进入人工智能领域。这源自于1979年美国三哩岛核事故。为解决复杂的故障诊断问题，我求助于人工智能，结果发现现有的人工智能技术（包括 Judea Pearl 的贝叶斯网络）并不能解决我们的问题，于是自己提出新的理论体系，叫作“DUCG（Dynamic Uncertain Causality Graph）”，是一种新观点新学说。但同时，我这个新观点新学说还是非主流的，应该说目前还没有得到国际学术界的广泛认同。今天在座的各位专家绝大多数都是搞大数据的。大数据现在非常热门。但是我更想说的是，在没有充足的 Data 的情况下，怎么做人工智能、怎么建造知识库、怎么推理？这件事为什么在这儿讲呢？叶培建院士在场，上次我们讨论空间核电源系统的课题，就是要将小型核电站系统搬到天上去，它要是坏了，你要进行故障诊断，以便修复或调整。包括卫星故障诊断都是同样的问题。这些东西上天之前你不知道它在天上会出什么故障，没有任何统计数据。这种情况下你怎么建故障诊断的知识库？怎么进行在线的故障诊断？叶院士上次就向我提了这个问题。我向叶院士说，我这个理论就要解决这个问题的。现在我来

跟在座的教授们分享我的观点。

叶培建：

今天就是来讨论问题的，因为我们下一步想在天上或者是深空做探测，虽然是低轨，但是这些大功率的设备需要核电站，把核电站弄到天上去，所以才引出这么一件事情，所以张书记要研究这个问题。

张勤：

我们这个学术交流沙龙提倡质疑批判，我讲的任何地方如果不清楚或者有问题，大家可以随时打断提问，这就是为什么时间会拉得比较长的原因。

我其实在邮件中跟各位教授都提到过，讲自己的学术内容最好以需求应用为导向，即先给大家一个简单的 idea：你这个研究是干什么用的。虽然一般意义上都是不确定性人工智能，但要解决的问题可能是不一样的。我知道我们大部分专家现在主要用大数据解决模式识别问题，比如这个人到底是在哭还是笑，从脸谱上进行判断。还有情感机器人、指纹识别等等。在这些方面，应用领域的数据是充分的，包括对网络上软件的识别、词素分析等等，这些问题都有大量的数据。而我所要搞的智能系统，是在没有大量数据的情况下，做计算机故障诊断。背景是什么？上次沙龙我已经作了一些介绍。现在想再介绍一下：我的课题今年 3 月 29 日在深圳召开了第二期项目验收会，通过了。我们做的是岭东核电站发电机系统的故障监测、预报、诊断、发展预测和决策支持的专家系统，一会儿给大家演示。

第二部分就是我与北京化工大学信息学院朱院长联合指导的硕士生杨佳婧的工作。我们利用一个非常典型的 TE (Tennessee-Eastman) 系统，就是化工过程系统模拟系统，作为验证手段。这个系统现在是世界上检验工业系统故障诊断的一个公开的、标准的模拟器。我们做一下对比。国际上这篇文章是用贝叶斯网络 (BN) 做的^①。Judea Pearl 是搞 BN 获得图灵奖的。我们来看他们文章的结果，和我们到现在为止做的结果做一个对比（演示比对结果：TE 模拟的 20 个故障中，

^① Sylvain Verron, Teodor Tiplica and Abdessamad Kobi. Monitoring of Complex Processes with Bayesian Networks, Bayesian Network, Ahmed Rebai (Ed.). 2010.

BN 能够 100% 诊断的是 2 个, DUCG 是 17 个; BN 能比较准确诊断的是 15 个, DUCG 是 2 个, 还有一个 (第 16 号故障) 由于中文版 TE 模拟器没有产生任何异常信号, 所以 DUCG 无从诊断, 需要与英文版核对; 另外, BN 有三个故障无法准确识别 (识别概率远低于 50%), 其中两个 DUCG 能够准确诊断 (100%), 另一个诊断概率为 95%。

第三就是我的一个博士生、也是我们专委会的成员, 董春玲的工作。她与北京朝阳医院的王教授和博士生一起进行了眩晕疑难杂症的疾病诊断工作, 待会儿跟大家分享。

我们与中广核的故障诊断项目的下一个应用对象是核电站冷凝器, 然后会再扩展到其它系统。我们还计划做在轨卫星的故障监测和诊断。去年谈的时候有 56 颗在轨卫星, 到今年年底大概能达到上百颗, 到 2020 年应该是 150 颗。还有船舶故障诊断等。

我们还打算与北京阜外医院合作做心血管疾病诊断的工作。心血管疾病的诊断是非常重要的领域, 我们不确定性人工智能领域中比较早期的一个专家系统 MYCIN 就是做的这个领域, 它是斯坦福大学的 Shortliffe 教授牵头搞的。MYCIN 做了上千种疾病, 但是一直没有用好。最近有一篇论文, 大概是 2011 年的^②, 其中讲道: MYCIN 之所以没用得好, 是因为它只给结论, 没有很好地解释为什么是这个结论, 或解释得不好。而医生们都不愿意自己变成傻子: 你只告诉我在这个症状下就是这个疾病, 那是不行的。心血管疾病诊断非常重要。我认识的一位领导刚刚退休不久, 背有点疼, 星期天到北京医院, 那还是三甲医院, 找值班医生看病, 说是扭伤, 回去了。星期一感觉还疼, 再去看, 另一个有经验的专家一看就说这是典型的心肌梗死, 赶紧躺在担架上去住院, 马上进行手术。但即使这样, 他的心脏部分细胞已经不可恢复性坏死。所以我们准备做这个领域的疾病诊断系统。这也是人工智能系统的一个应用背景。

其实我最想做的, 是希望能在 DUCG 理论框架下做一个通用的计算机软件, 就像 WORD 软件一样, 装在任何一台电脑上, 就使你可以用图形的方式自己编辑你的知识库、自己提出你需要解决的问题并推理求解, 使你的电脑成为一台智

^② C. Yuan, H. Lim, and T. C. Lu. Most Relevant Explanation in Bayesian Networks. *Journal of Artificial Intelligence Research*, vol. 42, pp. 309-352, 2011.

能电脑。这是我理想的目标，目前正在做前期开发。

现在给大家看一个核电站故障诊断的实例。这幅图片是 1979 年美国三哩岛核事故发生之前该核电站的样子。这张系统图需要稍微讲一讲，因为我们大家都在讲多重故障诊断、还有负反馈等，到底是怎样的情况？在这个例子中，核反应堆产生热量，相当于锅炉，把蒸汽发生器里的水烧成蒸汽，蒸汽出来之后推动透平发电。这是发电机。蒸汽从透平出来之后，通过冷凝泵等设备循环回来，重新进到蒸汽发生器。反应堆一回路的水冷却剂也是通过这个主泵来形成循环的。三哩岛核事故起因于一个常规的部件故障，导致冷凝泵停转、整个二回路循环都停了。按照设计，辅助给水系统应该往里面补水，因为反应堆虽然停堆了，但是还有 4% 的剩余发热必须要带走。三哩岛、日本福岛核事故，都是由于停了反应堆之后，剩余发热不能有效带走，导致堆芯熔毁。这是非常严重的事故。二回路主给水泵一停，辅助给水系统应该补水来带走剩余发热。可是之前维修辅助给水系统的时候，工人忘了在维修后打开隔离阀。就是说维修时把隔离阀关掉了，维修之后忘了打开。所以辅助给水泵虽然启动给水了，但是水过不去，于是整个二回路处在失冷状态，蒸汽发生器中的水被蒸干。这意味着反应堆 4% 的剩余发热不能带走，导致一回路压力开始增加，增加到一定程度后，按照设计，泄压阀打开往外排水卸压。压力减到一定程度后，这个卸压阀门应当自动关闭。但这个阀门却关不上，成为反应堆往外漏水的一个破口。核电站最怕的就是冷却剂丧失事故。在这个破口持续往外漏水的情况下，紧急注入系统自动启动往反应堆里面注水。可是这里出现了一个问题：稳压器的液位信号显示为高。本来水少了才需要往里面补水，但是高液位信号表明水多了。当时操作人员判断认为是紧急注入系统错误启动了，于是手动把紧急注入系统停掉，结果导致反应堆堆芯烧毁。美国总统卡特亲临现场指挥，撤离近 20 万人，损失巨大。事后来看，液位高是虚假信号，因为压力降低之后，一回路的水沸腾了，产生了很多气泡，使其体积变大，把水位顶上来了，并不是水真的多了。由此可见，工业系统的故障诊断过程需要多参数组合推理，才能知道真实的故障原因。此外，多重故障并非多个故障的简单叠加，而是由初因事件和非初因事件组成的。后面我会解释这个问题。

从这个例子中，我们看到现场操作人员所处的是一个十分复杂的诊断和决策环境。这张图片是 1979 年的主控室的样子。现在改变了一些，采用了大电脑屏幕。

这台模拟机是最近与我们合作的中广核集团仿真公司建造的，是准备给国家核安全局的一个监控中心安装的，现在还没搬过去。这是我们去参观的时候拍的照片，我们也准备在这上面做一些实验。

背景介绍后，我想介绍一下人工智能故障诊断理论问题。故障诊断无非有三种方法：一种是基于知识的，包括 IF-THEN 系统，我采用的也是基于知识的但不是 IF-THEN 的方法；第二种是基于数学物理模型的，比如蒸汽发生器有什么故障，可以通过噪声分析、提取特征量，再通过数学物理方程的方式来做。但它的应用范围窄，一般只能在特殊的情况下用；第三种是基于数据学习的，是在座各位的强项。但像三哩岛核事故这样的情况，以前从来没有发生过，却要求我们的操作人员或人工智能系统来判断。所以，我们面临的情况是基本上没有现成数据可以学习。

下面让我的学生演示一下现在已经做出来的核电站发电机故障诊断系统。程序的入口我就不讲了。我们这个系统由两大部分组成：第一部分是知识库编辑器。在我们这个领域，最有知识的实际上是核电站的设计、建造、维修、运行人员，我们称之为领域工程师或者领域专家。他们对自己的系统最熟悉：可能会出现什么故障，变量之间的因果关系是什么，包括其中的不确定性有多少，他们最有发言权。历史上很多出现过的故障，还有很多没有出现但可能出现的故障，都装在他们的脑子里。我们的专家系统就是要把他们的这些知识用最直截了当的方式变成我们的人工智能知识库。我们首先要定义变量。我们先把对象系统的工程图调出来作为定义变量的图形索引。可以有好多张，这就是发电机的总图，是二维的。定义的变量可以在工程图上标注出来。这就是我们定义的变量的情况。定义变量的同时，在工程图上选定的故障变量区域也就是诊断结果的显示区域，诊断结果会在事先定义的地方闪烁。然后再看一下我们的变量状态定义。这是一个 X 类型的变量，就是信号类型的变量。我们对它的定义有不同颜色、不同说明、多种状态，包括每个状态的有效区间是什么。我们用各种括号定义每个状态的有效区间，相邻状态的区间可以重叠，重叠部分就是模糊区间，这不就细讲了。现在看看我们已经建好的知识库。这里有一个白板，我们可以把我们定义的变量拉到白板里来，用有向线连起来，建造知识库。这是一张建造好的知识库子图。鼠标放到变量上后，变量的定义描述就会弹出来显示在这个地方。我们每一条线实际