第11卷 第4期　　自 动 化 学 报　　Vol. 11, No. 4
1985 年 10 月　　ACTA AUTOMATICA SINICA　　Oct., 1985

陆地卫星多光谱扫描图象错位条带的纠正

王 天 禧
（北京石油勘探开发科学研究院遥感地质所）

摘　　要

本文介绍用电子计算机对陆地卫星多光谱扫描遥感图象的错位条带进行纠正的方法．错位条带出现的位置和错动距离是随机的．纠正这种条带需要知道两个值：错位所在的行号和错开的象元数．在显示屏幕上用人眼做这项工作费时费力．本文介绍用相关技术或序贯相似性检测算法自动计算上述两个数值，进而完成错位条带纠正的方法．

文献[1]说明了多光谱扫描器获取的遥感信号数据流与扫描运动时间的关系，如图1所示．设正确的扫描启动时间为 T_0，而某次扫描中，启动延迟到 $T_1 > T_0$，这时就丢掉了 (T_0, T_1) 时间内应获取的遥感图象数据．同时把 T_1 时扫描得到的图象误为 T_0 时的图象，而且后续数据依次错动，这就形成遥感图象的错位条带．图2左是这种图象的一个例子(图幅号8277402272)．

这里所说的扫描行启动不正常是偶然发生的．要纠正这种错位条带必须确定哪一行产生了错位以及错动的距离．用人眼在显示屏幕上确定错位行号与错开距离，然后把错位条带搬回正确的位置上，再在屏幕上用眼睛检查是否校好．这样做有时要反复几次，很费时间与人力．

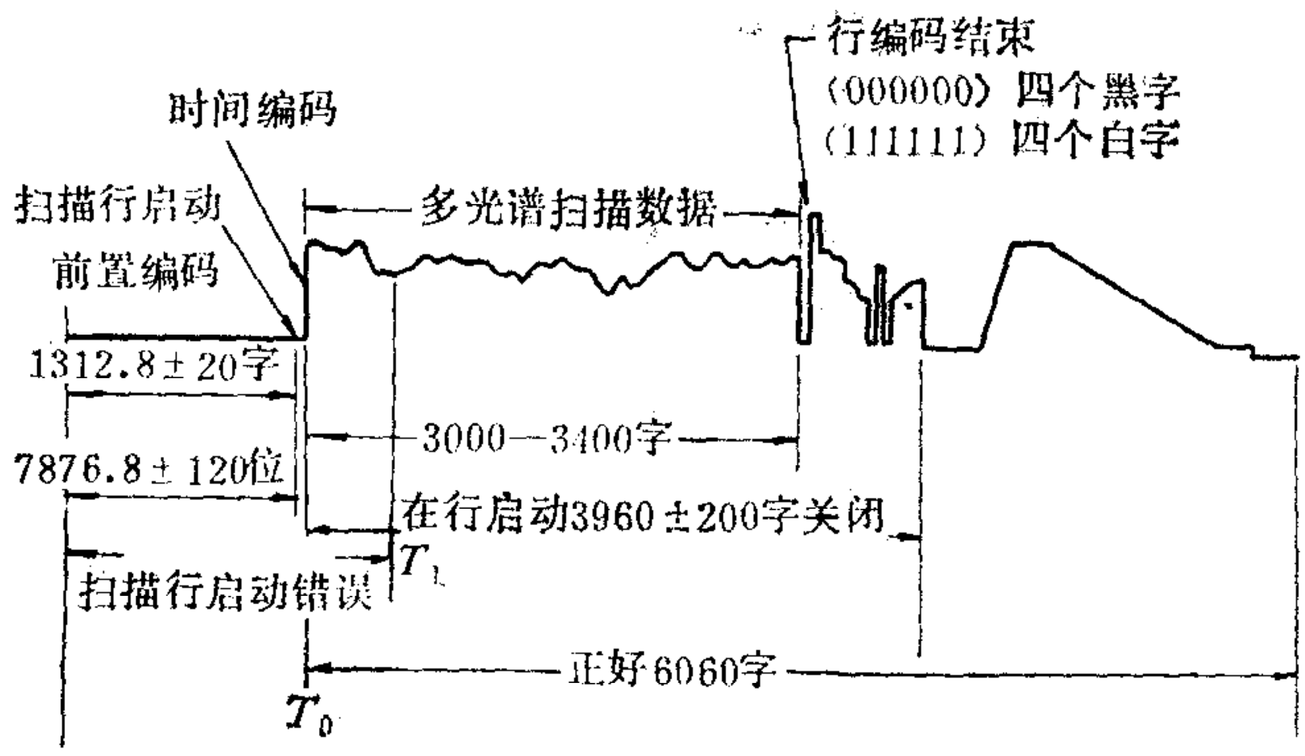

图1　MSS 信号数据流

本文介绍两种方法，即相关技术及序贯相似检测算法 (Sequential Similarity Detection

本文于 1983 年 8 月18 日收到．

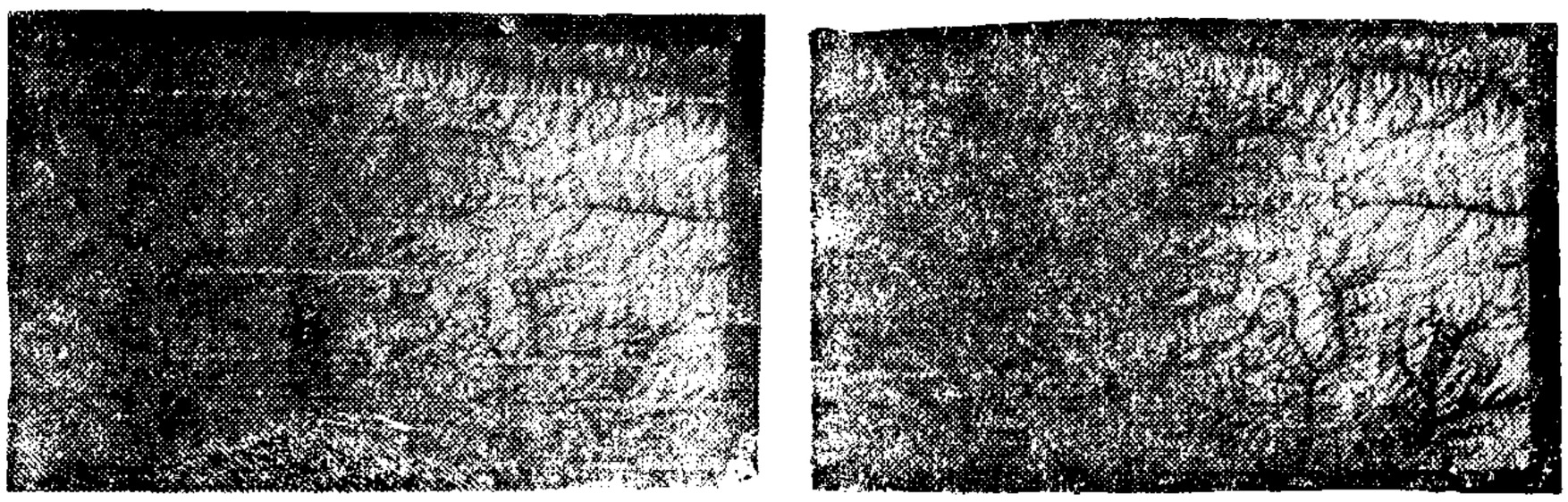

图 2　左——有错位条带的图象；　右——纠正后的图象

Algorithems 简称 SSDA)，自动识别错位条带，确定所在行号及错开距离。

一、纠正错位条带的相关技术

图象处理人员很容易在显示屏幕上根据山川地貌判定是否有错位条带，然而准确地确定错位条带的位置与错动距离却不是易事．在计算机内自动识别山川地貌而后自动确定错位条带的位置将更困难，因此必须另寻出路．

图 3 是两个相邻扫描行图象的灰度剖面．L 行图象是正确的，$L+1$ 行是错位的。这两个图象灰度剖面可记为两个离散的函数 $f_L(s)$ 和 $f_{L+1}(s)$ $(s=1,2,\cdots,S)$．注意到，若把剖面上那些标有记号(·)的特征对准后，它们的形状是非常相似的．相关技术正是用于评价两个函数相似性的一常用手段．

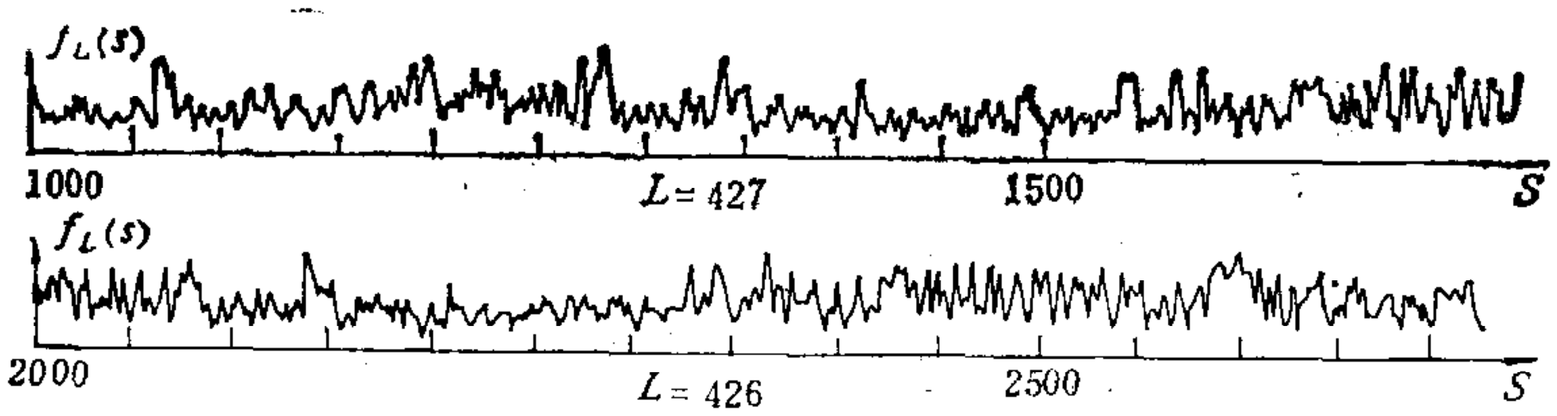

图 3　两相邻行的灰度剖面
记号(·)表示明显的特征点

两相邻图象的相关函数为

$$R(k)=\sum_{s=SS}^{SE} f_L(s)f_{L+1}(s+k),\quad k=0,\pm1,\pm2,\cdots,\pm K. \tag{1}$$

其中 $[SS\ SE]$ 是计算用的窗口，k 是下一道参预计算的窗口错动的距离。当相关函数 $R(k)$ 在某一 k_0 达到最大值时，称 $L+1$ 行图象错开了 k_0 个象元，若 $k_0=0$，称没有错位．

在遥感图象数字处理中，相关技术多用于图象几何配准．文献 [2] 指出，图象灰度值总是正值，故最好用规一化相关函数，即

$$r(k)=\frac{\sum_{s=SS}^{SE} f_L(s)f_{L+1}(s+k)}{\left(\sum_{s=SS}^{SE} f_L^2(s)\sum_{s=SS}^{SE} f_{L+1}^2(s+k)\right)^{\frac{1}{2}}}.$$

在图象几何配准中，参预相关计算的两幅图象是来自同一地物的．因此可认为它们有相同的图象数字信号和不同的噪音．且信号与噪音是不相关的．所以相关函数的主要部分是图象信号的自相关．根据自相关函数的性质，只有两幅图象对准后才有最大相关值．本文讨论的情形是参预计算的两行图象是相邻的而不尽相同的地物的图象．为了考查地物从一个扫描行到下一个扫描行变化小到能允许继续用相关技术判别错位条带，而作如下分析，设

$$f_{L+1}(s) = f_L(s) + (f_{L+1}(s) - f_L(s)),$$

令 $\Delta f_L(s) = f_{L+1}(s) - f_L(s)$ 表示相邻行图象的变化，把上式代入(1)式后有

$$R(k) = R_L(k) + \Delta R(k),$$

其中

$$R_L(k) = \sum_{s=SS}^{SE} f_L(s) f_L(s+k), \quad \Delta R(k) = \sum_{s=SS}^{SE} f_L(s) \Delta f_L(s+k).$$

当 $|\Delta R(k)| \ll R_L(0)$ 时，$R(k)$ 的主要部分是 L 行图象的自相关．可以用于检测 $L+1$ 行图象是否错位．$|\Delta R(k)| \ll R_L(0)$ 意味着相邻行图象间的变化与扫描行图象本身无关；或相邻行图象变化很小．一般说来，图象灰度不能认为是连续函数，扫描行间图象的某些部位的差别是显著的，例如白色的沙滩和蓝色水体间差别是显著的．但是陆地卫星扫描行长达185公里，不可能前一行全是沙滩，而下一行恰好是水体．因此，总可以选择适当的计算相关函数的窗口，使得计算机能自动识别扫描行间是否存在着错动．

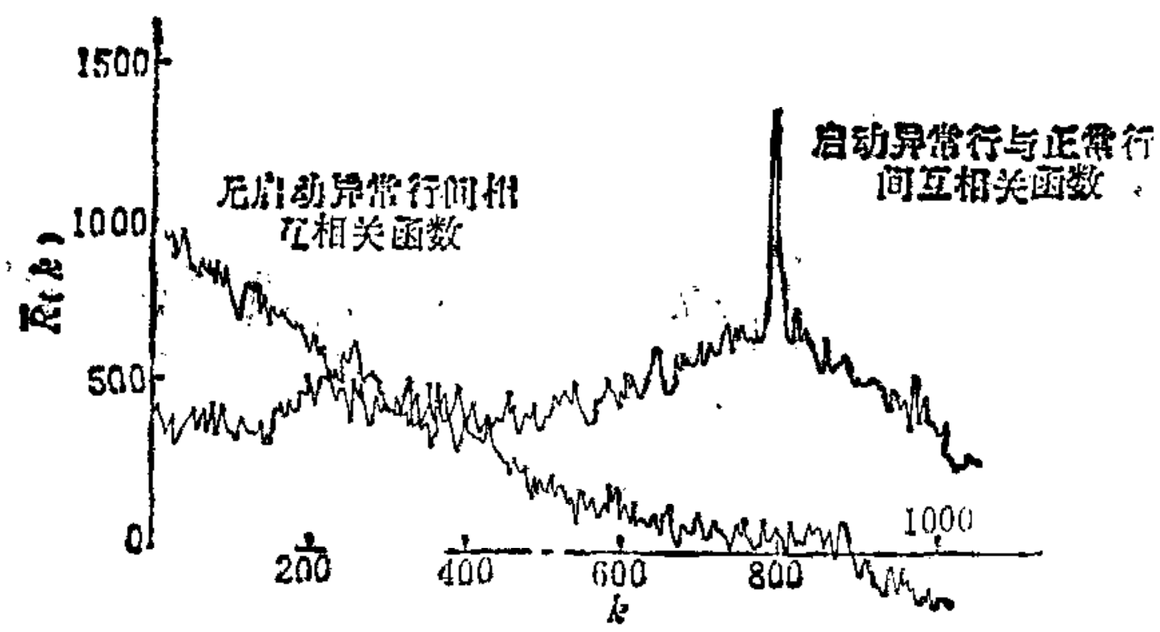

图 4 相邻扫描行图象相关函数 $R(k)$ 两例

程序设计中的具体计算步骤为：

1)把扫描行图象的灰度归一化，即

$$\bar{f}_L(s) = (f_L(s) - \mu_L)/\sigma_L,$$

其中 μ_L, σ_L 是 L 行图象灰度的均值与方差．

2) 计算互相关函数 $\bar{R}(k) = \sum_{s=SS}^{SE} \bar{f}_L(s) \bar{f}_{L+1}(s+k).$

为节省机时，先用粗步长计算，即取 $k = 0, \pm 4, \pm 8, \cdots \pm 4M$．从中找出 $\bar{R}(k)$ 为最大值的 k_0，然后加密计算，即取 $k = k_0 - 8, k_0 - 7, \cdots, k_0, k_0 + 1, \cdots, K_0 + 8$．再一次在这 17 个值中找出 $\bar{R}(k)$ 取最大值时的 $\bar{k}_0$．在 $k_0 = 0$ 时，相邻两行图象间无错动，在实际计算中，由于噪音干扰等问题，$|\bar{k}_0| < 4$ 时都可认为是没有错位条带的．

3)，当 $|\bar{k}_0| \geqslant 4$ 时，可得到纠正后的图象为

$$\bar{f}_{L+1}(s - \bar{k}_0) = f_{L+1}(s).$$

目前已有的陆地卫星 MSS 图象，一次扫描可同时得到六行图象，除了 $L+1$ 行图象要纠正外，其余的五行图象同时可作同样的纠正.

二、纠正错位条带的序贯相似检测算法（SSDA）

用这一方法，首先计算两行图象间的距离

$$d_p(k)=\left(\sum_{s=SS}^{SE}|f_L(s)-f_{L+1}(s+k)|^p\right)^{1/p}.$$

这实际上是 $Q=SE-SS+1$ 维的 p 阶赋范空间的范数，或者说是这个空间中两个点间的距离. 一般计算中取 $p=1$ 或 $p=2$.

$d_p(k)$ 有如下性质：

1) $d_p(k)\geqslant 0$，除了一行图象与本身的距离为零外，$d_p(k)>0$ 成立. 这意味着 $d_p(k)$ 有下界，可以找到一个极小值 $d_p(k_0)$，其 k_0 值即为两行图象错动的位置，也就是在这个位置上，上下两行图象最相似.

2) 设任一 SN 为 $SS\leqslant SN\leqslant SE$，记

$$d_p(k,SN)=\left(\sum_{s=SS}^{SN}|f_L(s)-f_{L+1}(s+k)|^p\right)^{1/p},$$

$d_p(k,\ SN)$ 将不随 SN 的增大而减少. 假若有某一 $SN1$ 使 $d_p(k,\ SN1)>T$，那么对于 $SN>SN1$，$d_p(k,\ SN)$ 也一定大于 T. T 称之为阈值，如果阈值选得适当，例如 $T\geqslant \min\limits_k d_p(k)$，则凡是在 $SN1$ 已有 $d_p(k,SN1)>T$ 的 k 值，肯定不会是两行图象间的错动距离，也就不必继续计算，从而可以节省大量机时.

实际上，SN 不必由小而大顺序变化，可以是在 $[SS,\ SE]$ 上一串均匀分布的 Q 个随机数序列 $S_q(q=1,2,\cdots,Q)$. 这时相应的定义

$$d_p(k,q)=\left(\sum_{j=1}^{q}|f_L(S_j)-f_{L+1}(s_j+k)|^p\right)^{1/p}$$

将不随着 q 的增大而减少. 用这种方式可节约更多的机时.

当 $p=2$，正如文献[4]指出的那样，SSDA 与相关技术有相等的意义. $p=1$ 和 $p=2$ 是等效的，为了节约时间，本方法的程序取 $p=1$，其具体计算步骤为：

1) 生成 Q 个均匀分布在 $[SS\ SE]$ 内的随机数序列 S_q. 利用文献[5]所讲述的方法首先生成 m 个随机数，具体计算公式为

$$r_{n+1}=r_n\cdot\alpha+\beta(\mathrm{mod\ m}),\quad n=1,\cdots,m-1,$$

其中 $r_1=1$，$\alpha=257$，$\beta=0$，$m=16384$. r_n 是 m 个均匀分布在 $[0,m-1]$ 内的数目. $SE\leqslant 3240$，故 $m\gg SE$. 因此从中可选出 $SS\leqslant r_n\leqslant SE$ 的子列来，并按先后次序记为 $S_1,S_2,\cdots,SQ$.

2) 计算 $d_p(k,q)$，对每一 $k=0,\pm1,\pm2,\cdots,\pm K$ 有

$$d_p(k,q)=\sum_{j=1}^{q}|f_L(s_j)-f_{L+1}(s_j+k)|,$$

直至算到 $q = J_k$，使得 $d_p(k, J_k - 1) \leqslant T$，而 $d_p(k, J_k) > T$. T 是可选择的阈值. 程序中用了两种阈值：$T = c$（常阈值）和 $T = aq + b$（线性阈值）. 根据前两个无错位的相邻行图象计算其中的系数 a, b, c：

$$a = \frac{d_p(0, Q)}{Q}, \quad b = \frac{d_p(0, Q)}{4}, \quad c = 1.25 d_p(0, Q).$$

3）只要阈值选得适当，找出使 J_k 达到最大值的 k_0，便是两相邻行图象的错动距离. 例如，恰好是 $T \doteq \min d_p(k) = d_p(k_0)$，有 $J_{k_0} = Q$，而其它 $J_k < Q$，故 J_{k_0} 是 J_k 中的最大值. 当 $T > d_p(k_0)$ 时，可能有几个 k 值使 J_k 达到最大值，则此时从相应的 $d_p(k)$ 中取最小值 $d_p(k_0)$，以此求出 k_0. 显然 T 不能过小，过小可能出错.

图 5 比较相关函数 $\bar{R}(k)$ 与 J_k（实线为 J_k；虚线为 $\bar{R}(k)$.）

三、小 结

（1）相关技术和 SSDA 这两种方法均能正确地进行错位条带的自动检测，两种方法的结果也是一样的. 在 I^2S_{101} 系统上按照上述两种方法编写了程序，并已用于日常的遥感图象数字处理工作. 实践说明方法是成功的，效率是高的，与人眼在屏幕上确定错位条带的位置和错动距离的操作相比，一幅有11个错位条带的图象，由 HP-3000 的十六个小时减少为两个半小时. 并大大减轻了图象处理人员的劳动强度. 图 2 右为其纠正后的图象.

（2）图 5 比较了相关函数 $\bar{R}(k)$（虚线）和 SSDA 法算出的 J_k（实线）. 曲线的形状是非常相似的. 从图上可以看出，用相关函数法每一相关值都要作 Q 次运算，而用 SSDA 法只计算 J_k 次，对大多数 k 来讲，有 $J_k \leqslant \frac{1}{2} Q$，甚至 $J_k = \frac{1}{3} Q$，所以后一方法使计算效率提高两三倍.

参 考 文 献

[1] Landsat Data User Handbook, Eros Data Center, (1979).
[2] William K. Pratt, Correlation Techniques of Image Registration, *IEEE Trans. on Aerosp Electron. Syst*, AES-**10** (1974), 353—358.
[3] Barnea, D. I. and Silveman. H. F., A Class of Algorithms for Fast Digital Image Registration, *IEEE TRANS ON COMPUTER*, C-**21** (1972), 179—186.
[4] 程乾生，信号数字处理的数学原理，石油工业出版社 (1979 年) 234—240.
[5] A. 拉尔斯登，H. S. 维尔夫等，数字计算机上用的数学方法(第二卷)，上海人民出版社 (1976)，294—312.

THE CORRECTION OF LATERAL OFFSET WITHIN LANDSAT MSS IMAGERY

WANG TIANXI

(Sientific Rescarch Institute for Petroleum Exploration and Development, Beijing)

ABSTRACT

In this paper, a computer technique for correcting lateral offsets within Landsat MSS imagery is introduced. These offset lines were produced by an apparently random line-start problem in the Landsat MSS sensor. Two values are needed to correct the offset: (1) the numbers of the line containing offset, and (2) the number of pixels of offset in the lines. The determination of these values is time-consuming by visual inspection on the display. Therefore, a computer program which makes use of correlation techniques or Sequential Similarity Detection Algorithms (SSDA) has been developed to calculate the above two values automatically, and then perform the required line shifts to correct the offset.

IFAC、IFORS、IFIP 联合召开"经济与管理中的人工智能"国际学术会议

1985 年 3 月 12 日至 14 日在瑞士 (Switzerland) 苏黎世 (zurich) 城，IFAC (国际自动控制联合会)、IFORS (国际运筹学会)与 IFIP (国际信息处理学会)联合召开了"经济与管理中的人工智能"学术会议 (International workshop on Artificial Intelligence in Economics and Management).

会议主题是研究人工智能在经济、管理及银行、财政方面的应用，包括基本方法研究；专用的人工智能软件和硬件；新的应用系统等等. 会议的目的是强调人工智能在经济管理和银行财政方面应用的重要性，探讨最有发展前途的领域.

会议分十三个专题进行交流：

1)应用综述. 包括人工智能在经济研究、经济计划、决策支持系统、办公室自动化、制造加工计划与调度管理等方面的应用. 2) 人工智能方法. 包括计算选择理论、推理定向模型化环境、模糊推理方法及决策、决策支持系统的用户友好问题、测试专家系统的方法学等. 3) 项目计划与资源分配. 包括输油管道的管理决策支持系统、项目计划管理知识库、长期资源分配计划的模型分析、决策知识库专家系统等. 4) 人工智能在决策支持系统中的应用及对经济学工作者与经理们的人工智能教学工作的研讨. 5) 自然语言理解. 包括决策系统与用户的自然语言通讯、防止情报扩散的知识库专家系统，分布式系统中信息管理的经济学文献自动理解，模式识别在数据库中的应用等. 6) 人工智能在投资分析中的应用. 包括基于知识库的投资经理工作站，利用专家系统预测存货趋势、库存选择的相互关联方法、全时程财政政策分析，财政分析专家系统等. 7) 学习，知识获取与知识表达. 包括经济系统中的计算机辅助学习，自学习非线性规划与输油管道的经济运行，市场逻辑规划，模糊逻辑的管理决策系统等.8) 人工智能在公众服务系统中的应用，关于人工智能、模式识别和"人-机"接口的研究情况讨论. 9) 管理与决策的人工智能系统、包括大系统的智能控制与管理、决策知识库专家系统、最优模糊递阶决策、商

(下转第 420 页)