

文章编号:1001-9081(2007)10-2578-03

## 一种基于网格的 LiDAR 数据处理平台体系结构

陶金花, 苏林, 李树楷

(中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101)

(jh\_tao\_beyond@163.com)

**摘要:**分析 LiDAR 数据处理流程, 结合开放网格服务体系结构(OGSA), 提出一种 LiDAR 数据处理平台体系, 将数据处理任务合理划分并分配到各个分布的网格节点上, 通过各节点并行、协同计算, 达到提高运算速度的目的。最后以对激光点云重采样生成格网 DEM 为例, 说明算法在该体系下的计算过程。

**关键词:**激光雷达; 网格; 并行计算

**中图分类号:** TP751.1 **文献标志码:** A

## Grid-based LiDAR data processing platform architecture

TAO Jin-hua, SU Lin, LI Shu-kai

(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** The software architecture in Light Detection And Ranging (LiDAR) data processing was described. It partitioned LiDAR data and processed task into distributed Grid nodes. Processing speed was improved by parallel computing of every Grid node. The Open Grid Service Architecture (OGSA) also provided flexible share style for LiDAR data and processing service.

**Key words:** Light Detection And Ranging (LiDAR); grid; parallel computing

### 0 引言

近半个世纪以来, 空间科学技术得到了高速发展, 使得人类对地球不同层面、不同现象的综合观测能力以及信息处理、传输和应用能力达到了空前水平<sup>[1]</sup>。激光雷达(Light Detection And Ranging, LiDAR)作为高效的地形数据获取手段已得到广泛认可。LiDAR 系统是一个先进的主动机载遥感系统, 它可以全天候、快速、高精度、高密度地获取地面三维数据。LiDAR 在数据获取方面同传统测量方法相比具有很多优点, 通过后处理技术可以把地面和其上的植被、建筑物等地物分离, 可同时取得 DTM 和 DSM。将光谱成像仪器集成到 LiDAR 系统中, 可同时获取高精度的光谱数据, 生成数码正射影像, 在很多领域广泛应用。LiDAR 从 20 世纪 90 年代开始出现, 随后激光脉冲频率迅速提高, 1995 年只有 5 Hz, 每小时的原始数据获取量为 0.15 GB, 目前 Leica 公司的 ALS-50 II 型 LiDAR 的最大脉冲频率已经达 150 kHz, 每小时数据获取量超过 17 GB<sup>[2]</sup>。

相对于 LiDAR 硬件的迅速发展, 其数据后处理技术相对滞后。目前主要的 LiDAR 数据处理软件都是由硬件厂商单独提供(比如 Optech 公司的 REALM 软件), 这些软件的算法都是保密的, 用户根本不了解数据处理过程, 就像一个“黑箱子”, 用户无法根据自己的需要来操作和管理这些数据<sup>[3]</sup>。目前市场上已经有一些独立于硬件的通用软件, 如美国的 LID-MAS、芬兰的 TerraScan、AirBorne1 公司的 LiDAR XLR8R 3.0 等。目前这些优秀的 LiDAR 数据处理软件都是单机版集中式处理, 相对于分布式软件来说, 有安全性高、操作简易等

优点, 然而随着获取数据量的急剧增长, 其计算量也越来越大, 这种集计算、数据、软件于一体的集中式处理逐渐暴露出其弱点, 归纳如下:

1) 处理时间代价高。由于单机性能有限, 即使最好的 PC, 数据处理也是非常耗时的, 这是当前 LiDAR 数据处理面临的主要问题。脉冲频率为 100 Hz 的 LiDAR 飞行 1 小时的数据在目前处理效率较高的软件上的处理(从原始数据生成点云坐标)时间也要 1 天左右。

2) 数据共享方式单一, 严重限制数据应用。基于单机处理的各阶段结果数据都集中存储在少数单位的大容量磁盘上, 想要使用该数据的用户一般需要亲自到数据存储地点拷贝, 这严重限制了数据应用, 导致数据利用率低下, 而且重复存储造成了存储资源大量浪费。

随着 LiDAR 系统性能不断提高, 其用户越来越多, 数据量越来越大, 上述缺点会越来越显著并有可能阻碍 LiDAR 的发展, 因此迫切需要一套通用性高、处理快速、能灵活共享的实用化软件来处理和分析 LiDAR 数据, 从而生产出各种不同的数字化产品。Lidar 数据标准格式 LAS 规范的推出大大促进了该项工作的进展。国际上许多商业公司以及大学、科研机构都投入了大量的人力和财力进行相关的研究<sup>[3]</sup>。传统的高性能计算资源(如集群、高性能计算机等)虽然能提供良好的计算性能, 但价格昂贵。网格的出现为这种集数据密集和计算密集为一体的复杂科学计算提供了可行、性价比较高的解决方案。

本文提出一种基于网格的 Lidar 数据处理平台(Grid-based Lidar Data Processing Platform, GLDPP)体系结构, 目的

收稿日期: 2007-04-04; 修回日期: 2007-06-22。

作者简介: 陶金花(1978-), 女, 黑龙江大庆人, 博士研究生, 主要研究方向: 激光雷达数据处理; 苏林(1959-), 男, 吉林吉林人, 研究员, 博士, 主要研究方向: 光电技术; 李树楷(1940-), 男, 河南安阳人, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向: 激光雷达系统。

是为 Lidar 数据处理提供一个基于 Web、无缝、强大的运行环境,并把 Lidar 数据变成公共资源,可以让各地的用户得到。

### 1 网格计算

#### 1.1 网格定义

网格是构筑在互联网上的分布式计算技术,将高速互联网、高性能计算机、大型数据库、传感器、远程设备等融为一体,使人们可以透明地使用远程计算、存储等各种资源。对于网格的具体定义,目前没有统一说法<sup>[4]</sup>。2002 年, Ian Foster 给出了区分网格的 3 个指标,即:1) 协调非集中的资源;2) 使用标准、开放和通用的协议和接口;3) 得到非平凡的服务质量。对于网格定义,从广义上理解,网格就是基于网络的问题求解,也是相对抽象的概念;从狭义上理解,网格就是将分布的计算机组织起来,协同解决复杂的科学与工程计算问题。开放网格服务体系结构 (Open Grid Service Architecture, OGSA) 是目前网格体系结构的事实标准,总体思想是将网格计算和 Web 服务结合起来,一切资源都表现为网格服务。

#### 1.2 网格在对地观测领域的应用现状

将网格技术应用于复杂科学计算领域的成功案例已有很多,它们解决了一些集中计算很难解决甚至无法解决的问题。目前网格研究主要集中在美国和欧洲,在对地观测领域较有代表性的目前有由美国能源部资助的 ESG (Earth System Grid) 和欧洲空间局 (ESA) 支持的 SpaceGRID。我国网格研究起步较晚,相关工作始于 1998 年<sup>[5]</sup>。空间信息网格 (Spatial Information Grid, SIG) 是 863 计划支持的行业网格研究计划之一,是新一代空间信息和相关资源的汇集、共享和协作平台,目前基本形成了我国空间信息领域网格技术的原型积累。

将网格计算引入到 LiDAR 数据处理领域的文献还很少见,文献[7]中提出了一个利用门户、工作流和网格技术的三层架构,协调各种分布资源,用于 LiDAR 数据内插和分析,在密集激光点的处理上显示了优越的性能。

### 2 基于网格的 LiDAR 数据处理

#### 2.1 Lidar 数据处理流程

LiDAR 数据处理集数据密集与计算密集于一体。原始数据已达百 GB 甚至 TB,运算过程还会产生大量同数量级甚至更高的中间结果数据,数据处理一般流程示意图如图 1 所示。

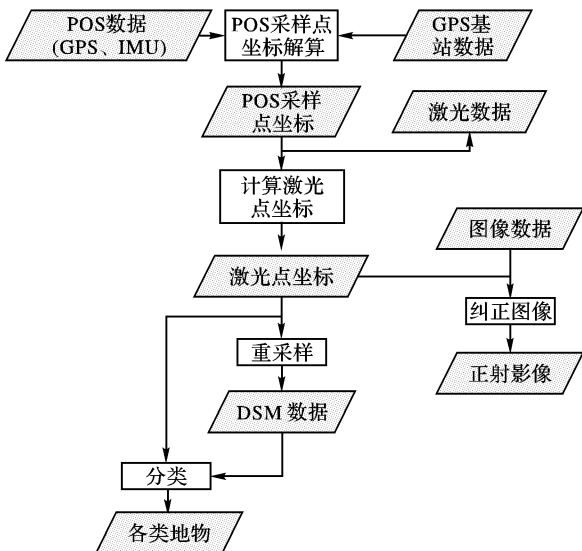


图 1 LiDAR 数据处理流程

目前 LiDAR 系统定位一般采取机载 POS 和地面 GPS 结

合的方式。结合定位数据 (POS 数据和 GPS 数据) 和激光数据可以解算出激光点的准确坐标。激光点坐标的解算与 Lidar 硬件结构关系紧密,不同的硬件结构解算方法差别很大,这一步一般由硬件厂商负责处理。通过对激光点坐标进行重采样可以得到不同分辨率的 DSM,通过对 DSM 进行滤波可以得到 DTM,DTM 获取是目前 LiDAR 应用的主要目的之一。一些 LiDAR 系统还可以携带数码相机,从理论上讲,激光点坐标可以用于纠正同时获取的数字图像,但要将激光点坐标与像元点进行准确匹配,目前绝大多数匹配过程都是通过人工来实现的,还没有成熟的自动匹配算法。只有我国自行研制的激光三维成像仪通过硬件同步可以实现激光点坐标与图像像元的天生匹配。在 DSM 之上还有很多滤波、分类算法,目前对激光点滤波和分类没有统一定义,有人将激光点中的地面点非地面点有效分离,提取出由地面点构成的 DTM,称为激光点滤波,将各类地物 (建筑物、树木、道路、水域等) 从激光点云中区分开来,称为激光点分类;也有人认为滤波算法应属于分类算法,将二者统称为激光点分类。本文采取后者观点,即将激光点云中的各类地物有效识别统称为激光点分类。

#### 2.2 网格环境下 LiDAR 数据处理平台

GLDPP 集成网络下闲置资源,使之共同完成复杂的 LiDAR 数据处理任务,可以解决上述问题,具有以下优势。

1) 较高的运算速度。通过把计算任务合理划分并部署到多个计算节点,各节点并行、协同计算形成比单台计算机强大得多的计算平台,可大大提高运算速度。

2) 计算和存储性能可以动态扩展。网格平台具有极强的可扩展性,随着计算节点的不断加入 (或退出),系统的存储和计算能力都随之扩大 (或减小),相应管理软件也能满足要求。

3) 共享方式灵活。在目前业界标准的网格体系结构 OGSA 下,所有资源都以网格服务形式对外发布,网格服务定义了标准接口、行为、状态与交互,这屏蔽了资源的异构性,增强了可访问性。这使得 LiDAR 数据及其计算资源的共享扩展到整个因特网。

4) 符合未来大规模计算解决方案的发展方向。

#### 2.3 功能需求分析

通过对 Lidar 数据处理流程的分析,结合 OGSA 的特点,采用统一建模语言描述的系统粗粒度用例图如图 2 所示。

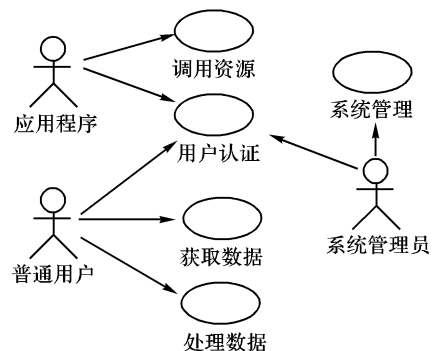


图 2 Lidar 数据处理系统用例图

从广义上讲, GLDPP 用户可分为 3 类: 1) 普通用户; 2) 系统管理员; 3) 应用程序。

系统管理员及系统管理: 管理员负责执行系统管理任务,系统管理包括资源、安全管理等一系列管理任务。

普通用户：指 LiDAR 数据的使用人员,通过浏览器登录系统,在 Web 环境下进行数据处理、任务监视和数据传输等。

应用程序和调用资源：OGSA 与生俱来的资源开放优点,使得应用程序(如数字城市、网络 GIS、仿真系统等)也可以在 Web 环境下通过调用 Web 服务来使用 GLDPP 发布的计算及数据资源,从某种意义上说,是系统之间(应用程序和 GLDPP)的一种松耦合集成。

用户认证：所有用户需要通过安全认证才可以登录到系统。

获取数据：数据获取是指用户通过查询、显示、下载等手段获取所需的特定格式的 Lidar 数据。

处理数据：泛指 LiDAR 数据处理中的所有步骤,用户可以根据不同的数据需求选择不同的处理流程。

### 2.4 系统体系结构

在 GLDPP 功能需求基础上,结合 OGSA 的基本体系,图 3 和图 4 描述了 GLDPP 主要构件的层次及逻辑关系。OGSA 层在系统中的位置如图 3 所示。



图 3 GLDPP 系统构件层次

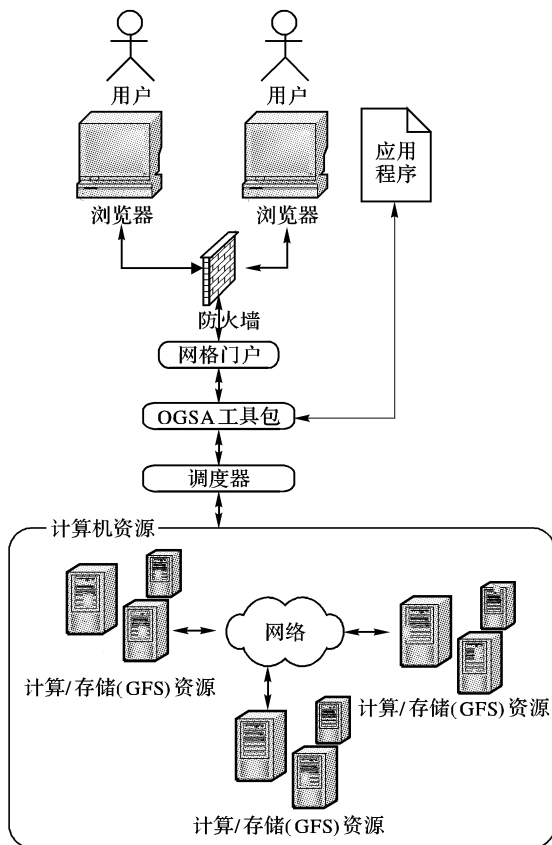


图 4 GLDPP 系统构件模型

物理层指能为 LiDAR 数据处理提供计算、存储和传输等能力的所有硬件设施。它们可以分布于不同的地理位置,属于不同机构,这些硬件设施通过网络连接在一起。物理层和其上层的操作系统等宿主环境一起构成了网格计算所需的计算机资源。这里将具有计算或存储能力的资源称为节点。

由于 LiDAR 数据量大,处理过程中数据吞吐量较高,为提高访问速度,一般以文件形式存储,所以本系统在操作系统

之上建立 GFS(Global File System)层。GFS 是一个高性能磁盘共享文件系统标准,它为从异构节点进行数据存取提供了数据接口。并、串行应用能通过标准文件系统接口稳定地获取共享文件,并且同一文件能够从多个节点并行获取,GFS 被认为是下一代网络文件系统。

网格门户是系统对外服务的窗口,提供对各种后台网格资源的无缝访问。用户通过浏览器登录网格门户,进行任务提交、资源监控和数据传输等操作。通过门户提交的作业首先由 OGSA 工具包处理。

OGSA 工具包是符合 OGSA 标准的软件组件集合,当前较成熟的如 Globus Toolkit4,用来支持网格应用开发,它可以解决安全、资源、通信、数据和可移植性方面的问题。OGSA 工具包接收到任务后转交给调度器。

调度器的任务是根据整个执行时间(吞吐量)和资源利用成本,考虑满足使用者和应用的需求,选择资源和调度作业<sup>[6]</sup>。GLDPP 采用集中式调度。将节点分为两类:主节点和子节点,系统中有一个主节点,多个子节点。调度器位于主节点,主节点负责全局运算(需要大部分或全部数据参加的运算,这类运算不适合或无法并行处理)、作业分解以及分配作业给子节点,子节点负责作业执行。所有 Lidar 数据处理算法被封装成网格服务,通过调度器统一调度完成数据处理任务,根据不同的计算任务采取不同的调度方法。

### 2.5 计算策略

网格调度的目标函数是 Makespan,即调度系统有效地分配网格资源,实现在整个系统内网格应用任务的完成时间最小,已经证明,找到一个这样的 Makespan 是 NP 完全问题。通过将一项任务分解为多项子任务到不同的计算资源上,让这些子任务并行执行,最后合并子任务执行结果,是提高计算速度的有效途径。尽量减少节点之间通信和保持各节点的负载均衡是并行算法设计的两个基本原则。

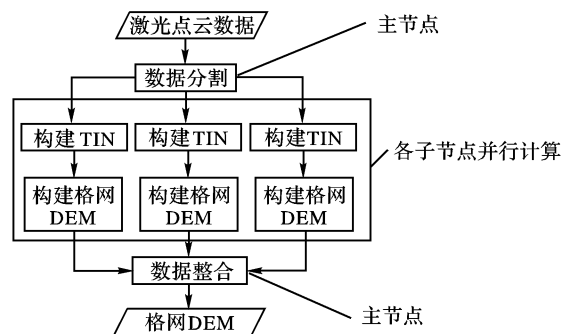


图 5 DEM 构建并行处理流程

LiDAR 数据处理过程涉及的算法很多,由不规则激光点云通过重采样生成格网 DSM 是 LiDAR 数据处理的必经步骤之一。本文以此为例,说明算法的执行过程。采取先由激光点生成 TIN,再对 TIN 进行内插生成规则格网被认为是格网构建方法中精度和效率较优的。此方法的并行方案如图 5 所示,主节点首先对数据进行合理分割,考虑子节点的数量、负载能力、节点间的通信能力等因素,将分割后的数据和元数据分配给子节点,子节点计算完毕之后将结果数据连同元数据一起返回给主节点,主节点对结果进行整合,得到格网 DEM。

激光点的分布形状和处理算法决定了数据分割和整合策

(下转第 2583 页)

...,  $m$  层的每个分裂对象的平均收益,然后选择平均收益最大的一个。类似地,选取  $p$  的算法能被扩展到选取  $minp$  当中。我们能扩展选取  $p$  的贪心算法到选取  $minp$  的算法中来找到近似的最小  $p$ -边界。该扩展存储所有的分裂结果,并且在最后选取其中最优结果,其收益不小于最大收益的  $\beta$  倍。

## 6 实验评估

### 6.1 收益比较

我们通过比较用 pick-p 算法(完全算法)、greedy-pick-p 算法及原始算法删除  $p$ (对象数的 30%)个对象得到的收益。在实验里,我们随机产生矩形(大小为整个空间大小的 0.1%),实验结果表明,随着矩形中对象个数按固定值增加,得到的收益反而减少。这是因为矩形中的对象数增加的缘故。同样,因为对象数增加,多个对象群集在边界上的机会也增加了这样原始的算法几乎不可能得到最佳收益。因此,完全算法、贪心算法总是比原始算法更好。

此外,我们比较了三种算法的实际运行时间。结果表明,当节点数增加时,完全算法是不可接受的,因为它太耗时了。完全算法的损耗几乎占用了建立 R\*-树的 CPU 损耗。另一方面,贪心算法的耗时小于完全算法,接近于原始算法。

### 6.2 建立索引的时间

我们进一步比较了使用贪心算法(greedy-pick-minp)和原始算法建立 R\*-树的磁盘 I/O,在两种情况下,改进的 R\*-树建立索引耗时更少。这是因为我们的贪心算法允许移除的对象少于  $p$  个,这节省了建树的时间。

### 6.3 执行边界查询

我们在实验中首先比较原始 R\*-tree 的边界查询和改进 R\*-tree 的边界查询。我们在缓冲器和树的页面大小固定的情况下变化查询范围来完成实验。这里所有的树高度都是

4。在两种情况下,我们的算法都执行得更好,达到了 20% 的改进。通过改进树中节点的 MBR 的形状和大小,使查询时涉及更少的磁盘页。

## 7 结语

像 R\*-树这样的空间索引,MBR 必须要有高质量。也就是它们的面积和它们的形状必须近似于正方形。通过改进 R\*-树的强制插入算法可以尽量达到这个目标。当磁盘页溢出时,远离 MBR 中心的最远的物体被移除并重新插入到索引中。在本文中算术地定义了矩形的质量及从 MBR 中分裂一些对象后的收益。基于这些定义,我们提出算法来定位出所要被分裂的对象集以便得到最大的优化度。改进后的算法与 R\*-树的原始算法相比有更高的性能。实验表明在执行空间范围查询时,改进的比原始查询效率提高了 12%。

### 参考文献:

- [1] 邬伦,刘瑜,张晶,等. 地理信息系统——原理、方法和应用[M]. 北京:科学出版社,2001:217-285.
- [2] 顾军,吴长彬. 常用空间索引技术的分析[J]. 微型电脑应用,2001(12):40-42.
- [3] 陶志刚,赵敬道,谭建成. 地理空间索引技术研究[J]. 测绘学院学报. 2002,19(1):73-75.
- [4] 张琴,王振民. QR-树:一种基于 R 树与二叉树的空间索引结构[J]. 计算机工程与应用,2004,40(9):100-103.
- [5] 伏玉琛,郭薇,周洞汝. 空间索引的混合树结构研究[J]. 计算机工程与应用,2003,39(1):41-42.
- [6] ZHANG D H, XIA T. A Novel Improvement to the R\*-tree Spatial Index using Gain/Loss Metrics[C]//Proceedings of the 12th annual ACM international workshop on Geographic information systems. Washington DC, USA: ACM Press, 2004:204-213.

(上接第 2580 页)

略,不同扫描方式产生不同的点云分布形状,圆扫描方式产生的点云分布如图 6 所示(非实线部分),整体上,点云沿飞行方向呈条带状分布,条带两边近似平行,点分布较均匀,在局部上,点分布不规则。

不同处理算法所采取的数据分割策略差异很大,在格网 DSM 构建中,每个目标点的内插结果是由其周围邻近的几个点决定的。数据分割方案如图 6 所示,对不规则点云采取按获取顺序截取、边界重叠一维划分,子点云块的宽度由子节点的数量、负载能力、通信能力等因素决定,重叠区域宽度在 1 到 2 个扫描行比较合适。主节点根据每个子节点的处理能力分配不同数量的点云块。

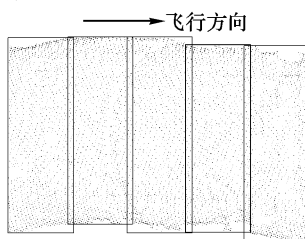


图 6 激光点云分布实例(圆扫描)及分割

数据分割方法决定了数据整合方法,主节点和子节点之间传送的元数据是数据整合的主要依据。由于采用了边界重叠划分,在数据整合时,重叠区域中的相同位置点可能产生 2 个不同的高程值,此时取平均值。

## 3 结语

本文介绍了网格环境下的 LiDAR 数据处理平台的体系结构,为 LiDAR 数据处理领域目前面临的问题提供了一个解决方案。随着 LiDAR 的逐渐发展,已经有不少较为成熟的 LiDAR 数据处理算法,但这些这些算法在实现时大多数存在很高的时间和空间复杂度。由于目前在 LiDAR 处理算法优化方面的研究较少,在计算方法方面还有很多问题需要研究。

### 参考文献:

- [1] 赖明. 数字城市导论[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [2] GEOSYSTEMS L. Leica ALS50 [EB/OL]. [2007-03-15]. [http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/ndef/lgs\\_57629.htm](http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/ndef/lgs_57629.htm).
- [3] 刘经南,张小红. 激光扫描测高技术的发展与现状[J]. 武汉大学学报,2003,28(2):132-137.
- [4] 侯建民,刘瑞丰,任泉,等. 网格技术研究进展[J]. 地震地磁观测与研究. 2006,27(1):84-89.
- [5] 谢储晖. 空间知识网络基础与应用[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2005.
- [6] MAOZHEN L I, BAKER M. 网格计算核心技术[M]. 王相林,张善卿,王景丽,译. 北京:清华大学出版社,2006.
- [7] ALEXANDROW V N. A Three Tier Architecture for LiDAR Interpolation and Analysis [J/OL]. [2007-04-01]. <http://www4.wiwiw.fu-berlin.de/dblp/resource/record/conf/iccS/Jaeger-FrankCMNACAB06>.