

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2016 年 7 月 7 日 (07.07.2016)



(10) 国际公布号
WO 2016/106958 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06K 9/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2015/072680
- (22) 国际申请日: 2015 年 2 月 10 日 (10.02.2015)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
2014108513528 2014 年 12 月 30 日 (30.12.2014) CN
- (71) 申请人: 华中科技大学 (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。
- (72) 发明人: 张天序 (ZHANG, Tianxu); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 鲁岑 (LU, Cen); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 王岳环 (WANG, Yuehuan); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。

(CN)。 杨卫东 (YANG, Weidong); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 桑农 (SANG, Nong); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 马文绚 (MA, Wenxuan); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 郝龙伟 (HAO, Longwei); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。

(74) 代理人: 武汉东喻专利代理事务所 (普通合伙) (WUHAN DONGYU PATENT AGENCY); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号东一楼 340, Hubei 430074 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST,

[见续页]

(54) Title: RIDGE ENERGY CORRECTION-BASED METHOD FOR DETECTING ZONAL UNDERGROUND TARGET IN MOUNTAIN LAND

(54) 发明名称: 一种基于山脊能量校正的山地中带状地下目标的探测方法

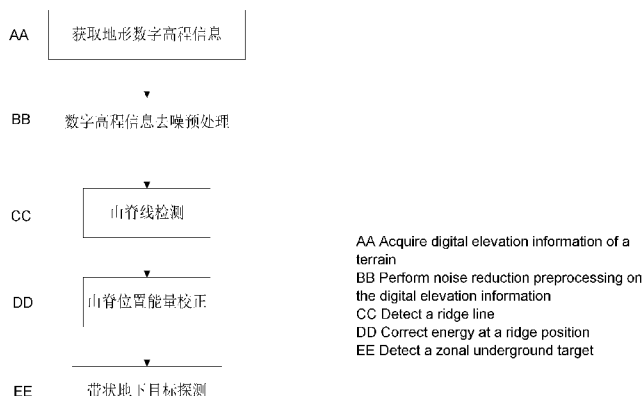


图 1 / Fig. 1

(57) Abstract: A method for improving detection, recognition and positioning of a zonal underground target in a mountain land environment by detecting the position of a ridge in the mountain land environment and carrying out energy correction. The method relates to a cross field of mode recognition, remote sensing technology and terrain analysis. An energy anomaly is generated as the heat field of the zonal underground target is different from that of a mountain body, a heat island effect of the ridge can also cause an energy anomaly of the mountain body, but the energy anomaly due to the heat island effect is essentially different from the energy anomaly caused by the underground target in the aspect of mode, therefore, the effect of reducing the detection recognition false alarm rate of the zonal underground target in the mountain land environment is achieved by eliminating the influence of the weak energy abnormal mode of the heat body effect generated by the ridge in the terrain to the zonal underground target. The method comprises the steps of: acquiring digital elevation information of a terrain, performing noise reduction preprocessing on the digital elevation information, detecting a ridge line, correcting energy at a ridge position, and detecting a zonal underground target.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2016/106958 A1



SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, ZA, ZM, ZW。

HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO,
PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,
CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE,
SN, TD, TG)。

- (84) **指定国** (除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚
(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT,
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种通过检测山地环境中山脊位置并进行能量校正来提高对山地环境中带状地下目标的探测、识别、定位方法。该方法属于模式识别、遥感技术、地形分析的交叉领域。带状地下目标的热场与山体的热场不同能产生能量异常, 而山脊的热岛效应也会造成山体能量异常, 但该异常本质上与带状地下目标的能量异常模式不同, 所以通过消除地形中的山脊所产生的热体效应对带状地下目标表现出的微弱能量异常模式的影响, 达到降低山地环境中带状地下目标的探测识别虚警率的效果。本方法包括获取地形数字高程信息步骤, 数字高程信息去噪预处理步骤, 山脊线检测步骤, 山脊位置能量校正步骤和带状地下目标探测步骤。

一种基于山脊能量校正的山地中带状地下目标的探测方法

【技术领域】

本发明属于模式识别、遥感技术、地形分析的交叉领域，具体涉及一种基于山脊能量校正的山地中带状地下目标的探测方法，该方法通过地形分析定位山脊位置并对山脊能量进行校正从而提高山地环境中地下目标的识别正确率同时降低虚警率。

【背景技术】

山地环境中普遍存在着大量的带状目标，如自然环境中存在的地下河流、人工修建的地下石油运输管道、穿山的铁路与公路隧道等。地下河流既是重要水资源又是在山地中进行建筑施工时必须避绕开的，所以如何准确探测、定位出地下河流的位置对我们的可持续发展与现代化进程都有着重大意义。公路隧道与铁路隧道可以穿过山体不仅大大缩短的道路的长度节省了人们在旅途中话费的时间，也降低了修建盘山公路、铁路所需要大量人力、物力，并且对于汽车来说，隧道的安全性远远大于盘山公路的安全性。但是一旦这些山地环境中的人工地下建筑出现故障，就面临着勘察位置难度大的问题。所以能够准确的探测、定位这些地下带状目标的位置对人们的交通、生活的方方面面都有巨大的影响。因此，有必要开展以较低虚警率和较高识别率来探测定位山地环境中带状地下目标的研究。

当然，最普通和直接的对隧道设施探测的方法是接触式人工探测，但是，这种方法十分费时且需要大量人力物力。虽然，红外成像作为带状地下目标探测新技术被提出应用于浅层地下管线的探测，但是还未见国内外探测较深埋深的带状地下目标探测的报道。

土壤和岩石吸收太阳光的能量产生热量发出红外辐射被热红外传感器探测。山体热场主要分为稳定部分与可变部分，可变部分即为受日照影响

温度变化剧烈的浅层山体，稳定部分包括浅层山体以下的山体部分与埋藏在其中的地下目标。太阳每日对山体可变部分循环加热，山体内部稳定部分与可变部分热交换以及地下目标自身产热与稳定部分热交换最终导致山体温度与埋藏目标的可探测的温差，这是探测地下目标的物理基础。

带状地下目标的温度与能量与周围的山体介质有一定不同，经过热传递与扩散最终在山体呈现出脉冲模式。但是由于山脊的热岛效应使得山脊位置的能量场也比较符合脉冲模式，对山地中带状地下目标的探测造成干扰。

【发明内容】

针对利用脉冲模式探测山地环境中带状地下目标方法总是受到山脊热岛效应的而影响伴有较高的虚警率的缺陷，本发明提供了一种通过山脊线检测算法确定山脊位置，并对山脊能量进行校正，再利用校正后的能量图像进行带状地下目标的探测、定位，由此解决了山地环境中山脊造成的高虚警问题。本发明的基于山脊能量校正的山地中带状目标的探测方法主要包括下述步骤：

(1) 获取地形数字高程信息步骤，包括下述子步骤：

(1.1) 确定数字高程信息覆盖范围的经纬度步骤：

土壤和空气环境在一定范围内是同质的。首先我们就应该确定到底获得多大范围内的地形的数值高程信息，并且确定该探测范围的位置，即经纬度信息。由于下面的步骤中还要确定每一个点的经纬度信息，所以我们最好确定一个标准的矩形区域，而这里只要确定矩形四个顶点的经纬度信息，分别标记为 $Pt1(longti1, lati1)$ 、 $Pt2(longti2, lati2)$ 、 $Pt3(longti3, lati3)$ 、 $Pt4(longti4, lati4)$ 。

(1.2) 计算范围内经纬度矩阵的步骤：

经纬度矩阵的分辨率必须和能量（红外）图像的分辨率相同，只有这样最后获取的地形数值高程信息才可以和能量（红外）图像对应起来，从

而实现通过地形数字高程信息检测山脊位置并最终找到对应能量（红外）图上的位置。

（1.2.1）计算地形范围的宽度、高度步骤：

根据（1.1）中确定的矩形四个顶点的经纬度利用 Google Earth 提供的测距工具计算出矩形覆盖范围的宽度、高度标记为 width、height 单位为米，并计算出经纬度的范围

（1.2.2）计算经纬度矩阵的步骤：

按照采样间隔 step 米, 每次距离 step 米采样一次, 分别计算出纵向、横向的采样点的数目, 即: $height/step$, $width/step$, 并计算出经纬度矩阵每相邻两个采样点的经度步长 $long_step$ 和纬度步长 $lati_step$, 从而计算出经纬度矩阵中每一个采样点的经纬度。

（1.3）利用 Google Earth 计算海拔矩阵的步骤：

Google Earth 提供了编程接口, 使得我们可以将（1.2.2）中经纬度矩阵作为输入利用 Google Earth 得到每一个采样点的海拔数据, 并根据该海拔数据生成地形数字高程信息矩阵输出。

（2）数字高程信息去噪预处理步骤, 包括下述子步骤：

由于（1.3）中获得的数字高程信息矩阵会带有一定的噪声, 该噪声可能来自于不准确的高程数据或者是 Google Earth 在拼接时产生的整块的偏高与偏低。整块的偏高偏低是不影响山脊线的检测的, 所以针对个别不准确噪声, 我们采用均值滤波方法对原始地形数字高程信息进行去噪预处理。即取一定局部范围内, 如一个 $k*k$ 的邻域内高程信息的均值作为输出。这样就可以消除呈随机分布的噪声的影响, 因为: 设一个邻域内第 i 个采样点的真实高程值为 h_i , 他的噪声误差为 Δh_i , 最终的观测值为 $h_i + \Delta h_i$, 取一个邻域内像素的均值作为输出的过程如下:

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_i + \square h_i) \\
&= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \square h_i \\
&\approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i
\end{aligned}$$

即由于噪声是随机分布的，所以多个采样点的平均噪声为 0，这样就可以得到逼近真实情况的高程图。

(3) 山脊线检测步骤，包括下述子步骤：

(3.1) 水平方向山脊线的检测步骤：

水平方向的山脊线即 x 方向的山脊线：沿着 x 方向遍历，将每一个采样点的高程值与 y 方向一定范围内（如 5 个采样点即 50 米范围内）的采样点的高程值比较，如果该采样点在 y 方向是极大值，就认为该点为水平方向的山脊线的候选点，所述一定范围可以预先设定。

(3.2) 垂直方向山脊线的检测步骤：

垂直方向的山脊线即 y 方向的山脊线：沿着 y 方向遍历，将每一个采样点的高程值与 x 方向一定范围内（如 5 个采样点即 50 米范围内）的采样点的高程值比较，如果该采样点在 x 方向是极大值，就认为该点为垂直方向的山脊线的候选点，所述一定范围可以预先设定。

(3.3) 提取连续的山脊线步骤：

正常的山脊线点应该有一定的连续性而不应该是孤立的，但是按照 (3.1)、(3.2) 步骤提取出的山脊线的候选点有可能是不连续的孤立点，所以我们应该对每一个山脊线候选点进行连续性判别。判别准则如下：如果该候选山脊线点的 $t \times t$ 邻域内山脊线候选点的总数大于 th_num ，则该山脊线候选点为最终的山脊线点；否则，判断该孤立的山脊线候选点为非山脊线点，其中 t 为预设值。由此就可以得到最后的连续山脊线标记图。

(4) 山脊位置能量校正步骤，包括下述子步骤：

(4.1) 山脊位置能量分布特征分析步骤：

山脊位置普遍存在山体效应：主要指隆起地块的热力效力。山体创造其周围的气候，在任给定的海拔高度上，隆起地块的表面积越大，山体对其本身和周围环境的影响也就越大。山体作为突起的热岛，太阳辐射被吸收并转换成长波热能，其温度远高于相同海拔自由大气的温度。

另一方面，从传热学角度分析：热量总是沿着最容易传导的方向进行传播。而山体中的岩石的热导率为 $1.2 \sim 2.1 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ ，而相比之下山体表面接触的外界空气的热导率为 $0.024 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ ，所以，山体内部的热量遇到空气时，由于其导热率远远小于岩石之间的热导率，热量大部分沿着岩石传导并在山脊处汇集，产生了山脊处热量明显偏高的能量分布特征。

(4.2) 山脊位置能量校正步骤：

根据(4.1)中阐述的山脊位置能量分布特征，对山脊位置的能量进行校正，校正的具体方法为：山脊线位置采样点的能量用山脊线位置两侧的采样点的能量的均值代替。通过校正山脊位置能量，可以有效的减少探测识别虚警。

(5) 带状地下目标探测步骤，包括下述子步骤：

(5.1) 设置遍历探测带状地下目标所用参数步骤：

对带状地下目标可能存在的山地区域的红外图像进行遍历，探测脉冲模式存在的位置，从而实现带状地下目标的定位的同时探测出虚警的位置。在遍历探测开始前有以下参数需要进行设置：

采样段大小以及对比段距中心段的间隔：假设下方有带状地下目标的山地地表的采样段的长度与宽度各为 l 和 w 个像素；那么，带状地下目标两旁山地地表采样段也采用同样大小。两旁山地地表采样段中心距离带状地下目标上方采样段中心的距离为 s 个像素，其中 l 、 w 、 s 为预设值。

搜索的方向：通过查阅资料可以大致估计出该地区带状地下目标的走

向，按照估计出的走向度数设置遍历搜索的中心首尾坐标 $P_0(x_0, y_0)$, $P_1(x_1, y_1)$ ，这两点的连线只要可以通过该区域中点附近的位置即可，因为这样方便向两边平移遍历搜索。

每次延展的距离：每搜索一组假设下方存在带状地下目标的山地地表图像与两边对比的山地地表图像就向两边平移距离 d 再继续新的一组的搜索。直到到达图像的边界，搜索自动停止。

脉冲阈值：每一段中间假设下方存在带状地下目标的山地地表图像采样段的灰度均值与两边对比的山地地表图像采样段的灰度均值的差的绝对值，均大于该脉冲阈值 t_h 的时候，该处的脉冲才算作有效脉冲；若两个差值中任意一个小于脉冲阈值该处的脉冲就是因为信号微弱而被认为无效。

(5.2) 遍历探测结果的输出步骤：

由 (5.1) 中确定的遍历搜索的中心首尾坐标 $P_0(x_0, y_0)$, $P_1(x_1, y_1)$ ，开始使采样段从点 $P_0(x_0, y_0)$ 逐像素滚动到点 $P_1(x_1, y_1)$ ，且每次滚动一个像素后，再左右各平移 r 个像素，寻找其中中间段与左右两边对比段差值最大的位置，并测试该位置的脉冲是否为有效脉冲，若为有效脉冲，则有效脉冲数目增加一。接着计算 P_0, P_1 向两边平移每次延展的距离之后的坐标 P_0', P_1' ，在 P_0', P_1' 之间按照 P_0, P_1 之间同样的采样方法进行统计，并计数有效脉冲数目。有效脉冲数目占总数目最大的一组两端坐标 P_0, P_1 确定的位置为带状地下目标位置，结果中其余脉冲出现的位置即为虚警位置。

本发明的技术效果体现在：经过研究试验发现山地环境中带状地下目标探测的虚警多出现在山脊位置，经过山体温度场仿真也真实了山脊效应的存在。所以，我们提出通过检测山脊位置并校正山脊位置的能量来降低虚警的基于山脊能量校正的山地中带状地下目标的探测方法，试验结果表明该方法确实能够明显降低山地中带状地下目标探测出现在山脊位置的虚警，使得探测结果更加准确，且该方法实现简单、计算量较小、所需参数

较少。

【附图说明】

图 1 是本发明基于山脊能量校正的山地中带状地下目标的探测方法的流程示意图；

图 2 是本发明实施例中地形数字高程信息覆盖范围示意图；

图 3 是本发明实施例中获得地形数字高程信息图；

图 4 是本发明实施例中地形数字高程信息图去噪预处理结果图；

图 5 是本发明实施例中山脊线初检测算法流程图；

图 6 是本发明实施例中山脊线初检测结果图；

图 7 是本发明实施例中连续山脊线提取算法流程图；

图 8 是本发明实施例中连续山脊线提取结果图；

图 9 是本发明实施例中无带状地下目标的山体温度场仿真结果图；

图 10 是本发明实施例中山脊能量校正算法流程图；

图 11 是本发明实施例中仿真得到的原始红外图；

图 12 是本发明实施例中山脊位置在仿真红外图上的标记结果；

图 13 是本发明实施例中山脊能量校正结果图；

图 14 是本发明实施例中山脊能量校正前检测虚警标记图；

图 15 是本发明实施例中山脊能量校正后检测虚警标记图。

【具体实施方式】

本发明中用于说明基于山脊能量校正的山地环境中的带状地下目标探测识别方法的带状地下目标是一条山地环境中的隧道，其所在地区的能量图是我们根据海拔信息与表面材质的红外辐射特征仿真得到的红外图像。在应用本发明的算法做检测的时候，可以利用真实的热红外图像代替本发明中提到的能量图会得到一样的效果。

本发明首次提出利用红外成像技术与多元信息探测山地中带状地下目

标的方法，旨在解决通过检测山脊的位置对山脊处的能量进行校正从而山地中带状地下目标探测虚警高的难题。

山脊位置的检测属于地形分析的领域，即利用地形高程数据中含有的地形信息自动提取山脊线的位置。从三维高程数据中提取山脊线的方法从原理上可以分为局部算法和整体算法。局部算法是分析组成数字高程网格的纵横断面，找出断面上的高程极大值点作为山脊线上的候选点，然后再根据一定的规则对已经得到的候选点进行筛选、排序得到所需要的山脊线，典型算法如：断面分析法；整体算法是模拟地形表面自然流水的状态，找出分水线。然而局部算法不能够估计地形的整体变化规律，在确定山脊线的时候很难区分地形噪音，这样会在其所提取的山脊线的候选点上有大量的噪音，为后续山脊线的判别带来不便，甚至会产生错误和使得后续算法无法进行。整体算法有较强的抗噪音能力，但是其计算量大，且随数字高程网格的增加成平方关系增长。

由于本发明的重点是通过检测山脊位置对山脊位置的能量进行校正从而达到降低探测带状地下目标的虚警率、提高识别率的目的。本发明提出了一个计算量小、计算速度快的山脊检测方法，并在此基础上阐述了山脊能量校正的方法，从而达到了利用脉冲模式准确探测、定位带状地下目标的目的。

本发明提供了一种基于山脊能量校正的山地环境中的带状地下目标探测方法，如图 1 所示，包括如下五个主要步骤：（1）获取地形数字高程信息步骤；（2）数字高程信息去噪预处理步骤；（3）山脊线检测步骤；（4）山脊位置能量校正步骤；（5）带状地下目标探测步骤来具体阐述其算法的执行过程：

（1）获取地形数字高程信息步骤，包括下述子步骤：

（1.1）确定数字高程信息覆盖范围的经纬度步骤：

上述作为说明示例的隧道的长度为 3000 米，为了能够覆盖整个带状地

下目标还要考虑到利用 Google Earth 获取地形数字高程信息的复杂度与选定的区域的面积成正比，我们最终确定了待探测区域的大小，经过进一步查阅资料我们确定了其位置。

待探测区域具体的位置，即：待探测区域四个顶点 P1, P2、P3、P4 的经纬度信息如下：

Pt1 (116.150049, 40.296833)、Pt2 (116.0292983, 40.356959)、
Pt3 (116.194775, 40.260787)、Pt4 (115.970548, 40.311917)；四个顶点所标定的具体方法如图 2 所示。

(1.2) 计算范围内经纬度矩阵的步骤：

本发明说明示例所使用的能量（红外）图像是根据红外辐射特征仿真得到的，其分辨率为 10 米。而经纬度矩阵的分辨率必须和能量（红外）图像的分辨率相同，所以这里及纬度矩阵的采样间隔 step 为 10 米。

(1.2.1) 计算待探测地形范围的宽度、高度步骤：

根据 (1.1) 中确定的矩形四个顶点 Pt1, Pt2、Pt3、Pt4 的经纬度利用 Google Earth 提供的测距工具得到矩形覆盖范围的宽度 width = 3800 米、高度 height = 4000 米。

(1.2.2) 计算经纬度矩阵的步骤：

按照采样间隔, 每次距离 10 米采样一次，分别计算出纵向（纬度方向）采样点的数目：

$$\text{lati_num} = \text{height}/\text{step} = 4000/10 = 400;$$

横向（经度方向）的采样点的数目：

$$\text{long_num} = \text{width}/\text{step} = 3800/10 = 380。$$

并计算出经度范围

$$\begin{aligned} \text{long_region} \\ &= \text{longti2} - \text{longti4} \\ &= 116.0292983 - 115.970548 \end{aligned}$$

$$= 0.0587503$$

和纬度范围

$$\begin{aligned} \text{lati_region} \\ &= \text{lati2} - \text{lati4} \\ &= 40.356959 - 40.311917 \\ &= 0.045042。 \end{aligned}$$

经纬度矩阵每相邻两个采样点的经度步长

$$\begin{aligned} \text{long_step} \\ &= \text{long_region}/\text{long_num} \\ &= 0.0587503/380 \\ &= 0.0001546 \end{aligned}$$

和纬度步长

$$\begin{aligned} \text{lati_step} \\ &= \text{lati_region}/\text{lati_num} \\ &= 0.045042/400 \\ &= 0.000112605 \end{aligned}$$

那么，经纬度矩阵 locate 的第 i 行第 j 列的采样点的经度为

$$\text{locate}(i, j)_{\text{longti}} = \text{longti4} + \text{long_step} * j;$$

经纬度矩阵第 i 行第 j 列的采样点的纬度为

$$\text{locate}(i, j)_{\text{lati}} = \text{lati4} + \text{lati_step} * (\text{lati_num} - i)$$

则经纬度矩阵第 i 行第 j 列的采样点的经纬度为

$$\text{locate}(i, j) (\text{locate}(i, j)_{\text{longti}}, \text{locate}(i, j)_{\text{lati}})。$$

(1.3) 利用 Google Earth 计算海拔矩阵的步骤：

Google Earth 提供了编程接口，将 (1.2.2) 中经纬度矩阵 locate 中每一个采样点的坐标按行排列为一个向量，即 locate 的第 i+1 行放在第 i 行的后面一次排列成一个向量作为输入。Google Earth 会自动依次读取每

一个采样点的经纬度数据，并返回每一个采样点对应的海拔数据。我们只需要将返回的海拔数据向量重新按照每行 long_num 个采样点，共 lati_num 行输出为一个矩阵，该矩阵即为地形数字高程信息。将本实例中的地形数字高程信息展示如图 3 所示。

(2) 数字高程信息去噪预处理步骤，包括下述子步骤：

我们将获得的地形数字高程信息因为 (1.3) 中获得的数字高程信息矩阵会带有一定的噪声，如图 2 中黑色矩形框所标注的地方，这些噪声可能来自于不准确的高程数据。所以针对这些噪声，采用均值滤波方法对原始地形数字高程信息进行去噪预处理。即遍历全图，每一个采样点的值由取一定局部范围内，如一个 $s*s$ 的邻域内高程信息的均值代替。如此可以消除呈随机分布的噪声的影响。

去噪预处理算法的解释：设一个邻域内第 i 个采样点的真实高程值为 h_i ，他的噪声误差为 $\square h_i$ ，最终的观测值为 $h_i + \square h_i$ ，取一个邻域内像素的均值作为输出的过程如下：

$$\begin{aligned} & \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_i + \square h_i) \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \square h_i \\ &\approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i \end{aligned}$$

即由于噪声是随机分布的，所以多个采样点的平均噪声为 0，这样就可以得到逼近真实情况的高程图。因为本实例中取 $n=9$ ，即 $s=3$ 。

数字高程信息去噪预处理得到的结果如图 4 所示，黑色框所在区域的噪声被消除了。

(3) 山脊线检测步骤，包括下述子步骤：

山脊线初检测算法的整体流程图如图 5 所示，具体分为水平方向山脊

线检测 (3.1) 和垂直方向的山脊线检测 (3.2) 两个子步骤。山脊线初检测以后还要进行连续山脊线的去除 (3.3)。

(3.1) 水平方向山脊线的检测步骤:

沿着水平方向一行行遍历地形数字高程矩阵, 将每一个采样点的高程值 $H(x, y)$ 与 y 方向一定范围内 (如 5 个采样点即 50 米范围内) 的采样点的高程值比较, 如果该采样点在 y 方向是极大值, 即

$$H(x, y) > H(x, y-5),$$

$$H(x, y) > H(x, y-4),$$

$$H(x, y) > H(x, y-3),$$

$$H(x, y) > H(x, y-2),$$

$$H(x, y) > H(x, y-1),$$

$$H(x, y) > H(x, y+1),$$

$$H(x, y) > H(x, y+2),$$

$$H(x, y) > H(x, y+3),$$

$$H(x, y) > H(x, y+4),$$

$$H(x, y) > H(x, y+5),$$

八个不等式同时成立, 就认为该点为水平方向的山脊线的候选点, 并在山脊候选点标记矩阵 $lable$ 中设该点 $lable(x, y)=1$, 否则设该点 $lable(x, y)=0$ 为非山脊线候选点。

(3.2) 垂直方向山脊线的检测步骤:

沿着垂直方向一列列遍历, 将每一个采样点的高程值与 x 方向一定范围内 (如 5 个采样点即 50 米范围内) 的采样点的高程值比较, 如果该采样点在 x 方向是极大值, 即

$$H(x, y) > H(x-1, y),$$

$$H(x, y) > H(x-2, y),$$

$$H(x, y) > H(x-3, y),$$

$$H(x, y) > H(x-4, y),$$

$$H(x, y) > H(x-5, y),$$

$$H(x, y) > H(x+1, y),$$

$$H(x, y) > H(x+2, y),$$

$$H(x, y) > H(x+3, y),$$

$$H(x, y) > H(x+4, y),$$

$$H(x, y) > H(x+5, y),$$

八个不等式同时成立，就认为该点为垂直方向的山脊线的候选点，并在山脊候选点标记矩阵 `lable` 中设该点 `lable(x, y)=1`，否则设该点 `lable(x, y)=0` 为非山脊线候选点。

经过 (3.1) (3.2) 标记在地形数字高程信息图上的山脊线初检测结果如图 6 所示。

(3.3) 提取连续的山脊线步骤：

由于按照 (3.1)、(3.2) 步骤提取出的山脊线的候选点有出现虚警的情况，所以提出了连续山脊线提取算法，其算法流程图如图 7 所示。逐一对山脊线初检测结果中的山脊线候选点判断是否是不连续的孤立点或者一定区域内（如： $t \times t$ 的邻域内）山脊线候选点数目小于一定阈值 `th_num`，如果是，就判断该山脊线候选点为非山脊线点，防止产生虚警。

本实例中设 $t=7$ ，`th_num=10`，即：如果该候选山脊线点的 7×7 邻域内山脊线候选点的总数大于 10，则认为该山脊线候选点为山脊线点；否则，认为该山脊线候选点为非山脊线点。标记在地形数字高程信息图上的连续山脊线提取结果如图 8 所示。

(4) 山脊位置能量校正步骤，包括下述子步骤：

(4.1) 山脊位置能量分布特征分析步骤：

山脊位置普遍存在山体效应：山脊位置的温度相对山腰的温度较高。这里引用针对无带状地下目标的山体温度场仿真结果加以证明，如图 9 所

示。可以看出山体中心的山脊位置的温度高于两边山腰处的温度。

该现象也可以从传热学角度分析：资料显示，山体中的岩石的热导率为 $1.2 \sim 2.1 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ ，山体表面接触的外界空气的热导率为 $0.024 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ ；热量总是沿着最容易传导的方向进行传播，所以山体内部的热量遇到空气时，由于其导热率远远小于岩石之间的热导率，热量大部分沿着岩石传导并在山脊处汇集，形成了山脊处温度较高的现象。

(4.2) 山脊位置能量校正步骤：

采取最邻近插值法对山脊线处的能量进行校正，其算法流程图如图 10 所示，主要分为以下 2 步：

- 1、遍历找出山脊线点；
- 2、对每一个山脊线点 $\text{lable}(x, y)$ 找出其四邻域内的非山脊线点，即： $\text{lable}(x-1, y)$ 、 $\text{lable}(x+1, y)$ 、 $\text{lable}(x, y-1)$ 、 $\text{lable}(x, y+1)$ 中值为 0 的点；
- 3、求该山脊线点 $\text{lable}(x, y)$ 四邻域内的非山脊线点对应的能量的均值；
- 4、将该山脊线点的能量用四邻域内非山脊线点对应的能量均值代替，并最终得到山脊能量校正后的结果。未进行能量校正的仿真红外图像（能量图像）如图 11 所示。将检测到山脊线位置结果标记在该仿真红外图像上如图 12 所示。山脊线位置能量校正后的红外仿真图像如图 13 所示。比较图 11 与图 13，多处的偏亮区域有明显的降低，达到了山脊位置能量校正的目的。在步骤（5）中带状地下目标探测识别过程中出现在这些位置的虚警会有所降低。

(5) 带状地下目标探测步骤，包括下述子步骤：

(5.1) 设置遍历探测带状地下目标所用参数步骤：

采样段长度 $l=25$ 与宽度 $w=3$ ；

两旁山地地表采样段中心距离隧道上方采样段中心的距离 $s=3$ 个像素；

搜索的方向及遍历搜索的中心首尾坐标 $P_0(10, 27)$, $P_1(283, 171)$, 搜索方向为大致为 120° ;

每次延展的距离 $d=13$;

左右平移探测的距离 $r=3$;

脉冲阈值 $th=3$ 。

(5.2) 遍历探测结果的输出步骤:

利用 (5.1) 中设置的探测带状地下目标所用参数, 对上面矫正前后的红外仿真图进行探测得到的虚警标记如图 14 和图 15 所示, 虚警率从 24.7% 降低到 21%。图 12 中方框标记出来的山脊位置, 在山脊能量校正后的图 14 中对比未进行山脊能量校正的图 3 虚警有所减少。

权 利 要 求

1、一种基于山脊能量校正的山地中带状地下目标的探测方法，其特征在于，所述方法包括如下步骤：

(1) 获取地形数字高程信息，包括下述子步骤：

(1.1) 确定数字高程信息覆盖范围的经纬度；

(1.2) 根据上述经纬度计算数字高程信息覆盖范围内经纬度矩阵；

(1.3) 根据上述经纬度矩阵计算经纬度矩阵中每个点的海拔，得到数字高程信息矩阵；

(2) 对步骤(1)获得的数字高程信息矩阵进行去噪预处理；

(3) 对降噪处理后的数字高程信息矩阵进行山脊线检测步骤；包括下述子步骤：

(3.1) 沿水平方向检测山脊线；

(3.2) 沿垂直方向检测山脊线；

(3.3) 根据上述水平方向检测的山脊线和垂直方向检测的山脊线，提取连续的山脊线；

(4) 山脊位置能量校正步骤；根据山脊位置能量分布特征对山脊位置能量进行校正；

(5) 在数字高程信息矩阵中进行带状地下目标探测的步骤；包括下述子步骤：

(5.1) 设置遍历探测带状地下目标所用参数；

(5.2) 根据上述参数对数字高程信息矩阵进行遍历探测，并将探测的带状地下目标位置输出。

2、如权利要求1所述的方法，其特征在于，所述步骤(1.2)具体包括：

(1.2.1) 计算地形范围的宽度、高度步骤：

根据步骤 (1.1) 中确定的矩形四个顶点的经纬度利用 Google Earth 提供的测距工具计算出矩形覆盖范围的宽度、高度标记为 width、height 单位为米，并计算出经纬度的范围；

(1.2.2) 计算经纬度矩阵的步骤：

按照采样间隔 step 米，每次距离 step 米采样一次，分别计算出纵向、横向的采样点的数目，即：height/step，width/step，并计算出经纬度矩阵每相邻两个采样点的经度步长 long_step 和纬度步长 lati_step，从而计算出经纬度矩阵中每一个采样点的经纬度。

3、如权利要求 1 或 2 所述的方法，其特征在于，所述步骤 (1.3) 具体包括：

将 (1.2.2) 中经纬度矩阵作为输入利用 Google Earth 得到每一个采样点的海拔数据，并根据该海拔数据生成地形数字高程信息矩阵输出。

4、如权利要求 1 至 3 任一项所述的方法，其特征在于，所述步骤 (2) 具体为：采用均值滤波方法对上述数字高程信息进行去噪预处理。

5、如权利要求 1 至 3 任一项所述的方法，其特征在于，所述步骤 (3.1) 具体为：

沿着 x 方向遍历，将每一个采样点的高程值与 y 方向预设范围内的采样点的高程值比较，如果该采样点在 y 方向是极大值，则该点为水平方向的山脊线的候选点。

6、如权利要求 1 至 3 任一项所述的方法，其特征在于，所述步骤 (3.2) 具体为：

沿着 y 方向遍历，将每一个采样点的高程值与 x 方向预设范围内的采样点的高程值比较，如果该采样点在 x 方向是极大值，则该点为垂直方向的山脊线的候选点。

7、如权利要求 1 至 3 任一项所述的方法，其特征在于，所述步骤 (3.3) 具体为：

对步骤(3.1)、(3.2)提取出的每一个山脊线候选点进行连续性判别,判别准则如下:如果该候选山脊线点的 $t \times t$ 邻域内不同的山脊线候选点,则该山脊线候选点为最终的山脊线点;否则,判断该孤立的山脊线候选点为非山脊线点,最终得到连续山脊线标记图,其中 t 为预设值。

8、如权利要求1至3任一项所述的方法,其特征在于,所述步骤(4)具体为:对山脊位置的能量进行校正,校正的具体方法为:山脊线位置采样点的能量用山脊线位置两侧的采样点的能量的均值代替。

9、如权利要求1至3任一项所述的方法,其特征在于,所述步骤(5.1)中设置的参数具体为:

采样段大小以及对比段距中心段的间隔:设下方有带状地下目标的山地地表的采样段的长度与宽度各为 z 个像素;带状地下目标两旁山地地表采样段的长度与宽度也各为 z 个像素;两旁山地地表采样段中心距离带状地下目标上方采样段中心的距离为 s 个像素,其中 z 、 s 为预设值。

搜索的方向:通过查阅资料估计出该地区带状地下目标的走向,按照估计出的走向度数设置遍历搜索的中心首尾坐标 $P_0(x_0, y_0)$, $P_1(x_1, y_1)$,这两点的连线通过该区域中点附近的位置;

每次延展的距离:每搜索一组假设下方存在带状地下目标的山地地表图像与两边对比的山地地表图像就向两边平移距离 d 再继续新的一组的搜索,直到到达图像的边界,搜索自动停止;

脉冲阈值:每一段中间假设下方存在带状地下目标的山地地表图像采样段的灰度均值与两边对比的山地地表图像采样段的灰度均值的差的绝对值,均大于该脉冲阈值 th 的时候,该处的脉冲才算作有效脉冲;若两个差值中任意一个小于脉冲阈值该处的脉冲就是因为信号微弱而被认为无效。

10、如权利要求1至3任一项所述的方法,其特征在于,所述步骤(5.2)具体为:

由(5.1)中确定的遍历搜索的中心首尾坐标 $P_0(x_0, y_0)$, $P_1(x_1, y_1)$,

开始使采样段从点 $P_0(x_0, y_0)$ 逐像素滚动到点 $P_1(x_1, y_1)$ ，且每次滚动一个像素后，再左右各平移 r 个像素， r 为预设值，寻找其中中间段与左右两边对比段差值最大的位置，并测试该位置的脉冲是否为有效脉冲，若为有效脉冲，则有效脉冲数目增加一；接着计算 P_0, P_1 向两边平移每次延展的距离之后的坐标 P_0', P_1' ，在 P_0', P_1' 之间按照 P_0, P_1 之间同样的采样方法进行统计，并计数有效脉冲数目；有效脉冲数目占总数目最大的一组两端坐标 P_0, P_1 确定的位置为带状地下目标位置，结果中其余脉冲出现的位置即为虚警位置。

附 图

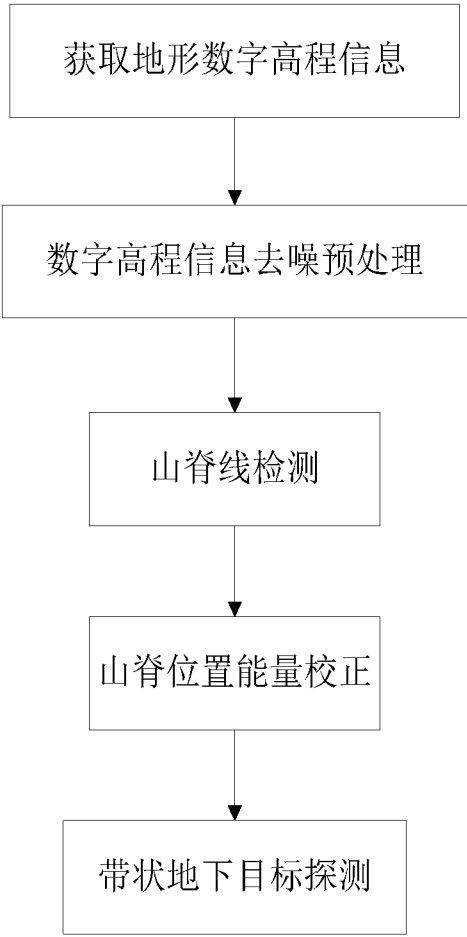


图 1

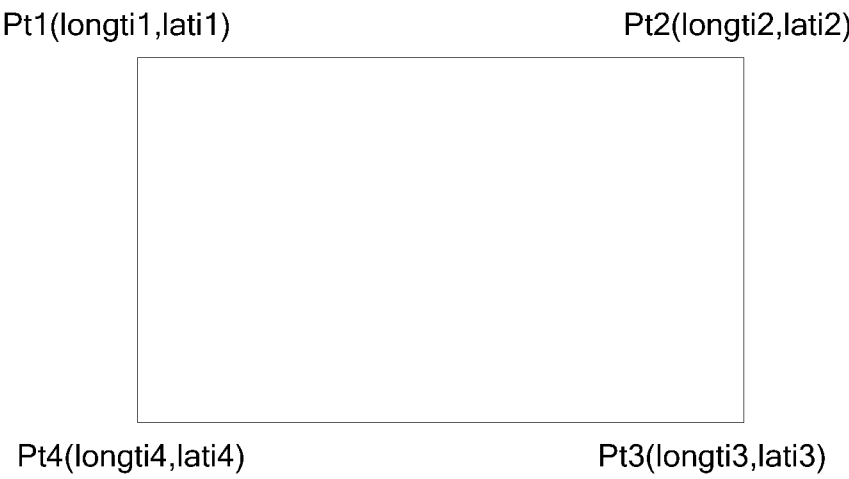


图 2

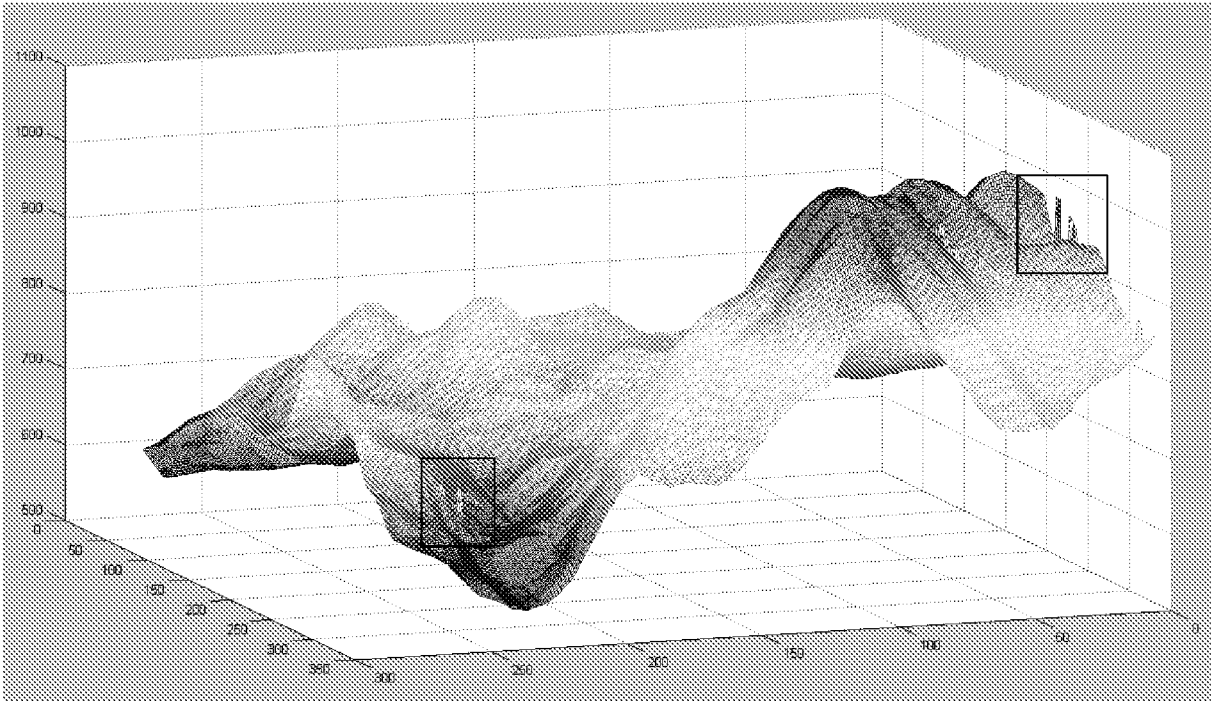


图 3

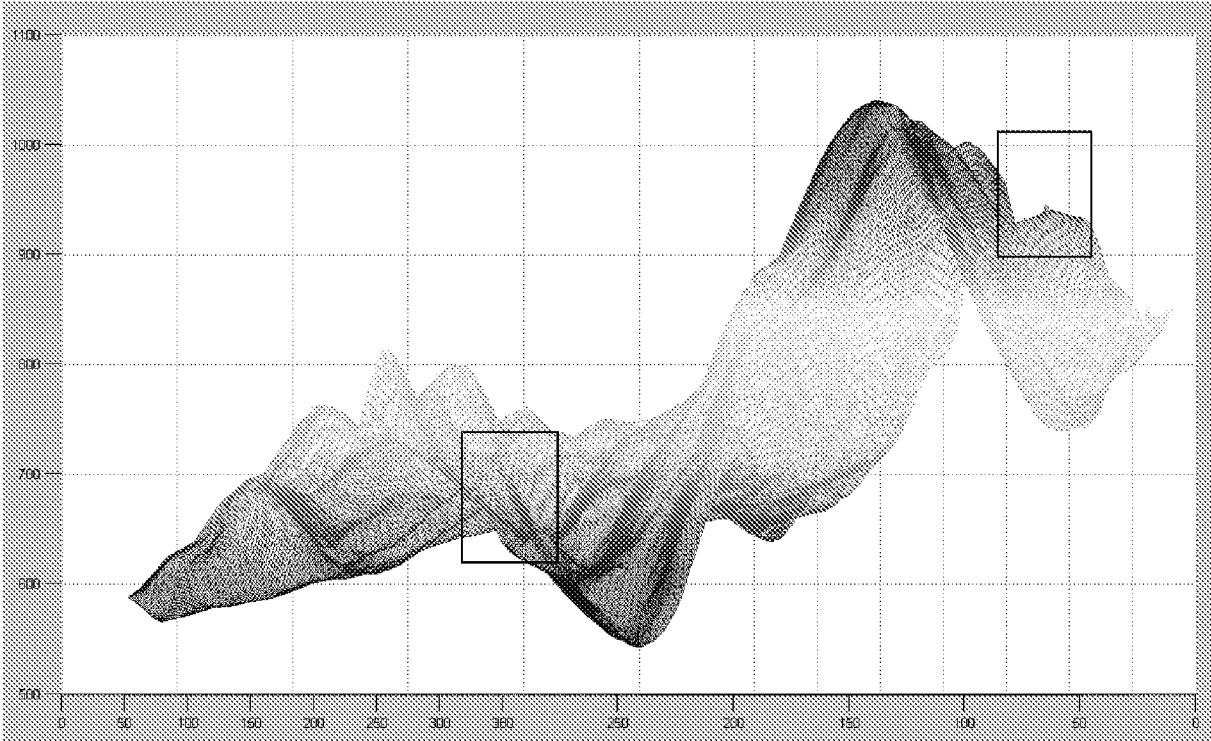


图 4

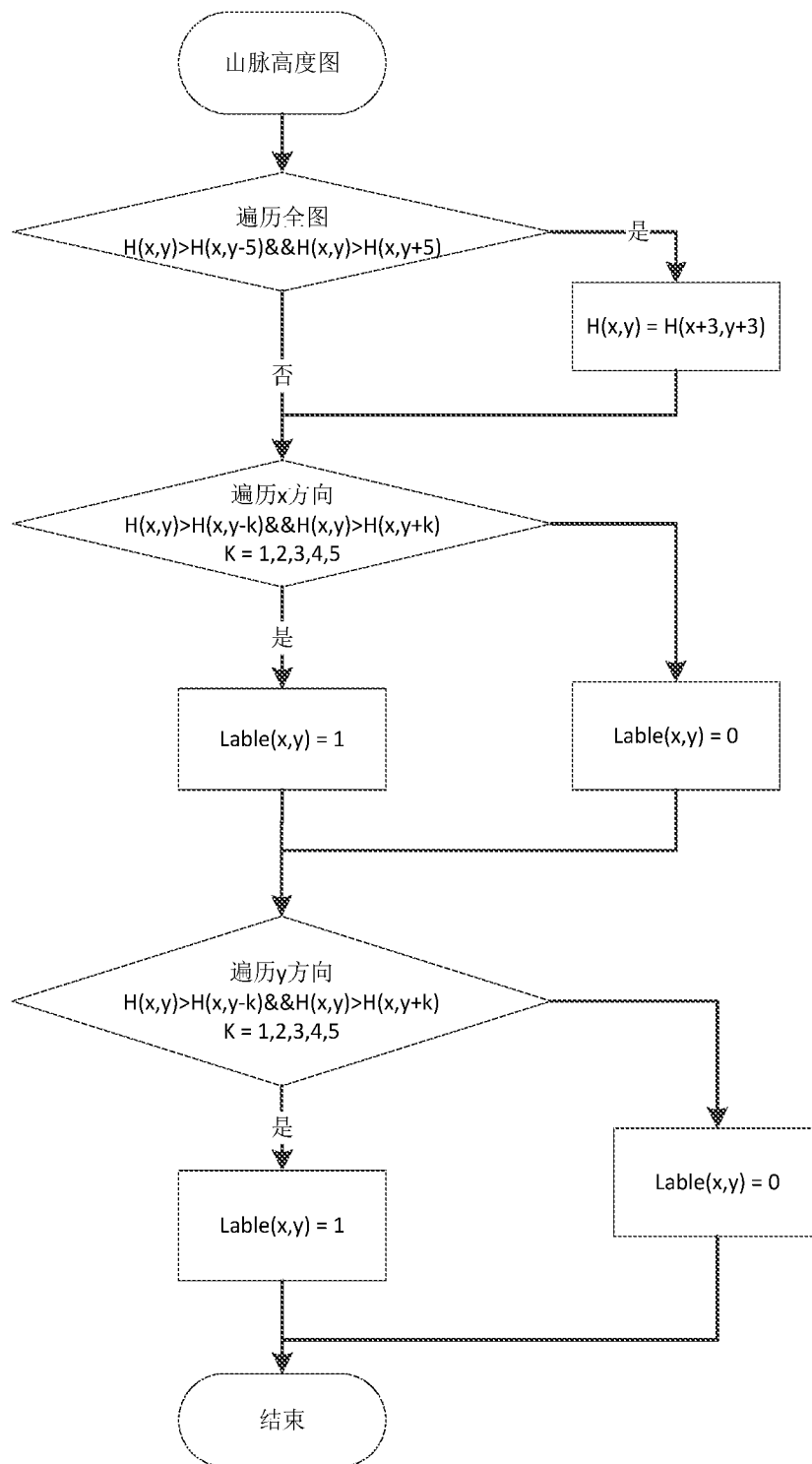


图 5

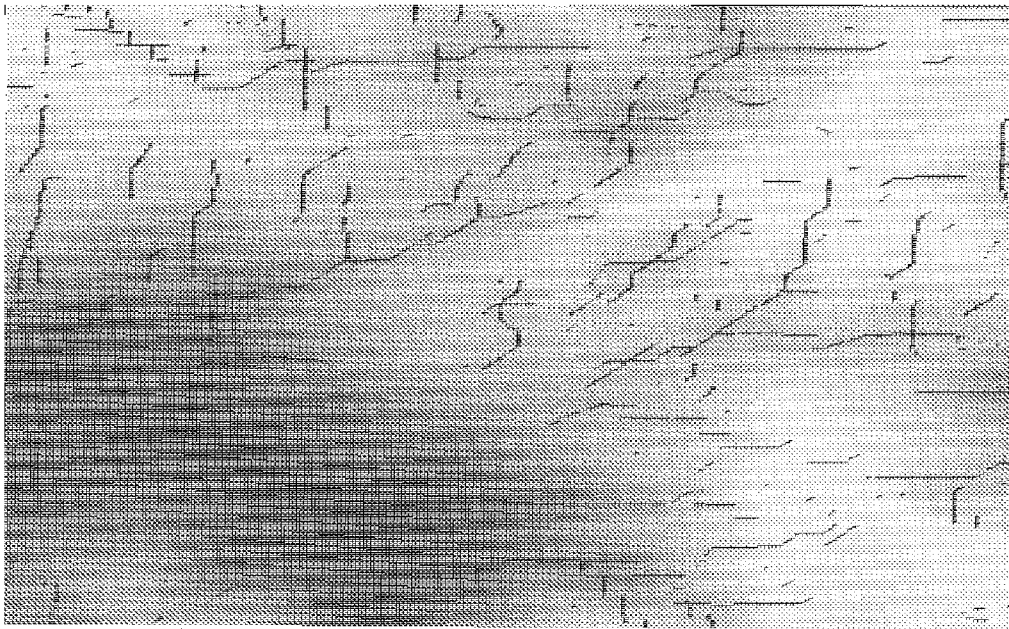


图 6

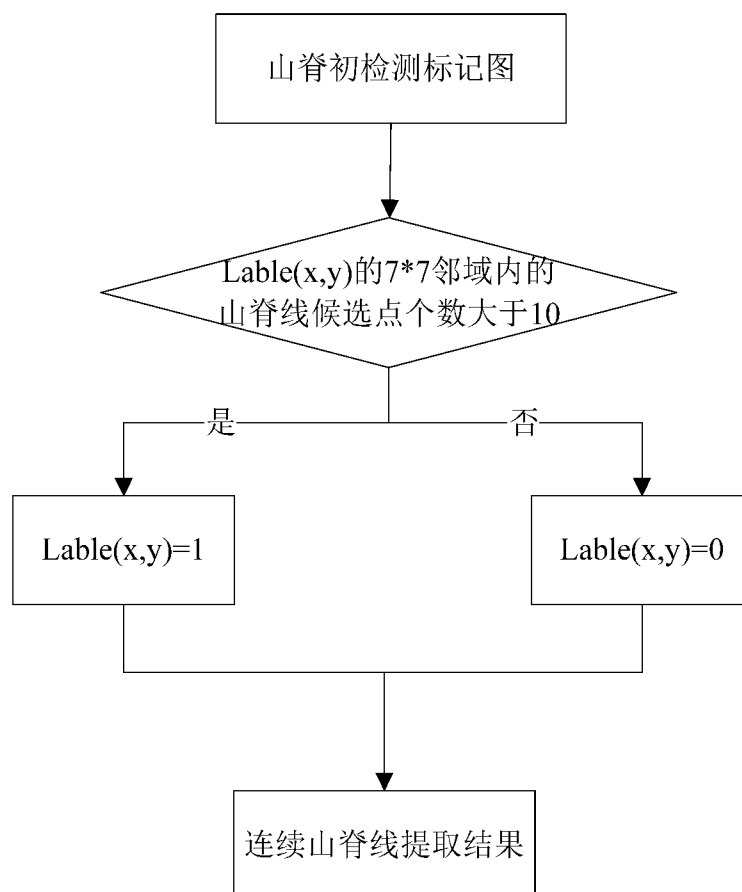


图 7

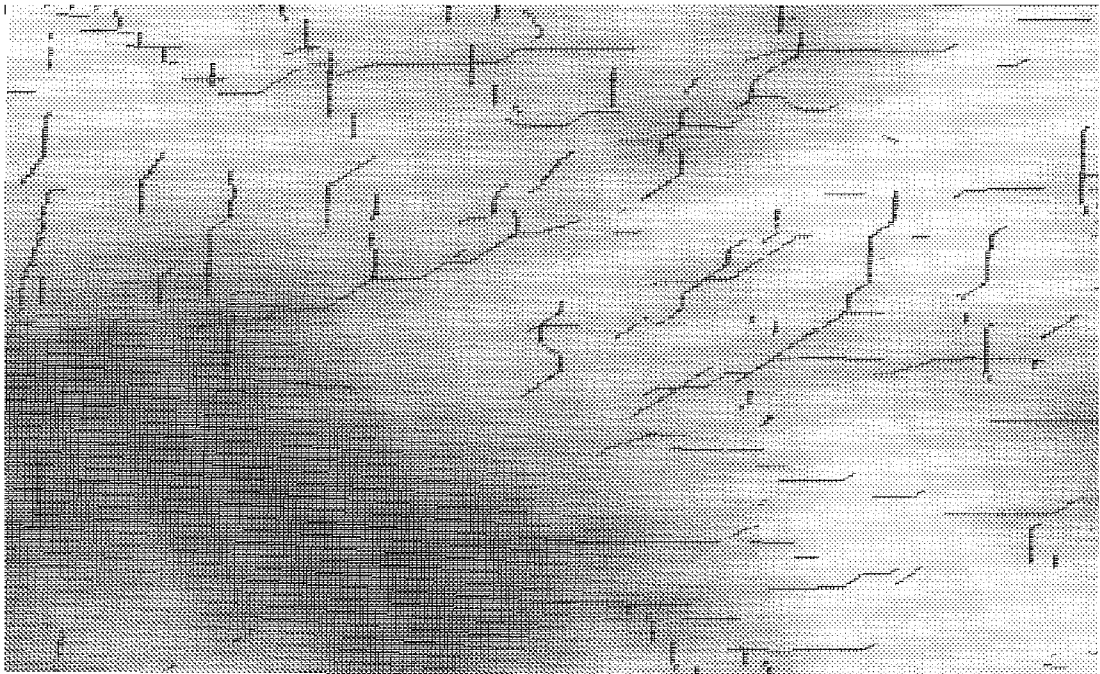


图 8

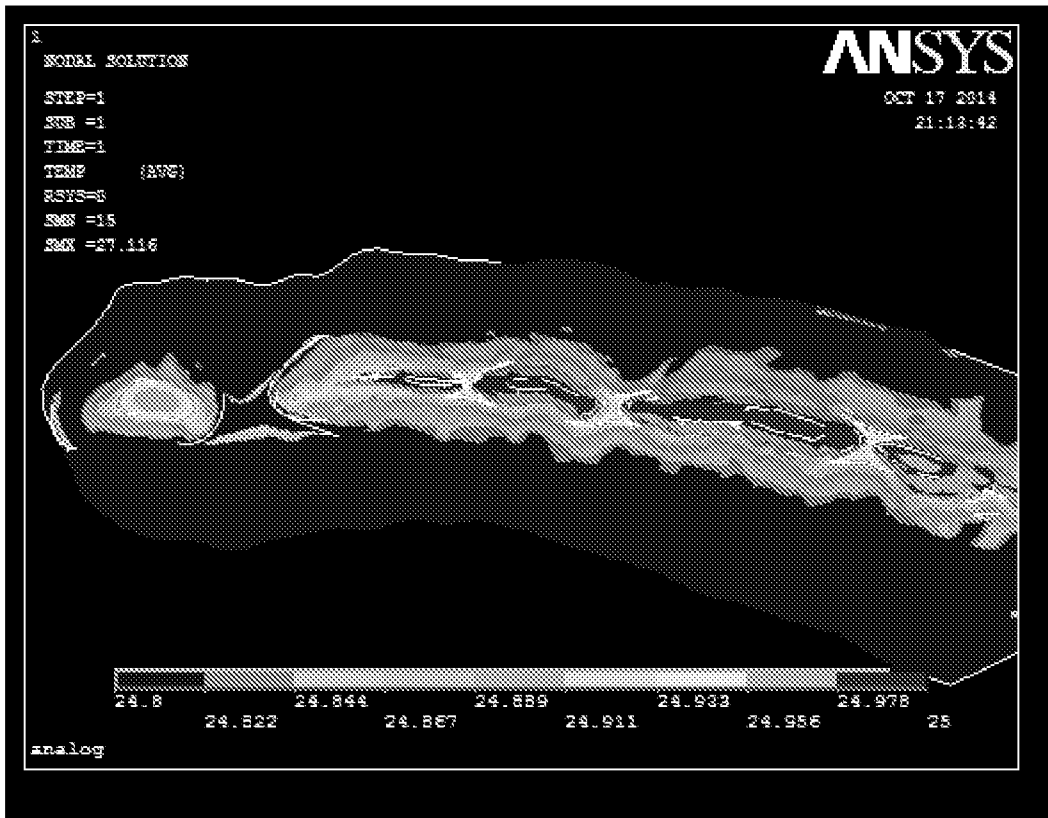


图 9

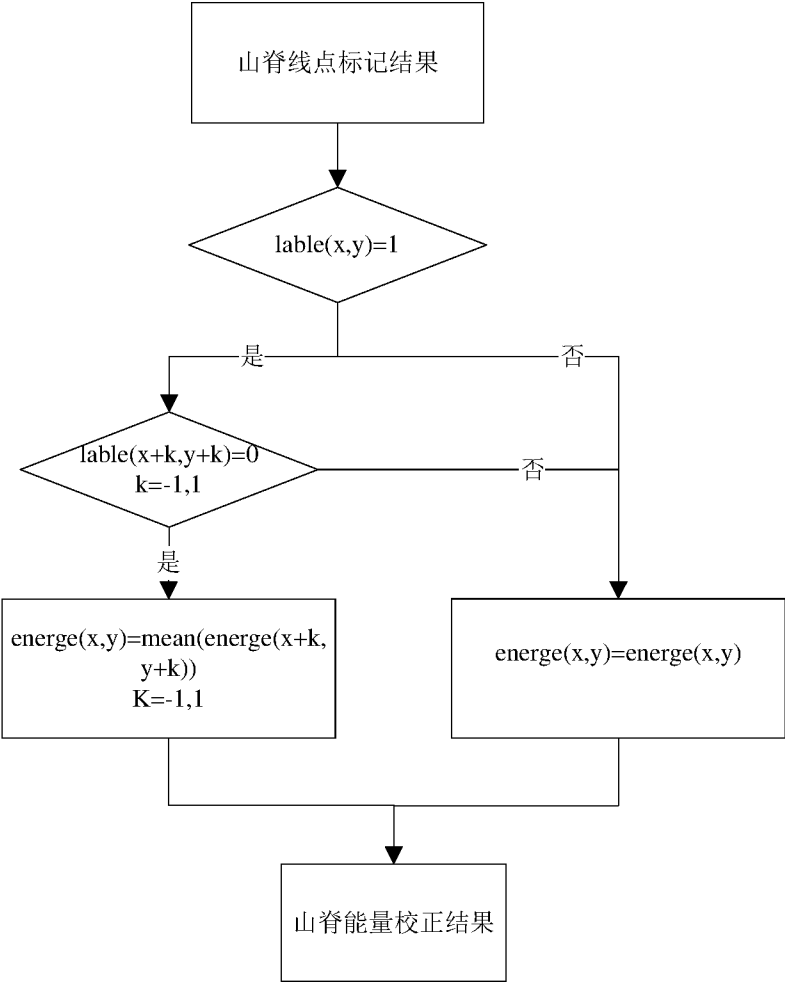


图 10



图 11

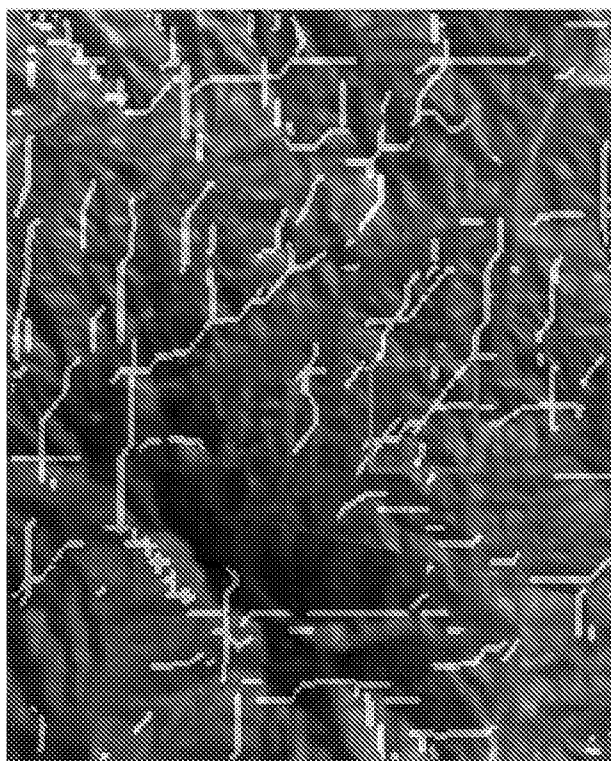


图 12

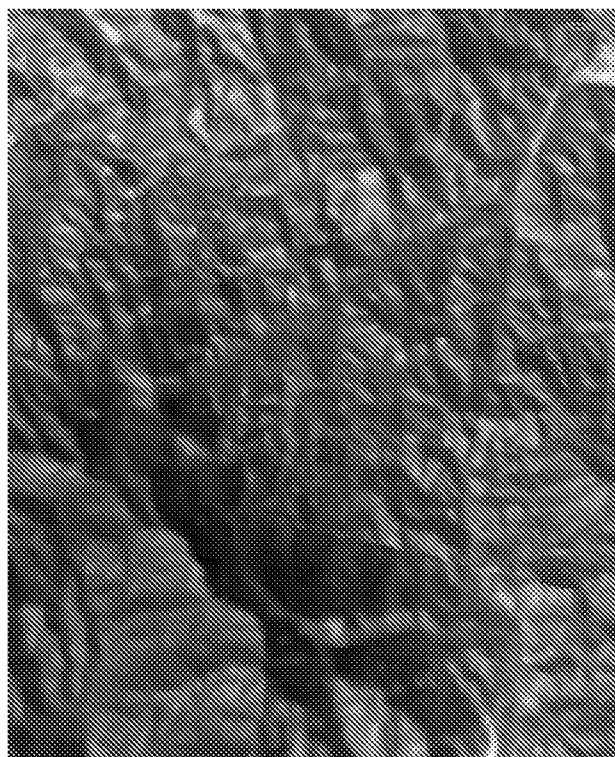


图 13



图 14



图 15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2015/072680**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

G06K 9/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC: digital elevation, ridge line, ridge position, underground, pipeline; digital, elevation, ridge, line, position, tunnel, tube, pipe

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 103745191 A (INSTITUTE OF REMOTE SENSING AND DIGITAL EARTH, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES), 23 April 2014 (23.04.2014), the whole document	1-10
A	CN 103148842 A (SECOND INSTITUTE OF OCEANOGRAPHY, STATE OCEANIC ADMINISTRATION), 12 June 2013 (12.06.2013), the whole document	1-10
A	CN 102567702 A (INSTITUTE OF GEOGRAPHIC SCIENCES AND NATURAL RESOURCES RESEARCH, CAS), 11 July 2012 (11.07.2012), the whole document	1-10
A	CN 103177258 A (HENAN POLYTECHNIC UNIVERSITY), 26 June 2013 (26.06.2013), the whole document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 09 September 2015 (09.09.2015)	Date of mailing of the international search report 17 September 2015 (17.09.2015)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer HUANG, Tao Telephone No.: (86-10) 82245886

International application No.
PCT/CN2015/072680

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2009)

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2015/072680

A. 主题的分类

G06K 9/00(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G06K

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC: 数字高程, 山脊线, 山脊位置, 隧道, 地下, 管道, 管线; digital, elevation, ridge, line, position, tunnel, tube, pipe

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 103745191 A (中国科学院遥感与数字地球研究所) 2014年 4月 23日 (2014 - 04 - 23) 全文	1-10
A	CN 103148842 A (国家海洋局第二海洋研究所) 2013年 6月 12日 (2013 - 06 - 12) 全文	1-10
A	CN 102567702 A (中国科学院地理科学与资源研究所) 2012年 7月 11日 (2012 - 07 - 11) 全文	1-10
A	CN 103177258 A (河南理工大学) 2013年 6月 26日 (2013 - 06 - 26) 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2015年 9月 9日

国际检索报告邮寄日期

2015年 9月 17日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
北京市海淀区蓟门桥西土城路6号
100088 中国

传真号 (86-10)62019451

授权官员

黄涛

电话号码 (86-10)82245886

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2015/072680

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	103745191	A	2014年 4月 23日	无			
CN	103148842	A	2013年 6月 12日	CN	103148842	B	2014年 11月 5日
CN	102567702	A	2012年 7月 11日	无			
CN	103177258	A	2013年 6月 26日	无			

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)