

文章编号: 1008-2786-(2016)6-799-08

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000188

面栅格表达方式引起的 DEM 地形表达误差

王雷^{1 2} 龙永清¹ 杨勤科^{1 2}

(1. 西北大学城市与环境学院, 陕西 西安 710127; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 通过对规则格网 DEM 对地面表达方式的分析, 指出基于面栅格理解的 DEM 的表达方式会产生 DEM 对实际地形的表达误差, 该误差与格网尺寸密切相关。在一个 DEM 格网内, 地形表达误差分为正负两个部分, 在上坡方向, 误差为负值, 下坡方向则为正值; 格网尺寸越大, 误差的其空间分布越复杂; 在地面坡度较大时, 距离格网中心点越远, 误差越大。通过基于全数字摄影测量得到的黄土高原区陕西省绥德县多种格网尺寸 DEM 数据系列的比较验证, 结果表明, 在格网内部的误差分布随格网尺寸密切相关, 特别是在地形复杂的地区, 误差的绝对值较大, 且空间分布越加复杂。根据对该误差的统计特征及中误差与 DEM 格网尺寸关系分析, 可利用格网尺寸估计误差的统计特征及中误差。随着格网尺寸增大, 中误差和误差最大值都在增大, 均值基本不变; 且无论基准 DEM 格网尺寸大小, 在增大格网尺寸的情况下, 均有此规律。在实际 DEM 生产及应用过程中, 需要注意区分上述地形表达误差与我国测绘标准中定义的中误差的区别, 避免在 DEM 的实际应用中出现偏差。

关键词: 数字高程模型(DEM); 格网尺寸; 地形表达误差

中图分类号: P208

文献标志码: A

数字高程模型(DEM)的数据质量及基于 DEM 的地形分析的精度问题, 是 DEM 研究中的一个重要方面^[1-3]。其中, 水平分辨率或格网尺寸是影响 DEM 数据精度及地形分析结果的一个重要方面。

对此, 前人做了大量的研究。如格网尺寸对基于 DEM 提取的地形因子影响方面: Chang 等^[5]指出 DEM 提取的坡度的平均值, 会随着 DEM 格网尺寸的增大而降低, 格网尺寸的变化对坡度影响在陡坡处较大, 而在缓坡处, 格网尺寸变化对坡向影响较大; Wolock^[6]分析了基于 100 m 格网尺寸和 1 000 m 格网尺寸 DEM 的坡度值, 认为 1 000 m 格网尺寸 DEM 计算的坡度平均值, < 100 m 格网尺寸 DEM 计算的坡度; 还有 Gallant^[7]、汤国安^[8]、Erskine 等^[9-13]均对此作了研究和论述。尽管这些学者都认识到格网尺寸对 DEM 精度及地形分析结果有重要的影响, 但对其原因缺乏进一步解释。同时, 在分

析时往往缺乏高精度的基准数据, 且在获取不同格网尺寸的 DEM 数据系列时, 往往采用内插的方法, 不能将由于内插产生的系统误差排除在外。

要进一步分析格网尺寸影响 DEM 数据精度及地形分析的原因, DEM 数据的对实际地表的表达方式是不能忽视的。目前对于规则格网 DEM 的格网单元的数值所代表的意义存在两种理解^[14-15]: 第一种观点通常被称为点栅格观点(LATTICE), 即认为格网单元上的数值是其格网中心点高程, 而各格网中心点间的高程要使用内插方法估算; 第二种观点称为面栅格观点(GRID 或 Pixel), 即认为格网单元内部高程处处相等, 格网高程代表整个格网单元的高程。在实际应用当中, DEM 数据的采集、存储、计算坡度、坡向等, 采用的是第一种观点; 但在进行 DEM 的显示表达, 格网高程查询, 土方计算时, 则采取第二种观点, 即格网高程代表整个格网单元平面

收稿日期(Received date): 2015-03-27; 修回日期(Accepted): 2015-04-29。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(41101264; 41371274); 西北大学科学研究基金(12NW40) [National Natural Science Foundation of China(41101264; 41371274); Science Foundation of Northwest University(12NW40)]

作者简介(Biography): 王雷(1977-) 男, 陕西省兴平市人, 博士, 讲师, 主要研究方向为 DEM 数字地形分析等 [Wang lei(1977-), male, born in XingPing, Shaanxi province, Ph. D. lecture, research interests include DEM and digital terrain analysis] E-mail: montez@nwu.edu.cn

高程。刘学军^[4]就针对这两种表达方式的差异提出,使用格网中心高程来代表整个格网高程可能会导致分析结果出现问题。对于第一种观点而言,格网点间的高程需内插得到,值的大小取决于内插算法,算法中包含的水平尺度是该位置与参与内插的格网点距离;而对于第二种观点来讲,DEM数据内部任一点都具有确定高程,而这一格网高程的尺度恰好是一个格网的大小。这样的地形表达方式,会对DEM的实际应用带来怎样的影响?格网尺寸又会起到怎样的作用?本文试图在利用全数字摄影测量的方法获取的高精度的DEM数据基础上,分析基于面栅格观点的DEM地形表达误差及其规律,并分析其对DEM生产与实际应用的影响。

1 实验数据与研究方法

1.1 研究区域与基础数据

研究区为陕西省绥德县清水沟流域。该流域位于绥德县城西北,面积 7.25 km^2 。流域所属的绥德地区为温带半干旱大陆性季风气候,年降雨量约为 500 mm ,夏季多暴雨;土壤类型主要为黄绵土,质地疏松,易受侵蚀。整个流域土壤侵蚀强烈,沟谷深切,沟坡陡峭,地形复杂。实验选择了清水沟的三个子流域:窑家湾沟全部,野狐子沟及折家峁沟大部(图1),面积约为 1.9 km^2 ,最大高程差 203.17 m ,平均坡度约为 33° ,其中坡度 $>25^\circ$ 的面积约占整个区域面积的 66.1% 。位于实验区正中的窑家湾沟呈细长条状,由北向南汇入清水沟,主沟道长约 1.8 km ,最宽处约 500 m ,流域面积仅约 0.5 km^2 。野狐子沟和折家峁沟基本与窑家湾沟平行。研究区内遍布各种规模冲沟、切沟、浅沟等。沟道横断面多数为“V”形,多数谷坡坡度大于流域平均坡度,部分黄土崖处甚至达到 80° 以上。

本研究的基础数据是采用全数字摄影测量的方法得到的 1 m 格网尺寸的DEM。原始航片为19幅彩色航摄像片。航摄比例尺为 $1:4\,000$,扫描分辨率为 $25\text{ }\mu\text{m}$ 。航摄外业控制测量采用全野外布点方式,共布设49个像控点-平高控制点,采用GPS-RTK方式测量,独立坐标系统,大地基准为WGS-84,投影采用高斯-克吕格投影,中央经线 111° 。

由于实验区坡度 $>25^\circ$ 面积占总面积超过 60% ,根据现行航测规范(GB/T7931-2008,GB/T7930-2008)规定^[16-17],其地形类别为高山地。为保证数据精度,在外业控制测量,内业定向及加密

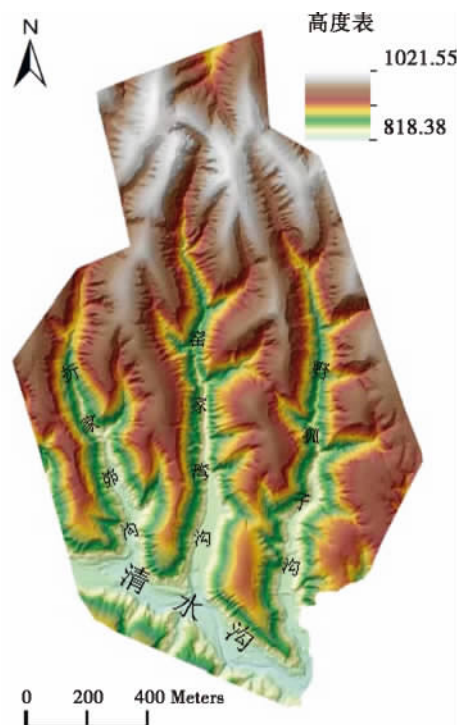


图1 研究区地形

Fig. 1 Terrain of study area

过程中,精度要求均按山地类别的要求执行。建模之后,依据GB/T7930-2008中对 $1:1\,000$ 比例尺地形测图的规定,进行矢量地形数据采集(包括等高线、地形特征点线等,基本等高距 1 m)。然后按点编辑模式采集DEM格网点数据,保证每个格网点均准确切于立体模型上。DEM的格网尺寸为 1 m ,格网高程精确到小数点后两位。根据上述方法得到实验区的DEM数据是本研究中使用的基准数据。

1.2 格网尺寸与DEM地形表达误差

如前所述,对DEM的理解存在点栅格和面栅格两种观点。目前在实际应用中,特别是在很多GIS软件当中,在进行DEM的显示表达,格网高程查询时,采用第二种观点,用格网中心点的高程代表整个格网平面高程。在这种情况下,实际地面被分割成一个个平坦的格网单元(图2中的平面G)。这种表达方式造成在利用格网DEM表达地表时会产生地形表达误差,这一误差的大小和分布可由图2所示。

假定图中O点为格网中心点,G表示经过O点的格网平面,S表示O点处的实际地表面。因为整个格网被看做具有统一高程的平面,所以产生了格网平面对实际地表的表达误差。该误差分为两个部分:在上坡方向,由于使用O点高程代表的格网高程比实际地表高程低,误差 Δh 为负值;而在下坡方

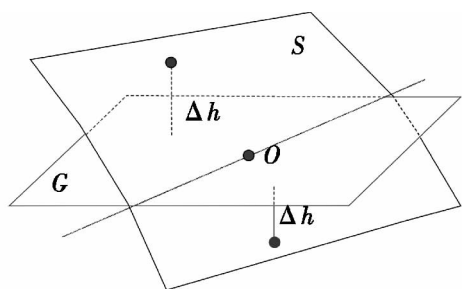


图2 网格DEM的地形表达误差规律

Fig. 2 Representation error of Terrain within Grid

向, 网格高程则高于实际地表高程, 误差 Δh 为正值。根据图2可以看出, 基于面栅格表达方式的DEM地形表达误差的绝对值, 其大小和分布取决于: 1. 地表实际坡度的大小: 坡度越大, 误差的绝对值就越大; 2. 与网格中心点的距离: 距离越近, 误差越小; 3. 网格尺寸: 网格尺寸越大, 实际地表的形态就越复杂, 误差的空间分布状态也就越复杂。

1.3 DEM地形表达误差的获取

要提取上述DEM地形表达误差, 首先需要获取一系列不同网格尺寸的DEM。然而, 在生成这一系列DEM时, 如采用内插方法, 必将引入内插方法引起的系统误差。为克服这一问题, 可采用对作为基准数据的1 m网格尺寸DEM数据, 直接按一定间距进行抽稀采样的方法, 即从1 m网格尺寸的DEM数据上直接提取各网格尺寸的网格高程, 相当于从立体模型上按一定网格间距采样。这样得到的每一网格尺寸的DEM, 其格网点高程均为由立体模型表面直接量测得到, 每个格网点高程仅包含测量误差, 而不包含内插方法带来的系统误差, 这样就避免了内插方法对网格高程精度的影响。由于测量误差相对较小, 本研究将其忽略不计, 即认为所得到的DEM网格高程数据均为地面高程真值。因为基准DEM的网格尺寸大小为1 m, 所以上述直接采样获得的DEM的网格尺寸均为整数(1 m的倍数), 共计获得两组共计27个网格尺寸的DEM: 1. 网格尺寸从2 m开始, 以1 m间隔递增至10 m; 2. 网格尺寸从10 m开始, 以5 m间隔递增至100 m。

在获取上述27个DEM数据的基础上, 假定1 m网格尺寸的DEM代表的是真实的地形表面, 将其作为基准表面, 那么直接利用每一网格尺寸的DEM减去1 m网格尺寸的DEM, 就可以获取每一个网格单元上的地形表达误差及其分布。具体可以使用ArcGIS中的栅格计算工具(Raster Calculator)实现。

需要说明的是, 在进行上述栅格计算时, 因为偶数网格尺寸的格网单元与对应1 m网格尺寸DEM的空间范围相差半个1 m单元栅格, 所以要将格网分析尺寸设定为0.5 m。

2 结果与讨论

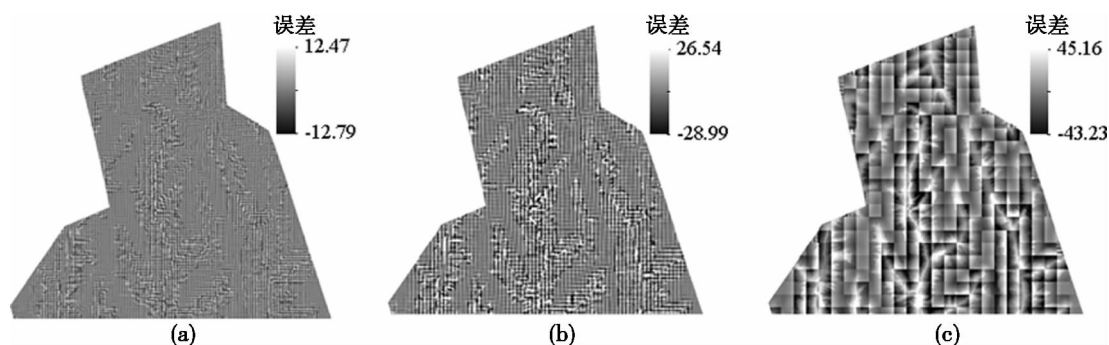
2.1 地形表达误差的空间分布规律

根据上述方法, 得到了各网格尺寸的DEM的地形表达误差及空间分布(如图3, 限于篇幅, 只选择了3个网格尺寸DEM的结果), 结果与图2的分析一致: 上坡方向, 实际地表高程高于网格高程, 下坡方向, 实际地表高程低于网格高程; 越靠近网格中心, 误差越小。地表坡度直接影响地形表达误差的大小, 误差较大的地方往往位于陡坡、陡坎等位置; 而误差较小的地方, 往往出现在峁顶、沟底、梯田面等这些坡度也较小的位置。

另一方面, 网格内部的实际地形表面, 随着网格尺寸的增加也变得愈加复杂, 但与此同时, DEM对地形的表达却随着网格尺寸的增加逐渐简化, DEM的可靠性下降。尤其在地形剧烈变化的部位, 如陡坡、梯田坎等处, 地形表达误差值不但较大, 误差分布也较为复杂; 而在地形较为平缓的部位, 如缓坡、沟底等处, 网格尺寸的变化则对地形表达误差的影响较小。综上所述, 网格尺寸引起地形表达误差的分布, 与实际地表的复杂程度紧密相关(坡度、坡向的变化, 地面微小起伏等), 网格尺寸越大, DEM对地形表面表达的可靠性也越低。因此, 在实际应用DEM进行地形分析时, 一般在陡坡地段, 网格尺寸增加对分析结果的影响相比缓坡地段要大。

为了能够更进一步理解地形表达误差的空间分布规律, 可对上述栅格计算得到的DEM地形表达误差数据进行逐格网统计, 即逐格网统计每一格网单元上的地形表达误差的各统计特征, 包括最大值、最小值、平均值、变化范围、标准差。具体可采用ArcGIS中的块统计(Block Statistics)工具。

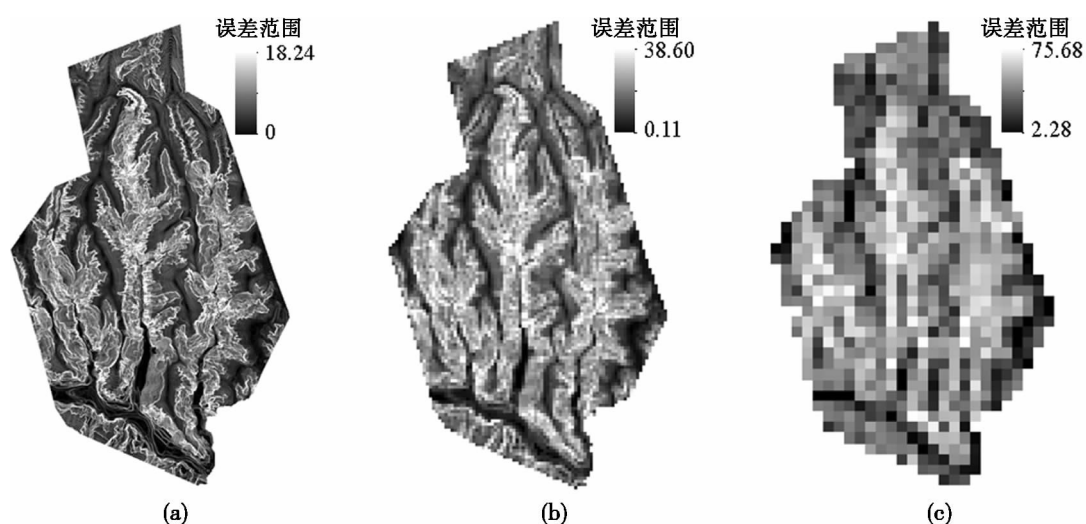
图4表示的是每一格网单元上地形表达误差的变化范围(Range)的空间分布。图中结果进一步表明: 在地形变化剧烈的部位, 如陡坡、陡坎等, 地形表达误差的值变化较大, 而在平缓的部位, 如峁顶、沟底等, 地形表达误差的值变化则较小。这一结果进一步表明图2关于地形表达误差规律的分析是正确的, 同时再次说明, 在应用DEM进行地形分析时, 需



(a) 为 2 m 格网尺寸的地形表达误差(is for 2 m grid size DEM); (b) 为 15 m(is for 15 m grid size DEM);
(c) 为 50 m(is for 50 m grid size DEM)

图 3 不同格网尺寸 DEM 地形表达误差(局部)

Fig. 3 Representation error of terrain for different grid size DEM



(a) 为 2 m 格网尺寸的格网上地形表达误差变程(is for 2 m grid size DEM); (b) 为 15 m(is for 15 m grid size DEM);
(c) 为 50 m(is for 50 m grid size DEM)

图 4 不同格网尺寸 DEM 格网上地形表达误差变程

Fig. 4 Range of representation error of terrain within Grid for different grid size DEM

要特别注意陡坡部位分析结果的可靠性。

2.2 格网尺寸变化与地形表达误差的统计规律

图 5 反映的是各格网尺寸 DEM 的地形表达误差的最大值和均值。随着格网尺寸的增加,地形表达误差的绝对值在逐渐增大。当格网尺寸小幅增大时(格网尺寸 < 10 m,以 1 m 间隔增大),误差的变化较小;随着格网尺寸及增幅的增大(格网尺寸 10 m 以上,以 5 m 间隔增大),地形表达误差值随格网尺寸增大的趋势就很明显了。图中最大误差的波动表明,地形表达误差与格网点的具体空间位置相关。而误差的平均值基本不随格网尺寸变化,保持在 0 值上下,这是由于,如图 2 所示,当将格网单元看做平面时,实际地表面与格网平面的差异由上下两个部分组成,上坡方向误差为负值,下坡方向误差为正

值,二者平均后均值接近于 0。虽然实际地表面的变化要比图 2 所示复杂得多,但总体上,地形表达误差的平均值接近于 0。

为说明地形表达误差的总体特征与格网尺寸的关系,可利用上述栅格计算得到的每一格网尺寸的地形表达误差数据,计算中误差(图 6),并可得到该中误差 y 与格网尺寸 x 的关系式(1)

$$y = -0.0004x^2 + 0.2237x + 0.3721 \quad (1)$$

式中 y 为中误差, x 为格网尺寸,该关系为以近似于线性的二次曲线关系。为进一步说明 DEM 地形表达能力与格网尺寸的关系,可分析上面用块统计方法得到的逐格网单元的地形表达误差的统计特征的平均值与格网尺寸的关系。图 7 反映的就是上述关系。从图中可以看出,格网单元上最大误差的平

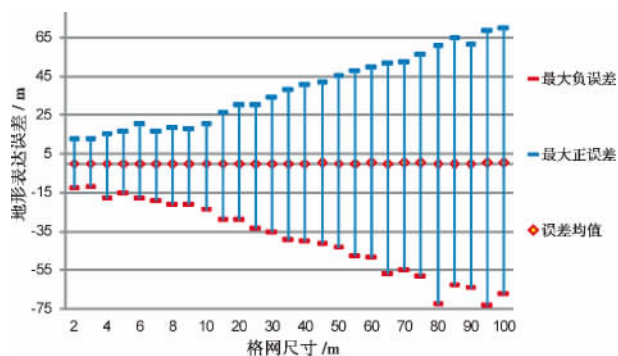


图5 地形表达误差最大值、误差均值与格网尺寸的关系

Fig. 5 Relationship between the maximum value, mean value of representation error of terrain and grid size

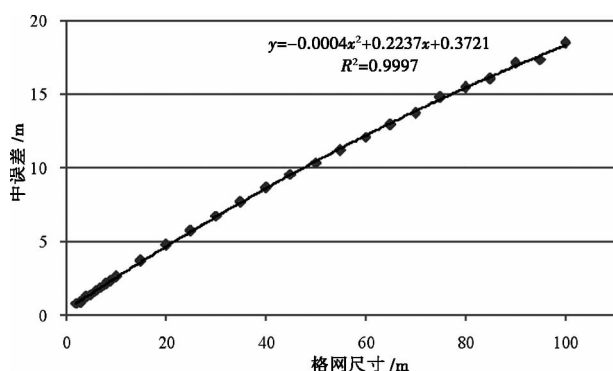


图6 格网尺寸与地形表达误差的中误差的关系

Fig. 6 Relationship between grid size and RMSE of representation error of terrain

均值及误差变程的平均值,随着格网尺寸的增大均在增加。而格网单元上平均误差的均值,与图5中的地形表达误差的平均值一样,稳定于0值附近。上述结果均表明,图2中对于DEM地形表达误差与格网尺寸关系的分析是正确的。

上述讨论均是以研究区1 m格网尺寸的DEM作为基准数据。但假如将上面得到的2 m、3 m、4 m,或者更大格网尺寸的DEM作为基准数据,是否还能够估计地形表达误差?为了探讨这一问题,引入格网尺寸放大比率(Scale ratio)作为另一参量,分析格网尺寸、格网尺寸放大比率与地形表达误差关系。具体做法为:将研究区某一格网尺寸的DEM作为基准数据,按照格网尺寸放大比率,找到相应格网尺寸的DEM,利用栅格计算,减去基准DEM,得到基于该基准DEM的地形表达误差数据,然后计算中误差。例如,将2 m格网尺寸DEM作为基准数据,当格网尺寸放大5倍时,对应的DEM为10 m格网尺寸的DEM,然后利用栅格计算,用10 m格网尺寸的

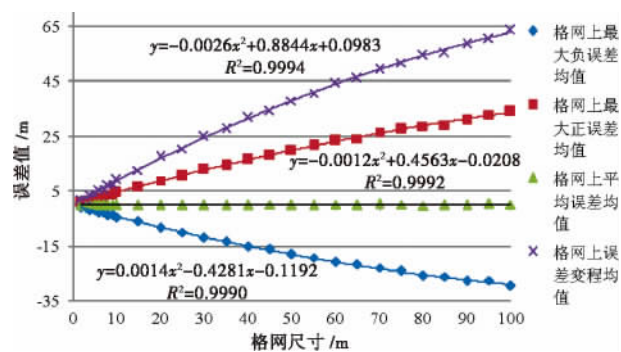


图7 格网尺寸与格网上地形表达误差的平均统计特征关系

Fig. 7 Relationship between grid size and the mean values of statistical characters of representation error of terrain

DEM减去2 m格网尺寸的DEM,得到基于2 m格网尺寸DEM的地形表达误差数据,并计算中误差。根据这种方法,最终得到了如图8的结果,并得到关系式(2)

$$RMSE = 0.2386m + 0.0826d - 0.0137m^2 - 0.002d^2 + 0.1738md \quad (2)$$

式中 $RMSE$ 为地形表达中误差; m 为格网尺寸放大比率(Scale ratio); d 为原始基准格网尺寸(Original Grid size)。

图8表明,在DEM生产时,无论基准DEM的格网尺寸有多大,只要扩大格网尺寸,则DEM的地形表达误差均可估计。同时从图8中可以看出,随着原始基准格网尺寸和格网尺寸放大比率的增大,中误差也会迅速增大,这将会影响DEM在实际地形分析中的应用。因此,在实际生产中建立DEM时,需

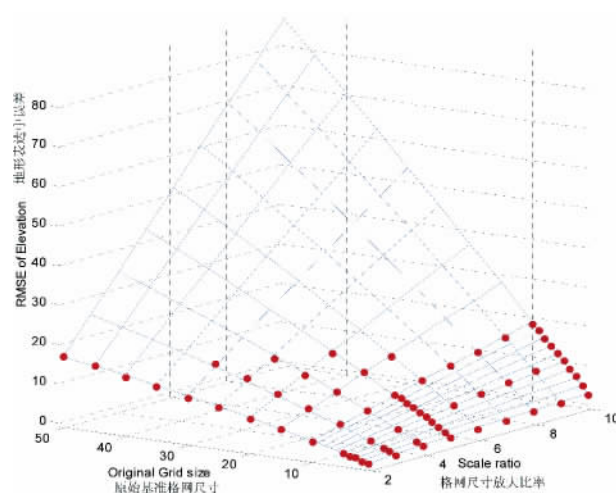


图8 DEM原始基准格网尺寸、格网尺寸放大比率和地形表达中误差的关系

Fig. 8 Relationship among original grid size, the scale ratio of grid size and the RMSE of representation error of terrain

要考虑实际地形的尺度以及实际应用所需要的尺度,合理地选择格网尺寸,保证 DEM 质量。

需要指出的是,上述关系式(1)、(2)等是基于本研究区域得到的关系式,仅适用于本研究所研究的绥德附近的黄土丘陵区,对于黄土高原其他地貌类型区或其他非黄土地貌类型区,需要具体问题具体分析,重新建立与式(1)、(2)类似的关系式,量化格网尺寸与误差的关系。

2.3 地形表达误差与规范中规定的 DEM 误差的差别

根据我国现行测绘规范,就本研究区而言,地形类别为高山地^[16-17](研究区坡度 $\geq 25^\circ$ 的区域占总面积的 66.1%)。表 1 列举了本次实验中部分格网尺寸 DEM 得到的地形表达误差的中误差、最大误差及格网上最大误差的均值,以及针对该种地形类别,我国现行 DEM 规范 CH/T9008.2-2010 及 CH/T9009.2-2010 中该格网尺寸 DEM 的精度规定^[18-19]。根据表中所列数据,本实验中各格网尺寸 DEM 的地形表达中误差,似乎是符合上述两个规范中关于山地类型的一级 DEM 的精度要求,但是各格网尺寸 DEM 的最大误差较大,如格网尺寸 2 m 时,其最大正误差和最大负误差甚至为中误差的 15 倍以上,超出了规范的两倍中误差的规定。

要解释这一问题,需要认真分析规范中关于 DEM 误差的表述。规范中对于 DEM 成果的精度表述为“数字高程模型成果的精度用格网点的高程中误差表示”;“高程中误差的两倍为采样点数据的最大误差”^[18-19]。上述规定表明,规范中规定的误差是基于 DEM 格网采样点数据的,最大误差的是格网中心点上的最大高程误差。换句话说,即认为 DEM 数据是点数据阵列,格网中心点作为采样观测点,误差计算均基于格网中心点位置进行计算。

然而在实际生产中,利用检查点进行 DEM 质量检查时,检查点的平面位置通常并不在格网中心点。此时如果在生产软件(如 ArcGIS)中直接通过检查点的平面位置查询 DEM 该点位高程时,通常得到的高程值是距离该点位最近的格网中心点的值,这是因为在软件中将格网点高程看作整个格网单元高程。利用这样的方法得到的检查点误差并不是基于同一平面点位得到的,所得到的误差值实际是上述的地形表达误差。该误差如图 2 所示,地表坡度越大,误差就越大,且距离格网中心点越远,误差就越大。本实验中反映出的最大误差过大实际上就是地形表达误差的最大值过大。

事实上,在检验 DEM 质量时,要得到规范中规定的采样点数据中误差,就必须依据内插算法,利用 DEM 产品中格网点上的高程,内插出检测点所在的平面位置上的高程,用以计算检测点误差及 DEM 中误差。如果忽略这一内插过程,直接利用上述查询的方法得到检测点高程,得到的结果就是地形表达误差的中误差,而不是规范规定的点位中误差了。同时,这样的做法产生的另外一个问题就是:根据地形表达误差的原理(图 2),只要选择靠近格网中心点的检测点,就一定能够通过 DEM 数据质量检查中对中误差的要求。因此,只有清楚了规范中有关误差的规定与地形表达误差的差别,才能够在 DEM 的实际生产当中正确应用规范。

表 1 中关于地形表达误差最大值过大的问题还说明,在地形发生剧烈变化的区域(如陡坎、沟沿线等)利用格网中心点高程代表整个格网高程的这种表达方式,可能会产生很大的地形表达误差,在这些部位 DEM 正确地形表达能力就受到很大的影响,且格网尺寸越大,该影响越大。尽管根据表 1,地形

表 1 现行有关 DEM 测绘规范中的误差规定与研究区地形表达误差对比*

Tab. 1 Comparison between error limits in standard of surveying and mapping and representation errors of terrain in study area

现行规范中山地一级 DEM 高程误差规定						研究区域地形表达误差统计		
格网尺寸	对应	中误差	最大误差	中误差	最大正误差	最大负误差	格网上最大正误差	格网上最大负误差
/m	比例尺	/m	/m	/m	/m	/m	均值/m	均值/m
2	1:2 000	1.2	2.4	0.82	12.47	-12.79	0.98	-0.97
5	1:10 000	2.5	5	1.39	16.57	-15.29	1.94	-1.91
10	1:25 000	4	8	2.62	20.87	-23.46	4.67	-4.55
25	1:50 000	8	16	5.77	30.08	-33.44	10.53	-9.94
50	1:100 000	16	32	10.36	45.16	-43.23	19.79	-18.21

* 篇幅限制,仅列出部分数据。Only list part of data because of limitation space.

表达最大误差与中误差的比值在逐渐减小,如格网尺寸 25 m 时,最大误差仅为中误差的 5.5 倍左右,但最大误差的绝对值始终在增大,其相对于中误差的值减小的主要原因是随着格网尺寸的增加,中误差逐渐增大,DEM 对地形的整体表达的精度降低。事实上,全部格网单元上最大误差的平均值与中误差的比值,基本上不随格网尺寸变化,其值基本稳定在 1 至 2 倍中误差之间(表 1)。同时,中误差的值也满足规范要求。因此可以考虑在实际使用全数字摄影测量进行 DEM 生产时,使用地形表达中误差来替代规范规定的格网点中误差,可利用格网尺寸与地形表达中误差的关系来估计 DEM 精度或推算格网尺寸。以本研究所所在的区域为例:地形类别为高山地,如要生成比例尺 1:2 000,格网尺寸 2 m 的 DEM 和比例尺 1:10 000,格网尺寸 5 m 的 DEM,可根据式(1)推得地形表达中误差分别约为 0.82 m 和 1.48 m,其值在规范规定以内^[18]。相反地,如要测制比例尺为 1:25 000 的山地一级 DEM,规范中误差要求为 4.0 m^[19](表 1),根据式(1)计算得到格网尺寸为 16.7 m,即仅考虑格网变化尺寸的影响,生成 DEM 的格网尺寸须小于 16.7 m,而规范中关于 1:25 000 的 DEM 的格网尺寸规定为 10 m,上述计算结果也能够对在实际生产中选择格网尺寸提供参照。

3 结论

在 DEM 实际应用中,由于对离散化的 DEM 表达实际地表方式的理解上差异,当采用以格网中心点高程代表整个格网单元高程时,即面栅格表达方式时,会产生 DEM 的地形表达误差。该类误差在每一格网上的值的大小与地面坡度正相关,坡度越大,其误差绝对值越大;同时,距离格网中心点的越近,误差值就越小;在每个格网单元上,该误差的空间分布可分为两个部分,上坡方向为负误差,下坡方向为正误差。格网单元内部地形的复杂程度直接影响该误差的空间分布。上述规律表明,在地形变化较为剧烈的位置,如陡坡、陡坎等处,地形表达误差的值较大,在较为平缓的部位,误差值则较小。

地形表达误差与格网尺寸紧密相关。一方面,随着格网尺寸的增大,格网内部的地形复杂程度增大,误差分布的复杂程度增大;另一方面,误差的最大值,中误差等也随着格网尺寸的增大而增大,并且

具有很强的相关关系,可以通过上述相关关系估计该误差大小;同时,无论格网尺度如何变化,上述关系都是存在的。

了解地形表达误差的本质与规律,有助于在实际生产和使用 DEM 时,理解和使用现行规范中关于误差的规定。在实际生产和应用中,需要注意根据应用目的,认真辨析两种 DEM 理解方式的差异,以避免在 DEM 的实际使用中出現偏差。

致谢:国家第一航测遥感院的王伟丽、王小燕、王劲、薛争光等同志对于本研究中基础数据获取,提供了很大的帮助,在此一并感谢。

参考文献(References)

- [1] Li Zhilin. A comparative study of the accuracy of digital terrain models (DTMs) Based on Various Data Models. [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1994, 49(1): 2-11
- [2] Wise Stephen. Assessing the quality for hydrological applications of digital elevation models derived from contours [J]. Hydrological Processes, 2000, 14(11-12): 1909-1929
- [3] Thompson James A, Bell Jay C, Butler Charles A. Digital elevation model resolution: effects on terrain attribute calculation and quantitative soil-landscape modeling [J]. Geoderma, 2001, 100(1-2): 67-89
- [4] 刘学军,卢华兴,仁政,等. 论 Dem 地形分析中的尺度问题 [J]. 地理研究, 2007, 26(03): 433-442 [Liu Xuejun, Lu Huaxing, Ren Zheng, et al. Scale issues in digital terrain analysis and terrain modeling [J]. Geographica Research, 2007, 26(03): 433-442]
- [5] Chang Kang-tsung, Tsai Bor-wen. The effect of DEM resolution on slope and aspect mapping [J]. Cartography and Geographic Information Systems, 1991, 18(1): 69-77
- [6] Wolock David M, Price Curtis V. Effects of digital elevation model map scale and data resolution on a topography-based watershed model [M]. Washington, DC: American Geophysical Union, 1994: 3041-3052
- [7] Gallant John C, Hutchinson Michael F. Scale dependence in terrain analysis [J]. Mathematics and Computers in Simulation, 1997, 43(3): 313-321
- [8] 汤国安,赵牡丹,曹茜. DEM 地形描述误差空间结构分析 [J]. 西北大学学报(自然科学版), 2000, 30(04): 349-352 [Tang Guoan, Zhao Mudan, Cao Han. An investigation of the spatial structure of DEM errors [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2000, 30(04): 349-352]
- [9] Erskine Robert H, Green Timothy R, Ramirez Jorge A, et al. Digital elevation accuracy and grid cell size: Effects on estimated terrain attributes [J]. Soil Science Society of America Journal, 2007, 71(4): 1371-1380
- [10] Zhang Weihua, Montgomery David R. Digital elevation model grid size, landscape representation, and hydrologic simulation [J]. Water Resources Research, 1994, 30(4): 1019-1028

- [11] Horritt M S , Bates P D. Effects of spatial resolution on a raster based model of flood flow [J]. *Journal of Hydrology* ,2001 ,253(1 -4) : 239 -249
- [12] Gertner George ,Wang Guangxing ,Fang Shoufan ,et al. Effect and uncertainty of digital elevation model spatial resolutions on predicting the topographical factor for soil loss estimation [J]. *Soil Conservation Society of America* ,2002 ,57(3) : 164 -174
- [13] Schoorl J M , Sonneveld M P W , Veldkamp A. Three-dimensional landscape process modelling: the effect of DEM resolution [J]. *Earth Surface Processes and Landforms* ,2000 ,25(9) : 1025 -1034
- [14] Wise Stephen. GIS data modelling-lessons from the analysis of DTMs [J]. *International Journal of Geographical Information Science* ,2000 ,14(4) : 313 -318
- [15] 周启鸣,刘学军. 数字地形分析 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 59 -60 [Zhou Qiming , Liu Xuejun. Digital terrain analysis [M]. Beijing: Science Press ,2006: 59 -60]
- [16] 国家测绘局. GB/T7931 -2008 1:500、1:1 000、1:2 000 地形图航空摄影测量外业规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [National Administration of Surveying and Mapping. GB/T7931 -2008 Sepcification for aerohootogrammetric field work of 1:500 , 1:1 000 ,1:2 000 topographic maps [S]. Beijing: Standards Press of China ,2008.]
- [17] 国家测绘局. GB/T 7930 -2008 1:500、1:1 000、1:2 000 地形图航空摄影测量内业规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [National Administration of Surveying and Mapping. GB/T 7930 -2008 Sepcification for aerohootogrammetric office operation of 1:500 ,1:1 000 ,1:2 000 topographic maps [S]. Beijing: Standards Press of China ,2008.]
- [18] 国家测绘局. CH/T9008.2 -2010 基础地理信息成果 1:500、1:1 000、1:2 000 数字高程模型 [S]. 北京: 测绘出版社, 2010. [National Administration of Surveying and Mapping. CH/T9008.2 -2010 Digital products of fundamental geographic information 1:500 ,1:1 000 ,1:2 000 digital elevation models [S]. Beijing: Surveying and Mapping Press ,2010.]
- [19] 国家测绘局. CH/T9009.2 -2010 基础地理信息成果 1:5 000、1:10 000、1:25 000、1:50 000、1:100 000 数字高程模型 [S]. 北京: 测绘出版社, 2010. [National Administration of Surveying and Mapping. CH/T9009.2 -2010 Digital products of fundamental geographic information 1:5 000 ,1:10 000 ,1:25 000 ,1:50 000 ,1:100 000 digital elevation models [S]. Beijing: Surveying and Mapping Press ,2010.]

Representation Error of Terrain Caused by GRID DEM

WANG Lei^{1,2} , LONG Yongqing¹ , YANG Qinke^{1,2}

(1. College of Urban and Environment , Northwest University , Xi'an , Shaanxi , 710127 , China;

2. Institute of Soil and Water Conservation , Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources , Yangling , Shaanxi 712100 , China)

Abstract: After analysis of terrain representation introduced by regular grid DEM , this research found that grid DEM could lead to representative errors in actual terrain and the deviation must be related closely to the size of grid. Within a GRID , errors generally consisted of two opposite parts. In the direction of upslope , the error was negative whereas positive in the downslope direction. With gradual increase in the size of GRID , a more complicated distribution of errors would be. In case of steeper slope , errors would grow along with increased distance from the center of the grid to any point inside the grid. The comparison between the data from DEMs with various grid sizes in Suide county generated by the full digital photogrammetry shows that the distribution of the errors within one GRID is closely related to the grid size. Especially in the area with complicated terrain , the more complicated the terrain , the bigger the absolute value of the errors is. So by analyzing the statistical characteristics of the error and the relationship between RMSE of the representation error and the grid size , the statistical characteristics of the error and RMSE of the errors could be estimated from the grid size. With the increasing of the grid size , the maximum value of the RMSE of the representation error and the error both rises and the mean value keeps constant. And whatever the base grid size is , RMSE of the errors could be calculated under the condition of the increase of the grid size. In summary , in the practical production and application of DEM , it is strongly advised that the attention should be focused on the distinguishing of the above mentioned representation errors of terrain and the RMSE of the DEMs defined by Chinese surveying and mapping standards hence to avoid making mistakes in the application of DEM.

Key words: Digital Elevation Models; Grid Size; Representation Error of Terrain