**基于熵值的城市路网方向分布度量与分析**

肖飞12，作者22，作者31，……(四号楷体，居中)

(1. 自然资源部信息中心，北京 100830；2. 自然资源部国土空间大数据工程技术创新中心，北京 100830)

摘要：(小五号黑体，缩进两格)摘要内容摘要内容摘要内容摘要内容摘要内容摘要内容摘要内容摘要内容摘要内容摘内容摘要内容摘要内容摘要内容摘要内容摘要内容摘要内容摘要内容……(小五号楷体)

【说明：摘要应具有独立性和自含性，即不阅读全文，就能获得必要的信息。要使用科学性文字和具体数据，不使用文学性修饰词；不使用图、表、参考文献、复杂的公式和复杂的化学式，非公知公用的符号或术语；不要加自我评价，如“该研究对…有广阔的应用前景”，“目前尚未见报道”等。摘要能否准确、具体、完整地概括原文的创新之处，将直接决定论文是否被收录、阅读和引用。摘要长度200～300字。摘要一律采用第三人称表述，不使用“本文”、“文章”、“作者”、“本研究”等作为主语。】

关键词：(小五号黑体，缩进两格)关键词；关键词；关键词；关键词(小五号楷体，全角分号隔开)

【说明：关键词是为了便于作文献索引和检索而选取的能反映论文主题概念的词或词组，每篇文章标注3～8个关键词，词与词之间用全角分号隔开。中文关键词尽量不用英文或西文符号。注意：关键词中至少有两个来自EI控词表。一般高校数字图书馆均可查到。】

中图分类号：(小五号黑体，缩进两格)**TM 344.1(小五号Times New Roman体，加粗)** 文献标志码：(小五号黑体，前空四格)**A(小五号Times New Roman体，加粗)**

1. 引言

交通是国土空间规划中需要重点考虑的基本问题之一，其中交通问题核心研究的对象是路网。城市道路网由城镇管辖范围内的各种不同功能的干道和区域性道路所组成，它是城市总体规划布局的骨架，同时作为一类重要的基础设施，也占用了大量的土地资源。2018年交通基础设施供地\*\*\*公顷，呈逐年上升趋势。2016年2月，中共中央、国务院发布的《关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》中指出，优化街区路网结构，解决交通路网布局问题，促进土地节约利用，为城市路网的优化提升提出了更高的要求。

城市道路网的形成和演化与当地政治、经济、文化、生活的息息相关，具有时间、空间、景观视觉、规模和连接性等多方面的复杂性[1]。由于随着复杂路网的建造开发会丢失其部分几何结构，所以很难定量的追踪和研究的其演化过程，进而难以对城市路网的规划和实施进行长周期的定量评估[2]。在城市路网的研究中，一般使用道路密度、可达性、连通性等定量指标作为分析依据，主要从网络理论方面对其性质进行研究，但无法反映城市路网的宏观形态和城市宏观的结构特性。

本文提出城市路网方位熵的概念，使用熵值作为指标对城市道路的方位角[6] 分布进行度量，对典型路网的方位熵进行分析，并以全国36个重点城市为例计算其方位熵，并创新地通过极坐标可视化展现道路方向分布的宏观情况，进而为国土空间规划和城市路网研究提供一种新的研究思路。

1. 研究思路与方法
   1. 路网建模

路网建模是对城市道路网络进行定量分析的基础。在对城市路网的建模中，一般将其视为二维的平面图[4]，用边表示道路，用结点表示道路的交叉点[5]，不允许边之间除交叉点以外的其他交叉。在建模过程中需要对实际采集的路网数据进行简化，为了对路网进行定量的分析，需要保留其地理、空间、度量等信息，例如道路长度、宽度和环路等特性，删除道路中与其拓扑结构无关的结点，只保留道路的终点和道路之间的交叉点。

路网模型的拓扑结构经过简化后，构成一个无向图[7] 。在同一个路段只保留起止两点，忽略道路中间的局部弯曲，用道路两个端点连成直线的方位角作为该路段的方位角。例如，图1是北京西单附近路网的原始模型和拓扑简化后的模型。拓扑简化还能够显著减少路网的计算复杂度，由于简化后可认为道路是双向的，可以根据一个方向的方位角计算其反向的方位角：

其中表示从节点*u*到*v*的路段，表示边的方位角。



(a)西单附近500米的路网模型 (b)拓扑简化后的路网模型

图1 路网模型及拓扑简化

* 1. 信息熵

在信息论中，使用信息熵来度量接收的每条消息中包含的平均信息量[3]。从概率论的角度看，随机事件的概率分布和每个随机事件的信息量构成了一个随机变量，这个随机变量的数学期望就是该事件的信息熵。通俗的讲，信息熵作为一个指标可以很好地度量某种不确定性。信息熵的定义如下：

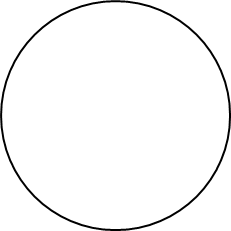
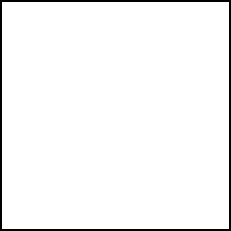
其中，离散随机变量*X*可能取值范围为，*n*为样本总数，为离散事件的概率质量函数，*b*为底数。常用的底数常量有2和e，分别对应信息熵的单位为比特和纳特。

1. 方位熵

方位熵是反应城市道路方向布局离散程度的指标。计算方位熵，首先需要计算每条道路方位角，并对方位角进行统计分箱，计算频数，然后将方位角视作离散变量，按照信息熵的定义计算熵值。按照Boeing[7] 的公式，定义方位熵为：

其中，*n*为分箱的总量，*i*代表分箱的序号，为落入第*i*箱的方位角的比例。方位熵的单位是纳特（nats）。

根据方位熵的计算公示，我们可以得出其取值区间。当道路方位角均匀分布时，方位熵取最大值=3.584 nats。理论上当道路方位角全部集中在一个分箱时，方位熵的最小值为0。但是由于简化后的路网拓扑为无向图，任意一个分箱都会存在一个与其互为反向的分箱，箱内的频数完全一样，例如只存在正南、正北的道路时，方向熵取得实际的最小值=0.693 nats。事实上，真实的城市路网不可能只存在正南、正北的道路，而更多可能由南北、东西两类道路构成的网格状路网。理想网格路网的方位熵为=1.386 nats。

(a)正36边形的方位熵  (b)正南、正北道路的方位熵 (c)网格道路的方位熵

=3.584 nats =0.693 nats =1.386 nats

图2 几种典型路网的方位熵

1. 实验
   1. 数据来源

为了度量和分析城市路网，选取了全国36个重点城市作为试点，计算并分析方位熵。实验数据来自从OpenStreetMap地图服务爬取的36个重点城市路网数据，并以OSMnx[5]作为分析工具计算路网的方位熵。OSMnx是一套基于Python的路网分析工具，能够方便用户进行数据下载和路网分析工作。它主要提供五个主要的功能，一是按需实现行政区边界、建筑物和高程等数据的自动下载，二是自动下载和构建城市路网数据，三是纠正和简化路网拓扑，四是将路网数据保存到磁盘并从磁盘读取该数据，五是内置多种路网分析方法，并提供路由计算、坐标映射和路网可视化等功能。

* 1. 方位角计算

在获取了一条道路的端点后，需要根据两点的经纬度坐标计算道路的方位角。计算公式[8]如下：

其中两点的经纬度坐标为*u=（ulat, ulng）*和*v=(vlat, vlng)*。然后将以弧度表示的原始方位角转化用角度表示，并按照如下公式将计算结果进行规范化：

规范化后的方位角取值区间在0°到360°之间。

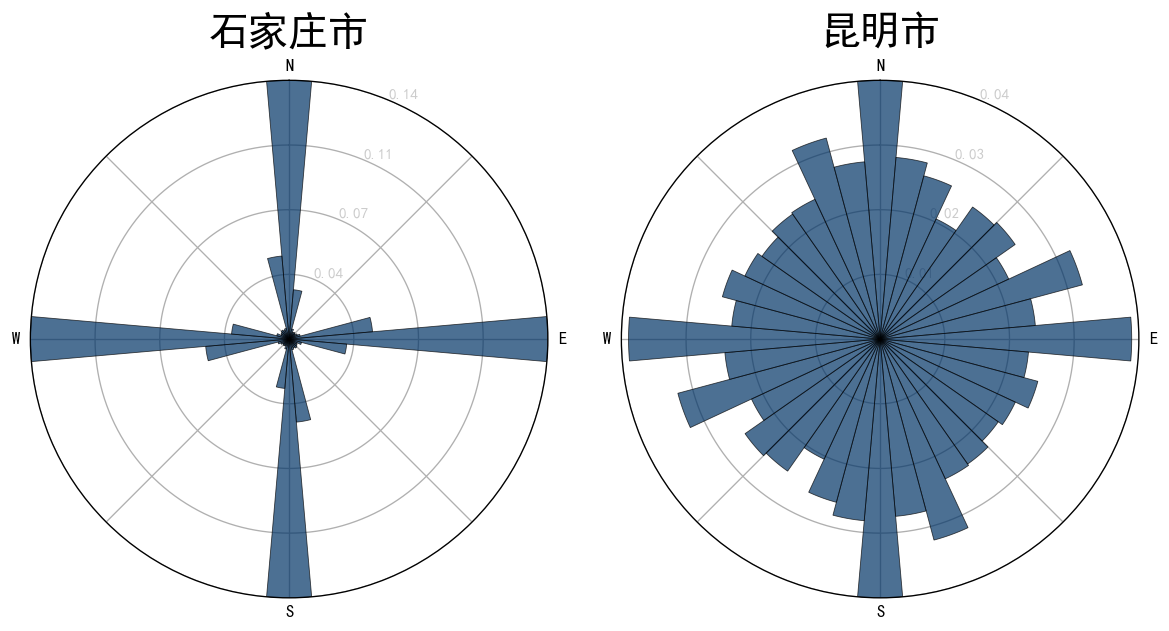
* 1. 分组统计

在对城市路网的方位角进行分组统计时，为了避免组间的边缘效应，需要对分组进行加密，并且对分组整体向右进行循环移动后再进行合并，将355°~360°与0°~5°合并为一组，这样可以保证0.01°和359.99°分到同一个组，处理后的分组依次为355°~5°、5°~15°、15°~25°……345°~355°。

将每个城市路网的方位角从小到大依次排列，分别放入对应的组。总设置36个组，组距为10°。

* 1. 可视化

为了更好地对城市路网方位分布以及方位熵进行可视化展现，我们使用极坐标柱状图来展示每个城市路网分组统计的结果。极坐标的旋转角度表示每组方位角的角度，柱状图的高度表示每组频数的大小。每个极坐标柱状图中分为36个组，对应



**(图题使用小五号黑体，居中，列于图下)**

【说明：

1) 插图要精选，应具有自明性，切忌与表及文字表述重复。一般不超过6幅。

2) 插图要精心设计和绘制，要大小适中，线条均匀，主辅线分明。插图中文字与符号均应植字，缩尺后字的大小以处于六号或小五号为宜。

3) 插图中的术语、符号、单位等应与表格及文字表述所用的一致。

4) 插图应有以阿拉伯数字连续编号的图序(如仅有1个图，可定名为“图1”)和图题，居中排于图下。

5) 函数图要有标目，用量符号与该量单位符号之比表示，如“p / MPa”；标线数目3～7个；标线刻度朝向图内；标值圆整，一般采用0.1 n, 0.2 n, 0.5 n和1 n, 2 n, 5 n以及10 n, 20 n, 30 n, 50 n(n＝1,2,3,…)较好，不要把实验数据点直接拿来作为标值，如可将0.385, 0.770, 1.155,…改为0.4, 0.8, 1.2,…,将62.5, 78.3, 101.4,…改为60, 80, 100,…，并相应平移标值线(当然图面内的数据点或曲线不能变动)。标值的数字一般不应超过3个数位，或小数点后面不超过1个“0”。为此，可通过改用标目中单位的词头或量符号前的因数来保证标值的数值尽可能处在0.1～1 000。例如：

某图上标值是1 200, 1 400,…，标目为p / Pa，则可将标目改为p / kPa，相应地标值即改成1.2, 1.4,…。某图上标值是0.005, 0.010, 0.015,…，标目为R，则可将标目改为103R，相应地标值即改成5, 10,15, …。

6) 照片、灰度图清晰，彩色图要转换成黑白图表示。

7) 地图、显微图以比例尺表示尺度的放大和缩小。】

**4 表格(表题使用小五号黑体，居中，列于表上)**

【说明：

1) 表格要精选，应具有自明性；表格的内容切忌与插图及文字表述重复。

2) 表格应精心设计。为使表格的结构简洁，建议采用三线表，必要时可加辅助线。

3) 表格应有以阿拉伯数字连续编号的表序(如仅有1个表格，表序可定名为“表1”)和简明的表题，居中排于表格的上方。

4) 数值表格采用三线表，表头中使用“量符号/量单位”。如表1所示。

表1 三线表示例

|  |  |
| --- | --- |
| *x*/cm *I*/mA | *v*/(m·s-1) *h*/m |
| 10 30 | 2.5 400 |
| 12 34 | 3.0 700 |

5) 表内同一栏的数字必须上下对齐。表内不宜用“同上”、“同左”、“，，”和类似词，一律填入具体数字或文字。表内“空白”代表未测或无此项，“－”或“…”(因“－”可能与代表阴性反应相混)代表未发现，“0”代表实测结果确为零。】

**5 结论(结语)**

【说明：

1) 结论或结语应准确、简明、完整、有条理，可以提出建议、设想、改进意见或有待解决的问题

2) 结论是在文章结尾时对文章的论点、结果进行的归纳与总结。当从研究结果确实得出了有重要价值的创新性结论，或者对相同论题的研究得出与别人不同或相反的结论时，应采用“结论”作层次标题。

3) 当未得出明确的研究结论，或结论已在“结果与讨论”中表述，而同时需要对全文内容有一个概括性总结或进一步说明时，尤其是要对文章已解决和有待研究的问题表达作者的某些主观见解或看法时，用“结语”。

4) 文章结尾时如果不能导出条理性结论，则可写成结语进行必要的讨论，文中已有分步结论的可不再在文章结尾处写出结论。

5) 结论或结语中不能出现参考文献序号、插图及数学公式。】

**参考文献：(五号宋体，加粗，顶格)**

1. Boeing G. Measuring the Complexity of Urban Form and Design[J]. Social Science Electronic Publishing, 2017.
2. Gudmundsson A , Mohajeri N . Entropy and order in urban street networks[J]. Scientific Reports, 2013, 3.
3. Shannon C E . A mathematical theory of communication[J]. Bell Labs Technical Journal, 1948, 27(4):379-423.
4. 维基百科. Planar graph. https://en.wikipedia.org/wiki/Planar\_graph.
5. Boeing, Geoff. OSMnx: New methods for acquiring, constructing, analyzing, and visualizing complex street networks[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2017, 65:126-139.
6. 维基百科. Azimuth. https://en.wikipedia.org/wiki/Azimuth.
7. Boeing G . Urban Spatial Order: Street Network Orientation, Configuration, and Entropy[J]. Social Science Electronic Publishing, 2018.
8. Fred Zahradnik. Definition of Bearing in GPS Navigation. https://www.lifewire.com/what-is-bearing-in-gps-1683320.

[1] 期刊——作者. 题名[文献类型标志]. 刊名, 出版年, 卷(期): 起-止页码.(不要缺少页码). (小五号宋体，缩进两格；序号使用“[]”，和内容间空半格；内容中标点符号均使用半角，后空半格)

[2] 专著——作者. 书名[文献类型标志]. 版本. 出版地: 出版者, 出版年.(出版地和出版者必须有一个)

[3] 专著中的析出文献——析出文献作者. 析出文献题名[文献类型标志]∥专著作者. 专著题名. 版本. 出版地: 出版者, 出版年: 析出文献的页码.(出版地和出版者必须有一个)

[4] 专利文献——专利申请者. 专利题名: 专利国别, 专利号[文献类型标志]. 公告日期或公开日期.

[5] 电子文献——作者. 题: 其他题名信息[文献类型标志/文献载体标志]. 出版地: 出版者, 出版年(更新或修改日期)[引用日期]. 获取和访问路径.

【说明：(详见GB/T 7714-2005《文后参考文献著录规则》)

1) 参考文献应是文中直接引用的公开出版物，以15篇以上为宜，其中80%应为期刊或会议论文，80%以上为近5年出版的文献，50%以上为外文文献(若是会议论文集析出文献，必须要有会议名称、论文集的出版地、出版者、出版年、析出文献的起止页码)。

2) 参考文献采用顺序编码制，按文中出现的先后顺序编号，并在正文中指明其标引处。

3) 中外作者的姓名一律“姓前名后”。西方作者的名字部分缩写，不加缩写点且姓名全大写。

4) 作者不超过3人的姓名都写，超过3人的，余者写“，等”或“, et al”。

5) 非英文期刊文献，先按原文列出该文献，然后另起一行附上其英文译文。】

参考文献类型标识

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 参考文献类型 | 普通图书 | 会议录 | 编汇 | 报纸 | 期刊 | 学位论文 | 报告 | 标准 | 专利 | 数据库 | 计算机程序 | 电子公告 |
| 文献类型标识 | M | C | G | N | J | D | R | S | P | DB | CP | EB |

英文标题、作者、单位、摘要、关键词参考下面模式

**Trends of development of analytical technique for protein(四号Times New Roman体，加粗)**

WEI Qin1,2, WU Dan2, ZHANG Xu-zhen2, LI Chao2, WANG Ke-liang(五号Times New Roman体)

(1. Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, P.R.China; 2. School of Chemistry and Chemical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, P.R.China)(小五号Times New Roman体)

**Abstract:** **(小五号Times New Roman体，加粗)**The study of quantitative protein is very important and valuable in biochemical and clinical test as well as food test. In this paper, a review on the quantitative analysis of protein is presented in details, pertaining especially to the determination of protein and their applications using spectrophotometer method, fluorescent method and resonance Raleigh scattering method. Moreover, many important reaction systems and their analytical characteristics are displayed in the tables in order to keep this paper for reference. (小五号Times New Roman体)

**Key words: (小五号Times New Roman体，加粗)**protein; quantitativedetermination; spectrophotometer method; fluorescent method(小五号Times New Roman体)

【说明：英文摘要(100～150 words)须与中文摘要相对应，摘要应回答好以下4方面问题：1) What you want to do(直接写出研究目的，可缺省)；2) How you did it(详细陈述过程和方法)；3) What results did you get and what conclusions can you draw(全面罗列结果和结论)；4) What is original in your paper(通过2)和3)两方面内容展示文中创新之处)。

1) 首句不得简单重复题名中已有的信息；

2) 用过去时态叙述作者工作，用现在时态叙述作者结论；

3) 文摘中的缩写名称在第一次出现时要有全称；

4) 文摘中尽量少用特殊字符；

5) 用重要的事实开头，尽可能避免用辅助从句开头，例如：

用Power consumption of telephone suitching systems was determined from data obtained experimentally.

6) 避免使用动词的名词形式。例如：

正：“Thickness of plastic sheet was measured”；误：“measurement of thickness of plastic sheet was made”

7) 正确地使用冠词，既应避免多加冠词，也应避免蹩脚地省略冠词。例如：

正：“Pressure is a function of the temperature”；误：“The pressure is a function of the temperature”；

8) 避免使用长的、连串的形容词、名词、或形容词加名词，来修饰名词。可使用介词短语，或用连字符连接名词词组中的名词，形成修饰单元。

9) 尽量用主动语态代替被动语态，如：A exceeds B比B is exceeded by A好。

10) 构成句子时，动词应靠近主语。

“When the pigment was dissolved in dioxane, decolorization was irreversible, after 10 hr of UV irradiation.”

11) 能用名词做定语不要用动名词做定语，例如：

用measurement accuracy，不用measuring accuracy

12) 可直接用名词或名词短语做定语的情况下，要少用of句型，例如：

用measurement accur不用accuracy of measurement

13) 可用动词的情况尽量避免用动词的名词形式，例如：

用Thickness of plastic sheet was measured.；不用Measurement of thickness of plastic sheet was made.】