

指标含义	article排序	gist排序
所有注视点总注视时间	1	4
该兴趣区的所有注视点个数	2	3
注视该兴趣区次数 (注视点落入后离开算注视一次)	3	6
第一遍进入兴趣区到离开的所有注视点时间之和	4	11
该兴趣区阅读遍数	5	5
第一遍阅读这个兴趣区的注视点个数	6	8
最后一次进入兴趣区的注视次数	7	1
最后一次进入兴趣区的总时间	8	2
第三遍阅读这个兴趣区的注视点个数	9	7
从第三次进入兴趣区到离开所有注视点时间之和	10	10
第二遍阅读这个兴趣区的注视点个数	11	9
从第二次进入兴趣区到离开所有注视点时间之和	12	12
第一个注视点的注视时间	13	14
第三个注视点的注视时间	14	13
第二个注视点的注视时间	15	16
最后一个注视点的注视时间	16	15

表 4: 眼动指标两阶段排序

的时间和注视点个数较多, 说明被试在该小句上花费的时间较久, 则可认为此句包含较重要的事件信息的可能性更大。第一遍阅读属于前期加工指标, 反映了被试对于信息的预处理情况。这个结果也反映了被试在信息的预处理阶段就可以大致分辨出句群中的关键信息。在 *gist* 阶段, 被试需要在阅读后总结主旨, 此时最后一遍阅读相关文本的信息较为重要。在人的阅读行为中, 涉及较长文本的语篇时, 被试需要首先通读全文, 然后找到包含主旨信息的小句着重阅读, 提取主要信息。这些认知过程则直接反应在最后一遍阅读行为上, 在关键信息句上可能会多次阅读。同时该指标也属于后期加工指标 (Clifton Jr et al., 2007), 反映了人对于信息的重加工处理, 被试经过前期加工处理得到大致的主旨信息范围后, 再通过重加工以确定主旨小句。所以 *gist* 阶段的指标重要性排序也有较好的解释。

另外, 值得注意的是, 回视相关的指标是篇章理解过程的重要标志, 在 *article* 阶段, 第一遍阅读重要性相比第二、三遍阅读重要性更高, 在 *gist* 阶段, 最后一遍阅读重要性最高。最后一遍实际上指代的可能是第四或者第五甚至更多遍, 这反映了 *gist* 阶段对于兴趣区的回视次数多于 *article* 阶段。在心理学研究中, 阅读次数的增加有利于理解准确率的增加 (Schotter et al., 2014), 所以可以认为 *gist* 阶段被试对于句群的理解要好于 *article* 阶段, 这也从认知机理的角度提供了实验三中 *gist* 阶段的准确率要高于 *article* 阶段的原因。

最后, 对于重要性排序较为靠后的指标, *article* 和 *gist* 重合度较高, 例如第一个, 第二个, 第三个和最后一个注视点的注视时间等指标都较为靠后, 关于阅读兴趣区的注视点特性并不能和该句的重要性产生直接关联, 在阅读过程中, 上述几个指标的注视点都处于阅读的小句内部, 小句内部的注视点更可能反应的是小句内部的字或词语级别细粒度的信息重要程度, 例如小句内部不同字或词语对于该小句的重要性, 不能够反映小句对于整个语篇的重要性。实际上, 在心理学研究中, 以次为单位的注视时间是衡量以字或词为兴趣区的眼动指标, 而以遍为单位的注视时间则是衡量以短语或者句子为兴趣区的眼动指标 (朱滢, 2000)。对于不同细粒度而言, 研究者的研究重点是不同的, 像只有一个字或词的兴趣区, 研究者更关注于语言特征和词汇通达, 而对于包含短语或者小句的较大兴趣区而言, 研究者则关注词语的逻辑分析和句法的结构判断。重要性较低的指标启发我们对于句群的主旨信息提取而言, 人的认知过程是建立在 PCS 层小句为单位上的, 小句内部的眼动数据在此细粒度上不能够发挥作用。

图 4 给出了 *article* 和 *gist* 两个阶段的指标权重分布可视化情况。图中分为上下两部分, 分别为 16 列 5 行的像素矩阵, 5 行代表着随机选择的 PCS 层次片段, 16 列代表着 16 个指标, 矩阵中的颜色越深代表该特征越重要, 即特征重要性和矩阵块颜色深浅成正比。在图中可以看到, 对于 *article* 阶段而言, 整体的颜色分布大致为前六个左右较为深, 即总注视时间和次数以及第一遍相关的指标重要性较强, 第二、三注视时间的相关指标颜色最浅。对于 *gist* 阶段而言最后一

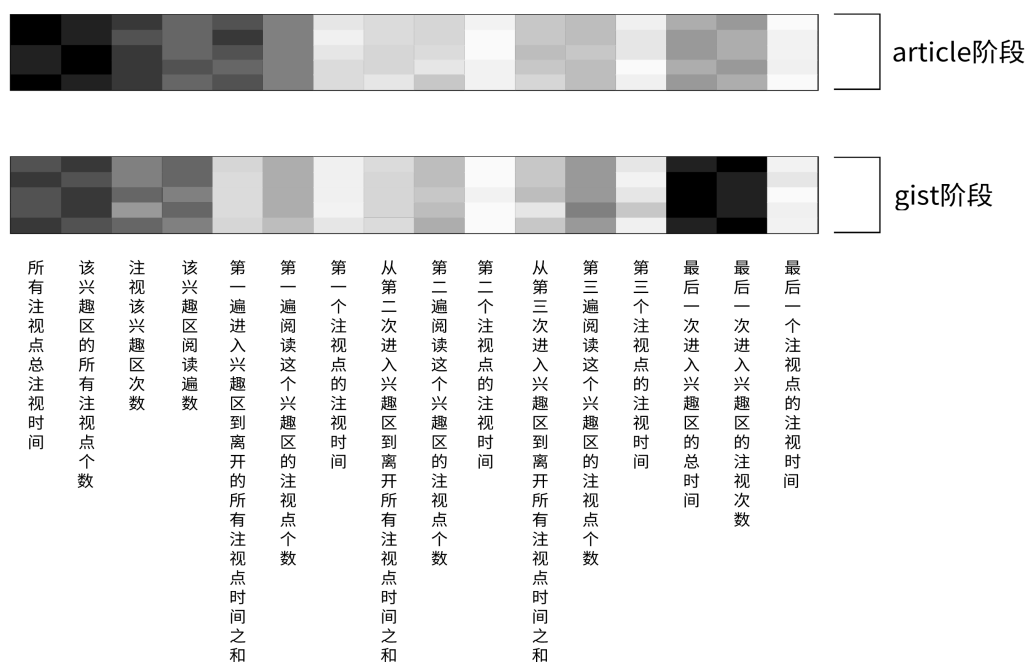


图 4: 不同阶段指标分布比较

次进入兴趣区以及总时间时间次数相关的指标颜色最深，重要性最强，同时颜色较深和颜色较浅的区域也和 *article* 阶段的区域有部分重合，也反映了两个阶段的相似性和相异性。该结果展示了两个阶段的指标不同显著性分布，凸显了自由阅读和主旨归纳阅读过程的眼动特征，也更加直观地感受到主旨归纳实际上更注重文本后期加工，以及两个阶段的重要指标从前期加工到后期加工的过渡。明确了主旨提取任务中的眼动模式。

5 结语

该文从眼动数据出发，结合人工主旨结构标注数据，验证了通过眼动数据建立主旨信息判断计算模型的可行性。

从线性到非线性的实验中可以看到眼动注视数据的复杂性，其更适合用非线性方法去处理和建模。在区分被试的实验中看到了不同被试的阅读水平有一定的差异性，对于主旨信息的理解也有一定的差别，高阅读水平的被试更有可能提取出更精确的信息。在最后的自由阅读和主旨归纳两个不同的阅读状态分析中，两个阶段的共同性和差异性反应出人在提取主旨信息时候的认知过程，并且此认知过程能够在眼动数据中找到支撑。

最终经过上述过程得到了0.76左右的PCS小句分类准确率，并且指标分析也有一定的认知解释，给出了主旨提取过程的眼动模式。据此可以知道对于文本主旨概括研究而言，结合眼动数据分析是一个可行的方法。未来从词语等不同的细粒度角度或者眼跳等不同的眼动模式角度分析处理眼动数据指标也是很重要的课题，同时对眼动数据的深度挖掘，结合文本语义模型构成多模态模型也是可以研究的方向。

致谢

论文工作得到国家自然科学基金重点项目61433018资助。中科院心理所博士生李琳主持完成了相关眼动数据收集和整理，中央民族大学4名本科生协助完成了相应短讯句群的主旨结构分析标注，在此一并表示感谢。

参考文献

- Hervé Abdi. 2007. Z-scores. *Encyclopedia of measurement and statistics*, 3:1055–1058.
- Irene Ablinger, Walter Huber, and Ralph Radach. 2014. Eye movement analyses indicate the underlying reading strategy in the recovery of lexical readers. *Aphasiology*, 28(6):640–657.
- Charles Clifton Jr, Adrian Staub, and Keith Rayner. 2007. Eye movements in reading words and sentences. In *Eye movements*, pages 341–371. Elsevier.
- Isabelle Guyon, Jason Weston, Stephen Barnhill, and Vladimir Vapnik. 2002. Gene selection for cancer classification using support vector machines. *Machine learning*, 46(1-3):389–422.
- John M Henderson and Fernanda Ferreira. 1990. Effects of foveal processing difficulty on the perceptual span in reading: Implications for attention and eye movement control. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16(3):417.
- Jukka Hyönä and Robert F Lorch. 2004. Effects of topic headings on text processing: Evidence from adult readers' eye fixation patterns. *Learning and instruction*, 14(2):131–152.
- Jukka Hyönä, Robert F Lorch Jr, and Johanna K Kaakinen. 2002. Individual differences in reading to summarize expository text: Evidence from eye fixation patterns. *Journal of Educational Psychology*, 94(1):44.
- Zhenchao Jiang, Lishuang Li, and Degen Huang. 2016. A general protein-protein interaction extraction architecture based on word representation and feature selection. *International Journal of Data Mining and Bioinformatics*, 14(3):276–291.
- Johanna K Kaakinen and Jukka Hyönä. 2010. Task effects on eye movements during reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36(6):1561.
- Francis Quintal Lauzon. 2012. An introduction to deep learning. In *2012 11th International Conference on Information Science, Signal Processing and their Applications (ISSPA)*, pages 1438–1439. IEEE.
- Joseph Lee Rodgers and W Alan Nicewander. 1988. Thirteen ways to look at the correlation coefficient. *The American Statistician*, 42(1):59–66.
- Quanzhong Liu, Chihau Chen, Yang Zhang, and Zhengguo Hu. 2011. Feature selection for support vector machines with rbf kernel. *Artificial Intelligence Review*, 36(2):99–115.
- Ya Lou, Yanping Liu, Johanna K Kaakinen, and Xingshan Li. 2017. Using support vector machines to identify literacy skills: Evidence from eye movements. *Behavior research methods*, 49(3):887–895.
- Olvi L Mangasarian and Gang Kou. 2007. Feature selection for nonlinear kernel support vector machines. In *Seventh IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW 2007)*, pages 231–236. IEEE.
- Christoph Molnar. 2020. *Interpretable Machine Learning*. Lulu. com.
- Mohamad T Musavi, Wahid Ahmed, Khue Hiang Chan, Kathleen B Faris, and Donald M Hummels. 1992. On the training of radial basis function classifiers. *Neural networks*, 5(4):595–603.
- Alexander Pollatsek, Keith Rayner, and David A Balota. 1986. Inferences about eye movement control from the perceptual span in reading. *Perception & Psychophysics*, 40(2):123–130.
- Keith Rayner, Jinmian Yang, Monica S Castelhana, and Simon P Liversedge. 2011. Eye movements of older and younger readers when reading disappearing text. *Psychology and aging*, 26(1):214.
- Keith Rayner. 1979. Eye guidance in reading: Fixation locations within words. *Perception*, 8(1):21–30.
- Erik D Reichle, Andrew E Reineberg, and Jonathan W Schooler. 2010. Eye movements during mindless reading. *Psychological science*, 21(9):1300–1310.
- SR Research. 2010. Eyelink 1000 user's manual, version 1.5. 2.
- Elizabeth R Schotter, Randy Tran, and Keith Rayner. 2014. Don't believe what you read (only once) comprehension is supported by regressions during reading. *Psychological science*, 25(6):1218–1226.

- Johan AK Suykens and Joos Vandewalle. 1999. Least squares support vector machine classifiers. *Neural processing letters*, 9(3):293–300.
- Jiehang Xie, Xiaoming Wang, Xinyan Wang, Guangyao Pang, and Xueyang Qin. 2019. An eye-tracking attention based model for abstractive text headline. *Cognitive Systems Research*, 58:253–264.
- Yangtao Xue, Li Zhang, Bangjun Wang, Zhao Zhang, and Fanzhang Li. 2018. Nonlinear feature selection using gaussian kernel svm-rfe for fault diagnosis. *Applied Intelligence*, 48(10):3306–3331.
- 吴为章. 2000. 汉语句群. 商务印书馆.
- 周强. 2019. 微博短讯的主旨结构分析和质量检控研究. 清华大学信息技术研究院语音和语言技术中心技术报告, TH-RIIT-CSLT-TR20190809.
- 朱滢. 2000. 实验心理学. *MJ*. 北京大学出版社, 2004 年, 7.
- 李航. 2019. 统计学习方法第二版.
- 闫国利, 熊建萍, 臧传丽, 余莉莉, 崔磊, and 白学军. 2013. 阅读研究中的主要眼动指标评述. *心理科学进展*, 21(4):589–605.