

# 不同分辨率下风场的数值模拟仿真研究

蒋立辉<sup>1,2</sup>, 王 斌<sup>1</sup>, 庄子波<sup>1</sup>, 姚 彬<sup>3</sup>

(1. 中国民航大学 民航气象研究所, 天津 300300;

2. 中国民航大学 智能信号与图像处理天津市重点实验室, 天津 300300;

3. 总参通信训练基地, 北京 102400)

**摘 要:**文中利用新一代中小尺度数值预报模式 WRF 模式, 针对发生在广州白云机场附近的一次风切变过程进行了数值模拟。模拟中采用四层嵌套的方式, 在物理过程方案等参数完全一致的情况下, 研究只有水平分辨率的不同对风场模拟效果造成的影响。实验中分别采用了 9km、3km、1km 和 0.33km 的水平分辨率, 分别从水平风场和垂直风场两个角度对模拟效果的不同进行了对比分析, 结果表明水平分辨率不同的模拟结果中风场的分布和变化趋势是一致的, 但较高的分辨率对风场的模拟更加细致; 当水平分辨率高于 1km 及其以上时, 可以模拟出水平风场的细微变化; 随着高度的增加, 分辨率的不同对水平风场的模拟结果影响减小; 水平分辨率的提高使模拟结果中垂直风场的变化更加剧烈, 垂直气压场的变化幅度更大。

**关键词:**数值模拟; WRF 模式; 分辨率; 风场

**中图分类号:** TP391.9

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2012)05-0180-05

## Numerical Simulation of Wind Field with Different Horizontal Resolution

JIANG Li-hui<sup>1,2</sup>, WANG Bin<sup>1</sup>, ZHUANG Zi-bo<sup>1</sup>, YAO Bin<sup>3</sup>

(1. Civil Aviation Meteorological Institute, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China;

2. Intelligent Signal and Image Processing Laboratory, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China;

3. Communication Training Base of General Staff Headquarters, Beijing 102400, China)

**Abstract:** The new generation mesoscale and microscale numerical simulation system, weather research and forecast (WRF) model is used to simulate the wind field over the area of Guangzhou Baiyun airport on Jul 21 2005, when it had windshear reported there. With the method of four domains nesting, the differences in the simulation result lead by the different horizontal resolutions are analyzed when the other parameters, such as the physics process parameters, are all the same. In the experiment, the horizontal resolutions 9km, 3km, 1km, 0.33km are tested, and the wind field is studied at the horizontal and vertical sections. Despite the difference of resolutions, the distribution of the wind speed and direction are similar. But it is described more exhaustive when the resolution is increased. The simulation result with more than 1km horizontal resolution could describe the particular changes in the horizontal wind field which could not be found in the 3km and 9km resolution results. The vertical wind speed is appeared in some level when the resolution is more the 3km, with the isoclines of pressure changing more tempestuously.

**Key words:** numerical simulation; WRF mode; horizontal resolution; wind field

## 0 引言

风场的模拟仿真研究有十分重要的意义。苑海燕<sup>[1]</sup>等人用 WRF 模式对“神州六号”飞船主着陆场的风场及其影响系统作了模拟研究, 提供了一种主着陆场风场预报的新方法; 孙宁<sup>[2]</sup>的研究表明仅用 WRF

模式风场资料就可以清楚地揭示降水的中尺度特征; 中小尺度风场的模拟可以改善风能的应用, 提高风能发电的效率<sup>[3]</sup>。

WRF 模式是新一代中小尺度数值预报模式, 使天气预报和大气模拟研究得到了长足的发展, 并成为风场的仿真研究的重要数值模式。王澄海<sup>[4]</sup>等人的研究表明 WRF 在风场的模拟上具有较好的性能; Daran L. Rife<sup>[5-7]</sup>等人的研究表明 WRF 模式可以有效地模拟中尺度风场的时空变化特征。

分辨率的不同直接影响到模拟仿真结果的优劣。

收稿日期: 2011-10-27; 修回日期: 2012-01-30

基金项目: 国家自然科学基金(41075013); 中央高校基金(ZXH2010D020)

作者简介: 蒋立辉(1964-), 男, 博士, 研究方向为民航气象、图像识别。

Myrto Valari<sup>[8]</sup>等人针对大气输送模式的实验表明分辨率的提高可以使模拟结果更接近实际,但也增加了噪声和对特定物质的敏感程度;Rosa Salvador<sup>[9]</sup>等人利用中尺度数值模式 RAMS 研究复杂地形下分辨率的选择方法,研究结果表明当分辨率高于 2km 时,风场会显示出低分辨率下所没有的一些小尺度特征;张宇<sup>[10]</sup>等人利用中尺度大气数值模式 ARPS 研究水平分辨率的提高对天气过程模拟的影响,结果表明这种影响对不同的气象要素强弱有所不同,但随着分辨率的提高模拟结果的可信度降低;吕光辉<sup>[11]</sup>等利用 WRF 模式在不同分辨率下针对新疆异常降水事件进行了模拟,结果表明水平和垂直分辨率的提高使模式的模拟能力显著提高。研究 WRF 模式在不同分辨率下对风场的模拟效果是十分必要的,为此,文中利用 WRF 模式,使用嵌套的方法,在各种分辨率下采用同样的初始场和物理过程参数化方案,研究不同分辨率对风场模拟仿真效果的影响。

1 模拟方案

模式采用的初始场是由美国国家环境预报中心(NCEP)提供的 1.0 度 \* 1.0 度的每 6 小时提供一次的全球再分析数据(NCEP FNL),对 2005 年 7 月 21 日 UTC00 时 ~ UTC18 时的天气过程进行了模拟,在这段时间内,广州白云机场上空由中尺度对流云团引起轻度低空风切变,并伴有强的飞机颠簸<sup>[12]</sup>。模拟区域的中心为白云机场(23. 17N 113. 28E),采用四层嵌套,嵌套区域及各层参数如图 1 和表 1 所示。

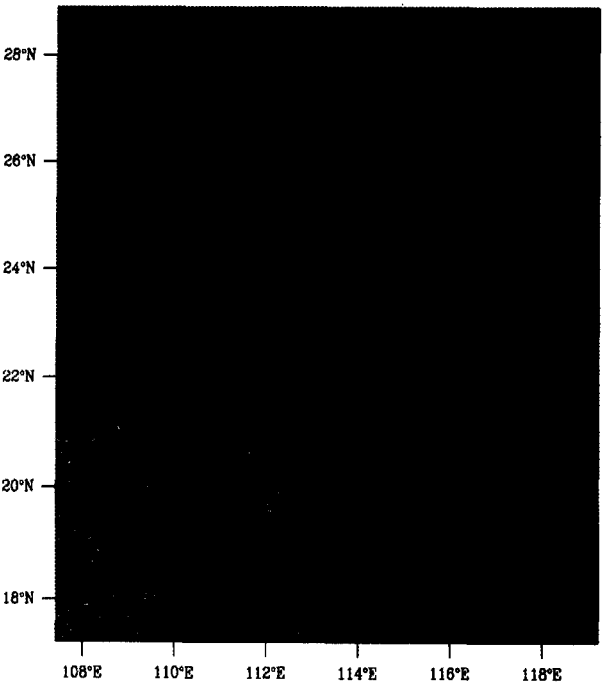


图 1 嵌套区域设置

表 1 各区域参数设置

区域	水平分辨率(m)	网格设置	积分步长(s)
D01	9000	151×151	54
D02	3000	184×184	18
D03	1000	244×244	6
D04	333.3	310×310	1

在模拟过程中,嵌套各层因水平分辨率的不同,引起积分步长的不同,除此之外,各层的物理过程参数化方案设置、初始场以及下垫面设置均相同,设置如表 2 所示。

表 2 物理过程方案设置

microphysics option	Lin et al. scheme
Longwave radiation option	rrtm scheme
shortwave radiation option	Dudhia scheme
surface-layer option	Monin-Obukhov scheme
land-surface option	Unified Noah land - surface model
boundary-layer option	YSU scheme
cumulus option	Grell - Devenyi ensemble scheme

2 仿真结果分析

在模拟方案中,四层嵌套的每一层分辨率都是不一样的,要分析分辨率的变化对风场模拟的影响,只需将每一嵌套层风场的模拟效果加以对比分析。为此,文中主要从水平和垂直两个角度对风场的模拟效果进行了对比。

2.1 水平风场

2005 年 7 月 21 日 UTC08:30 时,华南沿海地区正处于两个趋势相向的风场交接线区域,如图 2,模拟的第一层区域,颜色代表地形高度,箭头代表风矢量。海面上有风速较大的西南风,在陆地上,华南地区东部主要刮南风,而在西部主要刮北风,在中部地区两个风场的干扰下,气流呈逆时针旋转,而广州地区位于旋转气流的南部,即将被强劲的西南风占领,此时风场变化剧烈,比较复杂。

在以上风场的大背景下,研究水平风场模拟效果对分辨率的敏感性,我们分别选取了近地面 10m 风场、中低空 900m 风场以及高空 3000m 风场作为比较分析的对象。

在图 3 中分别截取了 D01, D02, D03 中与整个 D04 区域同样大小的范围,并显示了近地面 10m 风场在这个区域的分布情况。D04 为以广州为中心的边界长约 100 公里的矩形区域,经度范围为 112. 4E ~ 113. 4E,纬度范围为 22. 4N ~ 23. 3N,风向以西南风为主,

但风速较小。比较从 D01 到 D04 的模拟效果,地形的边缘逐渐清晰,并且从 D03 和 D04 中可以明显的看出风向受到地形影响发生的变化,在 D01 和 D02 中这种变化不明显。由此说明,在地形并不复杂的情况下,只有分辨率达到 1000m 以上时,才能模拟出地形对水平风场的影响。

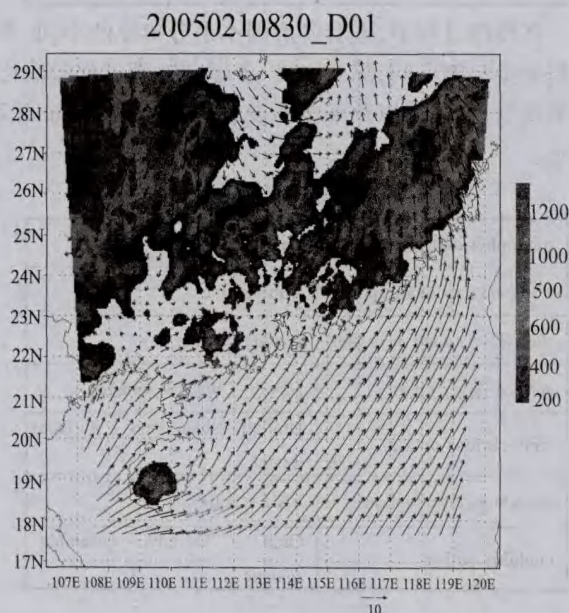


图 2 D01 区域的水平风场

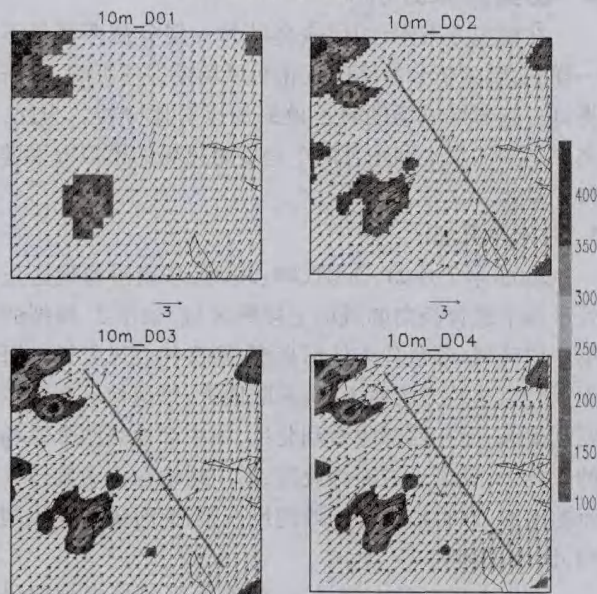


图 3 与 D04 区域大小相同的各个区域的 10m 水平风场

在 D01 中风向基本全是西南风,而在 D03 和 D04 中可以发现在图中标记的斜线附近有比较多的风向不定的乱流,并且在斜线左下方的风速要比右上方的风速大,说明这条线位于海面西南气流与陆面气流的交接线附近。由此,当水平分辨率在 1000m 和 333.3m 时,可以模拟出 9000m 和 3000m 所不能发现的风场的

细微变化。

在中低空风场 900m 风场的模拟效果中,如图 4,受地形影响的风场的波动逐渐比近地面风场要弱的多,仅在图中圈定的区域内可以看到在地形影响下的垂直方向冲击气流使风速增大。但是比较不同分辨率的模拟效果,在 9000m 的分辨率下,不能明显模拟出其他更高分辨率下圈定区域中风场的分布状态,即在对中低空风场的模拟中,9000m 以下的分辨率不能模拟地形效应对风场的影响。

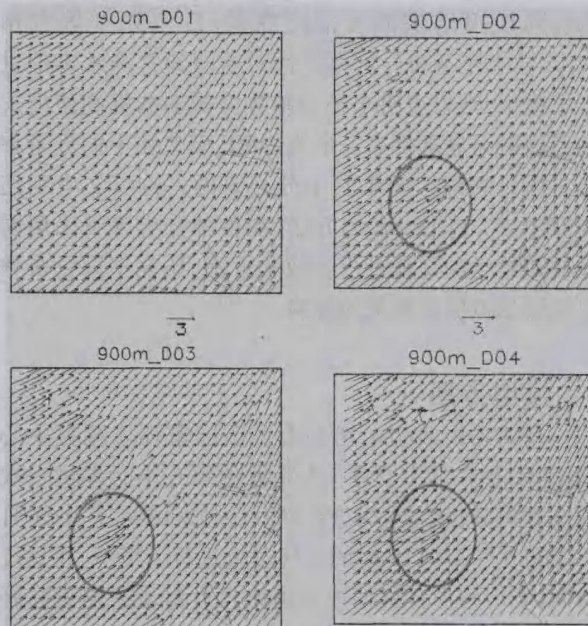


图 4 与 D04 区域大小相同的各个区域的 900m 水平风场

对于高空风场,如 3000m 风场(图略),不同分辨率下对风场的模拟结果差别不大,即分辨率对高空风场模拟的影响不大。比较 10m 风场、900m 风场以及 3000m 风场的模拟结果,随着高度的增加,不同分辨率下风场的模拟结果的差别逐渐减小,说明随着高度的增加,分辨率对风场模拟结果的影响逐渐减弱。

## 2.2 垂直风场

在模拟过程中,设置的垂直方向上的高度为 3000m,选取 113.28E 经线垂直剖面上风场的信息作为研究对象,气压场的分布与风场的变化有直接的关系,为此,也对气压场在垂直剖面上的分布做了一些分析。

如图 5 所示,纵坐标为垂直高度,横坐标是经度,图中等值线是风速相等的点之间的连线,在等风速线上的风速值已经标记在线上,单位是米/秒。在 D01 和 D02 区域中,风速的垂直分量在此剖面上的分布趋势基本一致,但在 D02 中可以发现 D01 中所没有的一些垂直速度区域。比如在 24.2N(黑色实线标记)维度所对应的区域,在 D02 中存在 0.02 ~ 0.06m/s 的垂直



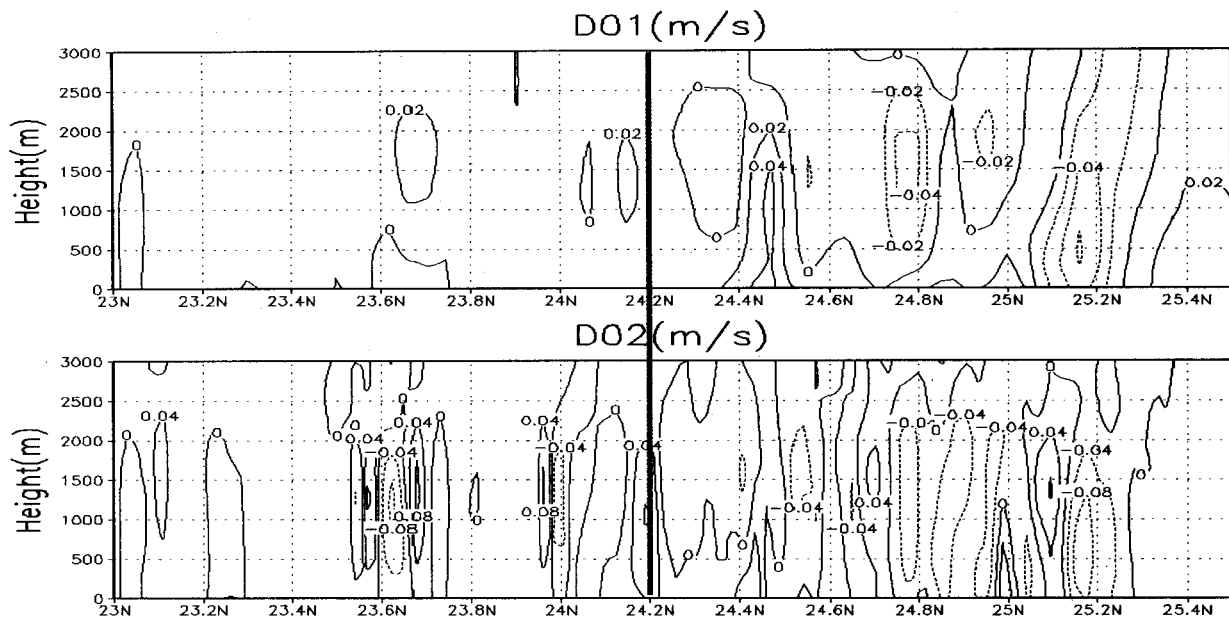


图5 风速垂直分量在113.28E垂直剖面上的分布

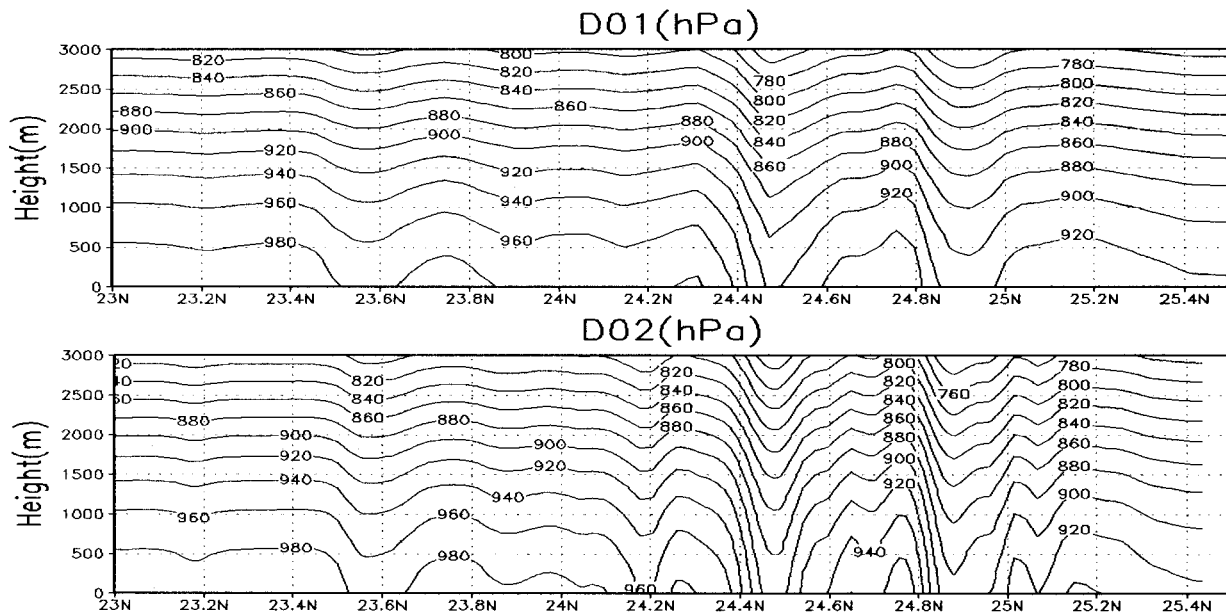


图6 等压线在113.28E垂直剖面上的分布

速度,但在 D01 中没有。另外整体比较可以看出,D02 中的风速比较 D01 中较大,并且等值线更密集,说明在空间中的变化较快。

通过垂直剖面上等压面分布情况可以分析气流的波动状况,图6中展示了等压面在垂直方向的分布,坐标设置与图5中一样,气压值也已经标记在等压面上,单位是百帕。可以发现,113.28E 经线剖面上等压面的分布在 D01 和 D02 中趋势基本一致,而随着分辨率的提高,模拟结果中等压面的波动会更加剧烈,幅度更大。

由此,随着水平分辨率的提高,在垂直方向上模拟结果基本一致,但对风场和气压等气象要素的描述更加细致精确。

### 3 结束语

在文中,通过利用全球在分析数据在数值模式不同分辨率下的模拟结果,针对分辨率的不同对风场的模拟效果的影响进行了分析,并得出以下结论:

(1) 当水平分辨率高于 1000m 以上时,对近地面风场的模拟中地形效应对风场的影响逐渐显著,同时水平风场中会出现较低的分率中没有的风场的细微变化。

(2) 分辨率的不同对中低空风场和高空风场的模拟结果影响比对近地面风场的模拟结果影响小,随着高度的增加,分辨率对风场模拟的影响减弱。

(3) 水平分辨率的不同对风场垂直速度的模拟有

较大的影响。当水平分辨率提高时,会模拟出低分辨率下所没有呈现的风场的垂直速度区域,并且整体上对风场和气压场的描述更加细致精确。

文中的目的在于针对分辨率的不同分析数值模式对风场的模拟效果,而若要分析分辨率的不同与实际大气状况之间的差别,以便得出适合该区域或者某种天气过程的最优分辨率,则需要与实际观测数据进行对比分析,这是下一步的工作方向。

#### 参考文献:

- [1] 苑海燕,杜继稳,侯建忠,等.“神舟六号”飞船着陆时段主着陆场区风场的数值模拟[J].气象科学,2008,28(1):56-61.
  - [2] 孙 宁.采用 WRF 模式模拟风场分析中尺度暴雨[J].科技信息,2007(17):41-43.
  - [3] Liu Yubao, Warner T. Simultaneous nested modeling from the synoptic scale to the LES scale for wind energy applications [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2011, 99(4): 308-319.
  - [4] 王澄海,胡 菊,靳双龙,等.中尺度 WRF 模式在西北西部地区低层风场模拟中的应用和检验[J].干旱气象,2011, 29(2):161-167.
  - [5] Rife D L. Verification of Temporal Variations in Mesoscale Numerical Wind Forecasts [J]. Monthly Weather Review, 2005, 133: 3368-3381.
  - [6] Rife D L, Davis C A, Knierel J C. Temporal Changes in Wind as Objects for Evaluating Mesoscale Numerical Weather Prediction [J]. Weather and Forecasting, 2009, 24: 1374-1389.
  - [7] Rife D L, Davis C A, Liu Yubao. Predictability of Low-level Winds by Mesoscale Meteorological Models [J]. Monthly Weather Review, 2004, 132: 2553-2569.
  - [8] Valari M, Menut L. Does an Increase in Air Quality Models' Resolution Bring Surface Ozone Concentrations Closer to Reality [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2008, 25(11): 1955-1968.
  - [9] Salvador R, Calbo J, Millan M M. Horizontal Grid Size Selection and Its Influence on Mesoscale Model Simulations [J]. Journal of Applied Meteorology, 1999, 38(9): 1311-1329.
  - [10] 张 宇,郭振海,张文煜,等.中尺度模式不同分辨率下大气多尺度特征模拟能力分析[J].大气科学,2010,34(3): 653-660.
  - [11] 吕光辉,于恩涛,向伟玲,等.WRF 模式分辨率对新疆异常降雨天气要素模拟的影响[J].气候与环境研究,2009,14(1):85-96.
  - [12] 刘 峰,刘式达,文丹青.广州白云机场“721”低空风切变天气过程综合分析[J].北京大学学报(自然科学版), 2007, 43(1): 23-29.
- 
- (上接第 179 页)
- #### 参考文献:
- [1] Vapnik V N. The Nature of Statistical Learning Theory [M]. New York: Springer Verlag, 1995.
  - [2] Suykens J A K, Vandewalle J. Least Squares Support Vector Machine Classifiers [J]. Neural Processing Letters, 1999(9): 293-300.
  - [3] Fung G, Mangasarian O L. Proximal support vector machine classifiers [C]//Proceedings of the Seventh ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. New York: ACM, 2001: 77-86.
  - [4] Huang H P, Liu Y H. Fuzzy support vector machines for pattern recognition and data mining [J]. International Journal of Fuzzy Systems, 2002(4): 826-835.
  - [5] Lee K Y, Dae-Won K. Possibilistic support vector machines [J]. Pattern Recognition, 2005, 38(8): 1325-1327.
  - [6] Rostamizadeh A. Theoretical Foundations and Algorithms for Learning with Multiple Kernels [D]. New York: New York University, 2010.
  - [7] Kloft M, Brefeld U, Sonnenburg S, et al. Non-sparse Regularization for Multiple Kernel Learning [R]. USA: Cornell University, 2010.
  - [8] Cortes C, Mohri M, Rostamizadeh A. Two-stage Learning Kernel Algorithms [C]//Proceedings of the 27th International Conference on Machine Learning. Haifa, Israel: [s. n.], 2010.
  - [9] Cristianini N, Kandola J, Elisseeff A, et al. On Kernel Target Alignment [J]. Advances in Neural Information Processing Systems, 2002(14): 367-373.
  - [10] Kandola J, Shawe-Taylor J, Cristianini N. Optimizing Kernel Alignment over Combinations of Kernels [R]. London: Department of Computer Science, Royal Holloway, University of London, UK, 2002.
  - [11] Ye N, Sun R, Liu Y, et al. Support vector machine with orthogonal Chebyshev kernel [C]//Proceedings of the 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06). Hong Kong: [s. n.], 2006.
  - [12] Ozer S, Chen C H. Generalized Chebyshev Kernels for Support Vector Classification [C]//Proceedings of the 19th international conference on pattern recognition (ICPR'08). Tampa, Florida, USA: [s. n.], 2008.
  - [13] Ozer S. On the Classification Performance of Support Vector Machines Using Chebyshev Kernel Functions [D]. Dartmouth, MA: University of Massachusetts, 2007.
  - [14] Ozer S, Chen C H, Cirpan H A. A set of new Chebyshev kernel functions for support vector machine pattern classification [J]. Pattern Recognition, 2011, 44(7): 1435-1447.
  - [15] Chang Chih-Chung, Lin Chih-Jen. LIBSVM: A library for support vector machines [J]. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, 2011(3): 1-27.