

Fig.4 Monitoring results with different approaches

图4 不同方法间的监控结果

Table 5 Experimental data set and the main related parameters

表5 一次更新对二分类影响因子组合权值的影响

User location/Server location	⟨United States,China⟩	⟨United States,Colombia⟩
W_0_{old}	0.009 516 65	0.006 929 84
W_1_{old}	0.084 154 64	0.002 031 05
$W_0_{Igs-wBSRM}$	5.08E-8	0
$W_1_{Igs-wBSRM}$	4.19E-8	0

实验还使用与上述相同的模拟数据集,将滑动窗口机制改进于原 wBSRM,iBSRM 方法中,并与 IgS-wBSRM 进行对比分析,由 200 步长大小的窗口起,拟定 3 种不同规格的窗口大小,分别为 200,350,500,分别进行实验对比.实验监控结果如图 5~图 7 所示,可发现,不同步长窗口下的两种算法的灵敏性都有很大提升.当然,这些结果都是在模拟数据集下所产生具有一定的局限性,但这也仅是对其他基于概率统计的现有监控方法较为简单地引入滑动窗口机制以作探究,而真实情况下的数据将比模拟数据更具实际意义、更为复杂,但这样的实验结果仍是从一些方面部分性说明了有效利用实时数据相较一直使用历史冗余数据更为有效准确.

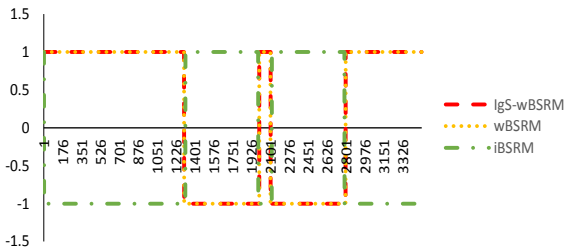


Fig.5 Result under 200 metric sliding window

图5 以 200 为步长的窗口下监控结果

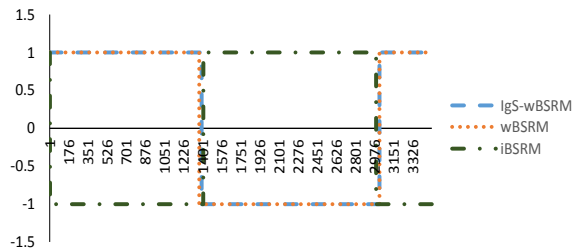


Fig.6 Result under 350 metric sliding window

图6 以 350 为步长的窗口下监控结果

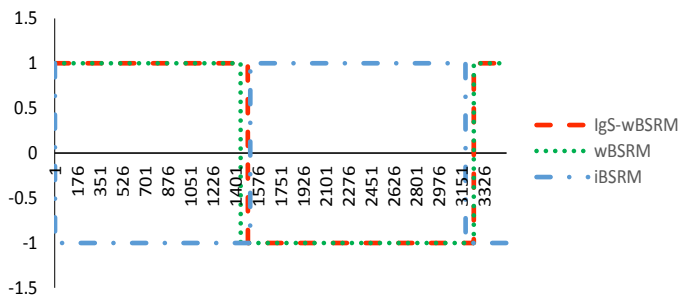


Fig.7 Monitoring result under 500 metric Sliding Window

图7 以 500 为步长的窗口下监控结果

4.2.2 真实数据集下的实验分析

在上述模拟实验对本方法合理性的验证基础上,下面将通过 QWS 真实数据集来验证本方法的有效性与实用性.

从原始 QWS 真实数据集中提取 6 000 个样本,取前 1 000 个 QWS 样本数据作为初始化训练样本集,以此来训练得出一个初始权值表与加权分类监控器,取之后的 5 000 个数据作为监控数据集,根据之前的实验,其中, IgS-wBSRM 方法的滑动窗口大小设定为 200.

如图 8 描述的是 IgS-wBSRM,wBSRM,iBSRM 在 QWS 真实数据集下的监控结果,同样,纵坐标表示监控结果的分类(1 代表接受原假设,即此时被监控 Web 服务处于正常状态;-1 代表拒绝原假设,即此时被监控 Web 服务出现异常、服务失效),横坐标表示监控数据样本数量.其 QoS 标准为响应时间小于 10s 的概率不低于 50%. 图 9 为 1 480~1 720 样本数据段的监控结果,更为细致地展现 3 种监控方法在此数据段中的分类监控结果的变化.图 10 为在上述 QoS 标准下,Web 服务 QoS 参数满足标准与不满足标准的后验概率之间的比值,当其大于 1 时,表示接受原假设,即此时被监控 Web 服务处于正常状态;-1 代表拒绝原假设,即此时被监控 Web 服务出现异常、服务失效,其变化是连续而非离散的值,故可更直观有效地分析 3 种方法其监控结果的变化趋势.

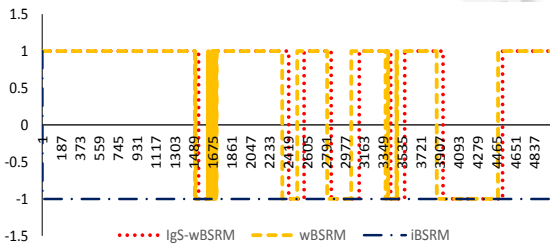


Fig.8 Monitoring results under QWS real data set
图 8 QWS 真实数据集下的监控结果

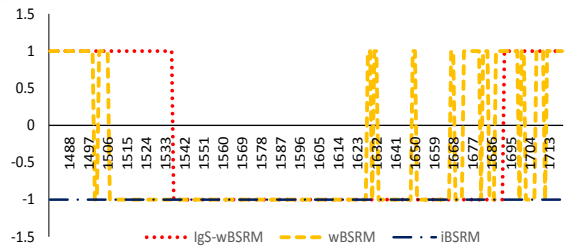


Fig.9 Results during data segment from 1 480 to 1 720
图 9 1 480~1 720 数据段监控结果

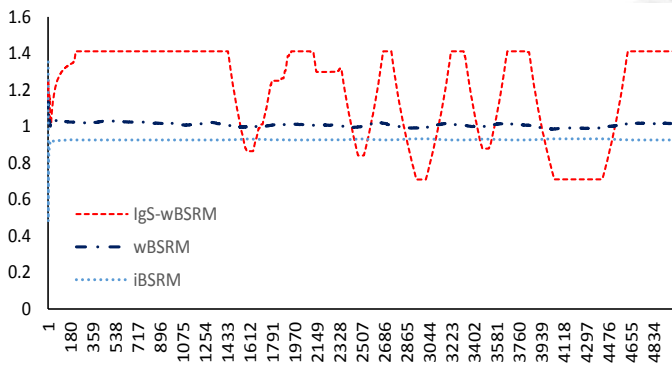


Fig.10 Ratio between posterior probabilities under QWS real data set
图 10 QWS 真实数据集下的后验概率比值

从图 8 中可以看到:IgS-wBSRM 与 wBSRM 在整体的对监控正确性的断言上保持一致;若只考虑能否有效检测出服务失效,IgS-wBSRM 与 wBSRM 都比较准确有效地检测出处于错误数据节点处的服务时效;而 iBSRM 在此时的 QoS 标准(响应时间 10s,概率标准 50%)的情况下,出现了几乎全局相逆的错误判断.同时可以宏观地看到:wBSRM 在真实数据环境中某些数据结点不断地发生着变化,因其监控结果的改变频率过快致使产生了很多甚至于重叠的噪声波段.从图 9 中可以清楚细致地看到:在 1 496,1 502,1 505 短短 10 个监控数据间,wBSRM 竟跳跃了 3 次;同样,在 1 628~1 634 的 7 个监控数据间,也是快速跳跃了 3 次判定.这样的监控分类结果显然是

与事实相悖的.为了进一步探究这种差异影响的来源,同时也是对 IgS-wBSRM 方法有效性与实用的验证,现对二次决策之间各方法满足标准与不满足标准的后验概率之间的比值作图 10.从图中可以看出:wBSRM 方法在监控过程中若前期数据使其决策结果游离于标准左右时,若遇到部分影响类间分布的数据单元,则会收到这些少数数据单元的影响,从而不断且频繁地更变其监控决策.同时,从图中可以清楚地看见:融入滑动窗口机制进而结合信息增益的动态加权算法 IgS-wBSRM 方法,因信息增益对权值不断实时动态地调整,使得其监控的后验概率之比能在维持与标准适当距离的同时,而且能在正确处有效地检测出服务的失效进行决策迅速跳转改变,很好地克服了这种缺陷,总体监控效果与模拟实验所验证的合理性保持一致.

4.2.3 时间效率分析

效率分析分为两部分,初始化权值训练效率分析和对不同算法在实时运行状态下的监控效率分析.

- 对于第 1 部分效率分析,由于 IgS-wBSRM 的权值初始化与 wBSRM 的权值训练方式相同,都采用传统的 TF-IDF 算法进行训练,故初始化权值训练阶段二者效率相同,按照文献[11]的报道,权值的训练时间是在可接受范围;
- 对于第 2 部分效率分析,下面将取真实世界数据集前 3 500 个数据样本,记录对不同 QoS 需求标准下的各监控方法完成一次全数据监控所需时间,并以此求得对应单位数据下的平均监控时间来进行对比分析.而单位数据条件下的监控运行时间,可以有效地反映监控算法的运行效率.

本实验将在表 4(a)所描述的硬件环境下运行,故所得实验结果参数仅代表本实验环境下的特定结果.不同机器间的配置性能差距将会导致实验结果的绝对数值有所偏差,但方法间的相对运行效率状况是不变的.在上述前提下,可得各方法监控运行时间在不同 QoS 需求标准下的具体情况如图 11 所示.

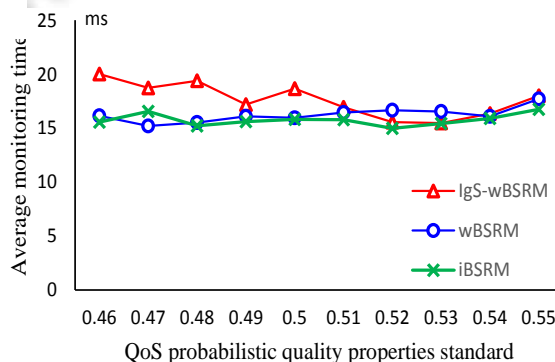


Fig.11 Average monitoring time

图 11 平均监控时间

从图 11 中可以看出:整体上,IgS-wBSRM 监控方法在运行时平均监控时间上略高于 wBSRM 以及 iBSRM 方法.这是因为 IgS-wBSRM 方法在监控的同时还会对现有权值表进行动态更新,而由于同时我们采用了滑动窗口机制,这使得方法在数据的更新统计方面一定程度地减少了样本量,缩短了部分时间,故总体来说时间复杂度并未增加太多,整体监控效果仍在理想范围内.

5 结束语

现有的 Web 服务 QoS 概率监控方法大多对动态环境下的实时监控缺乏考虑,少数考虑了多变环境因素影响的研究方法却未对监控的时效准确性以及监控分类的类间分布偏差等问题进行考虑,而诸如这些,正会导致服务监控出现监控延迟判断、二分类监控决策间噪声抖动等现象.本文给出了一种融入滑动窗口机制进而结合信息增益实现动态加权的 Web 服务监控方法 IgS-wBSRM.方法考虑到现有方法未对历史冗余数据进行处理从而导致实时数据面对历史数据基数大而不宜改变决策的现状,在构造监控器时仅以初期数据进行权值等参数

训练,而后期无限期使用导致的参数过期无效性以及利用传统 TF-IDF 算法对影响因子加权时未曾考虑过的类间分布不均现象等,并在自定义模拟数据集与真实数据集上分别与基于加权朴素贝叶斯的 wBSRM 以及基于传统贝叶斯的 iBSRM 方法进行对比实验.实验结果表明,IgS-wBSRM 在监控稳定性和准确性两个方面都优于其他两种方法.

对于未来的工作,将进一步深入探究滑动窗口大小对监控方法的影响,具体研究是否存在每个固定环境下的理想窗口大小,在此基础上,进而可以考虑一种自适应的动态监控窗口,并通过进一步的实验验证与数据分析以期达到所预期的效果.此外,由于当 QoS 需求标准达到一个极高的要求值时,无论 IgS-wBSRM 或其他方法都无法十分准确地满足监控需求.比如,某服务对于用户的请求访问响应时间在 0.1s 内的概率应该大于 99.99%,这是一个极大的概率值,通过目前现有的监控手段很难监控出结果,值得将来进一步探索,使得方法能够对更为极限的 QoS 需求标准做出准确有效地监控.最后,也计划将 IgS-wBSRM 应用到服务组合、服务动态选择等领域中^[26],以提升相应领域方法的稳定性和准确性.

References:

- [1] Gunter D, Tierney B, Jackson K, *et al.* Dynamic monitoring of high-performance distributed applications. In: Proc. of the 11th IEEE Int'l Symp. on High Performance Distributed Computing (HPDC-11). IEEE, 2002. 163–170.
- [2] Menascé DA. QoS issues in Web services. IEEE Internet Computing, 2002,6(6):72–75.
- [3] Baresi L, Guinea S. Towards dynamic monitoring of WS-BPEL processes. In: Proc. of the Int'l Conf. on Service-Oriented Computing. Springer Berlin Heidelberg, 2005. 269–282.
- [4] Ran S. A model for Web services discovery with QoS. ACM SIGECOM Exchanges, 2003,4(1):1–10.
- [5] Grunskel L. Specification patterns for probabilistic quality properties. In: Proc. of ACM/IEEE the 30th Int'l Conf. on Software Engineering (ICSE 2008). IEEE, 2008. 31–40.
- [6] Grunskel L, Zhang P. Monitoring probabilistic properties. In: Proc. of the Joint Meeting of the European Software Engineering Conf. and the ACM Sigsoft Int'l Symp. on Foundations of Software Engineering. Amsterdam, 2009. 183–192.
- [7] Chan K, Poernomo I, Schmidt H, *et al.* A model-oriented framework for runtime monitoring of nonfunctional properties. In: Proc. of the Int'l Conf. on Quality of Software Architectures and Software Quality, and 2nd Int'l Conf. on Software Quality. Springer-Verlag, 2005. 38–52.
- [8] Grunskel L. An effective sequential statistical test for probabilistic monitoring. Information & Software Technology, 2011,53(3): 190–199.
- [9] Zhang P, Li W, Wan D, *et al.* Monitoring of probabilistic timed property sequence charts. Software Practice & Experience, 2011, 41(7):841–866.
- [10] Zhu Y, Xu M, Zhang P, *et al.* Bayesian probabilistic monitor: A new and efficient probabilistic monitoring approach based on Bayesian statistics. In: Proc. of the Int'l Conf. on Quality Software. 2013. 45–54.
- [11] Zhuang Y, Zhang PC, Li WR, *et al.* Web service QoS monitoring approach sensing to environmental factors. Ruan Jian Xue Bao/Journal of Software, 2016,27(8):1978–1992 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/4850.htm> [doi: 10.13328/j.cnki.jos.004850]
- [12] Zhang P, Zhuang Y, Leung H, *et al.* A novel QoS monitoring approach sensitive to environmental factors. In: Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Web Services. 2015. 145–152.
- [13] Zeng L, Lei H, Chang H. Monitoring the QoS for Web services. In: Proc. of the Int'l Conf. on Service-Oriented Computing. Springer-Verlag, 2007. 132–144.
- [14] Radovanovic S, Nemet N, Cetkovic M, *et al.* Cloud-Based framework for QoS monitoring and provisioning in consumer devices. 2013.
- [15] Coppolino L, D'Antonio S, Romano L, *et al.* Effective QoS monitoring in large scale social networks. In: Zavoral F, *et al.* eds. Proc. of the Intelligent Distributed Computing VII, Studies in Computational Intelligence 511. Springer International Publishing, 2014. 249–259.

- [16] Michlmayr A, Rosenberg F, Leitner P, *et al.* Comprehensive QoS monitoring of Web services and event-based SLA violation detection. 2009.
- [17] Raimondi F, Skene J, Emmerich W. Efficient online monitoring of Web-service SLAs. In: Proc. of the ACM Sigsoft Int'l Symp. on Foundations of Software Engineering. Atlanta, 2008. 170–180.
- [18] Sammapun U, Lee I, Sokolsky O, *et al.* Statistical runtime checking of probabilistic properties. In: Proc. of the Runtime Verification. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2007. 164–175.
- [19] Zhang P, Li B, Grunski L. Timed property sequence chart. Journal of Systems & Software, 2010,83(3):371–390.
- [20] Lewis DD. Naive (Bayes) at forty: The independence assumption in information retrieval. In: Proc. of the European Conf. on Machine Learning. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1998. 4–15.
- [21] Wang GY, Yu H, Yang DC. Decision table reduction based on conditional information entropy. Chinese Journal of Computers, 2002,25(7):759–766 (in Chinese with English abstract).
- [22] Kent JT. Information gain and a general measure of correlation. Biometrika, 1983,70(1):163–173.
- [23] Roelleke T, Wang J. TF-IDF uncovered: A study of theories and probabilities. In: Proc. of the 31st Annual Int'l ACM SIGIR Conf. on Research and Development in Information Retrieval. ACM Press, 2008. 435–442.
- [24] Zheng ZB, Zhang YL, Lyu MR. Distributed QoS evaluation for real-world Web services. In: Proc. of the 8th Int'l Conf. on Web Services (ICWS 2010). Miami, 2010. 83–90.
- [25] Zhang YL, Zheng ZB, Lyu MR. Exploring latent features for memory-based QoS prediction in cloud computing. In: Proc. of the 30th IEEE Symp. on Reliable Distributed Systems (SRDS 2011). Madrid, 2011.
- [26] Wang SG, Sun QB, Yang FC. Web service dynamic selection by the decomposition of global QoS constraints. Ruan Jian Xue Bao/ Journal of Software, 2011,22(7):1426–1439 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/3842.htm> [doi: 10.3724/SP.J.1001.2011.03842]

附中文参考文献:

- [11] 庄媛,张鹏程,李雯睿,等.一种环境因素敏感的 Web Service QoS 监控方法.软件学报,2016,27(8):1978–1992. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/4850.htm> [doi: 10.13328/j.cnki.jos.004850]
- [21] 王国胤,于洪,杨大春.基于条件信息熵的决策表约简.计算机学报,2002,25(7):759–766.
- [26] 王尚广,孙其博,杨放春.基于全局 QoS 约束分解的 Web 服务动态选择.软件学报,2011,22(7):1426–1439. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/3842.htm> [doi: 10.3724/SP.J.1001.2011.03842]



何志鹏(1995—),男,湖北仙桃人,硕士生,主要研究领域为 Web 服务监控.



吉顺慧(1987—),女,博士,讲师,CCF 专业会员,主要研究领域为软件建模、分析、测试与验证.



张鹏程(1981—),男,博士,副教授,CCF 高级会员,主要研究领域为软件建模、分析和验证技术.



李雯睿(1981—),女,博士,副教授,CCF 高级会员,主要研究领域为服务计算.



江艳(1992—),女,硕士,主要研究领域为服务质量监控.