

基于模型仿真的云计算 PaaS 构建模式选择

徐 星¹, 周剑雄², 王明哲¹

(1 华中科技大学 自动化学院, 湖北 武汉 430074; 2 中国移动南方基地, 广东 广州 510640)

摘 要: 平台即服务(PaaS)是企业云平台产品选择和云技术研发的热点, 通过基于 SOA 的 PaaS 平台构建, 从微观与宏观上探讨 PaaS 构建模式, 提出了一个跨层面的 PaaS 构建模式选择方法. 将 Petri 网结构化分析用于寻找可行服务组合, 利用 CloudSim 模拟各种架构模式的 PaaS 环境, 通过应用 Petri 网与 CloudSim 的交互仿真实现 PaaS 构建模式的服务组合技术性能评估, 应用网络层次分析法(ANP)评价 PaaS 构建模式的综合性能, 以指导企业的 PaaS 产品选择和云服务平台构建.

关键词: 平台即服务; 构建模式; 交互仿真; 网络层次分析法; Petri 网结构化分析

中图分类号: TN402

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)06-0091-06

PaaS Compositing Mode Selection of Cloud Computing Based on Model Simulation

XU Xing¹, ZHOU Jian-xiong², WANG Ming-zhe¹

(1 School of Automation, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

2 The Southern Base, China Mobile, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Platform as a Service (PaaS) is hotspots of enterprise cloud platform product selection and cloud technology research. This paper discusses PaaS compositing mode on the microscopic and macroscopic perspectives and proposes a cross-level method to select PaaS compositing mode by the compositing of PaaS platform based on SOA. Innovatively, feasible service compositions can be find by Petri net structural analysis and PaaS environment of all kinds of architecture model are simulated by CloudSim. We use Petri net and CloudSim interactive simulation to measure the technology properties of service compositions for PaaS compositing mode and apply Analytic Network Process (ANP) to evaluate comprehensive performances of PaaS compositing models. Consequently, this method can provides the guidance for PaaS platform selection and construction cloud service platform.

Key words: PaaS; compositing mode; interactive simulation; ANP; Petri net structural analysis

1 引言

近年来, 云计算技术研究重心正从基础设施即服务(IaaS)、软件即服务(SaaS)向平台即服务(PaaS)转移. 平台即服务(Platform as a Service, PaaS)构建模式选择已经成为当今各云服务供应商着力研发新产品时必须考虑的问题, 而且也是企业启动云服务架构(SOA)设计和平台产品选择时必须关注的研究议题^[1-2].

目前已经有一些 PaaS 产品^[3], PaaS 作为云计算应用进一步发展的重点, “平台即服务”构建模式就自然成为了平台虚拟化与自动化技术的关键支撑, 也是企业 PaaS 产品选用的重要判定准则^[4]. 本文将从 PaaS 构建模式的微观和宏观两方面来探讨满足企业需求即服务的平台服务优化组合构建模式. 通过交互混杂模型仿真分析, 从微观(底层技术实现)上研究 PaaS 服务优化组合性能; 通过网络层次分析(Analytical Network Process, ANP)的 PaaS

收稿日期: 2013-08-01; 修回日期: 2013-09-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(61273207)

评价模型,从宏观上探讨 PaaS 平台构建模式的综合功能评价选择.

2 PaaS 构建模式及评价指标分析

面向服务的 PaaS 平台一般通过模块化、集成化、动态组装等构建模式来获得云应用系统的重用性、可靠性、可扩展性和开放性.例如,以面向服务体系架构(Service Oriented Architecture, SOA)为参考模型,PaaS 统一支撑平台及集成化构建模式可由流程平台、集成平台和数据平台组成,分别实现跨应用系统的云应用的流程集成、服务集成和数据管理^[5-6].

2.1 PaaS 功能构建

选择 PaaS 平台构建模式考虑将企业云应用迁移到云端,则要求 PaaS 功能构建支持灵活、弹性的业务开发环境、测试环境、执行环境和管理环境的形成.其中,按需服务和资源优化调度与监控则是 PaaS 构建的重要功能. PaaS 功能构建示意如图 1 所示.

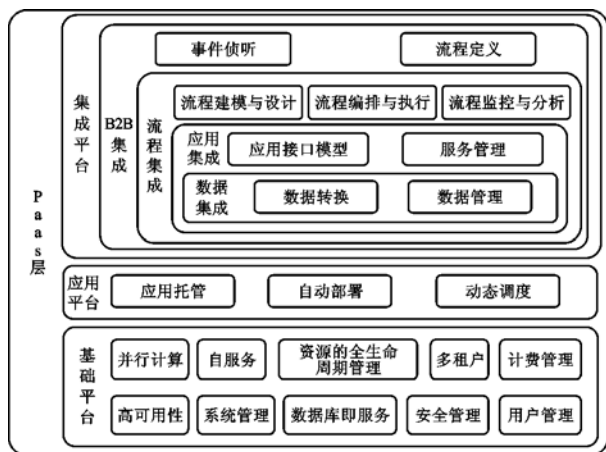


图 1 PaaS 平台功能构建示意

2.2 PaaS 构建模式测评指标

参考图 1 所示的 PaaS 功能构建,分别从基础平台、应用平台和集成平台三个方面提出度量和选择 PaaS 模式方案或产品性能的测评指标,如图 2 所示.

(1)基础平台性能

基础平台测评指标集中反映 PaaS 平台底层构建模式的优劣.从云计算平台体系结构的角提出的 4 个测评指标的具体定义如下所示.

接口可用性:接口可用性度量企业用户对接口的满意程度和有效使用水平,易于操作者使用和学习;

接口可扩展性:可扩展性是系统扩展新功能或

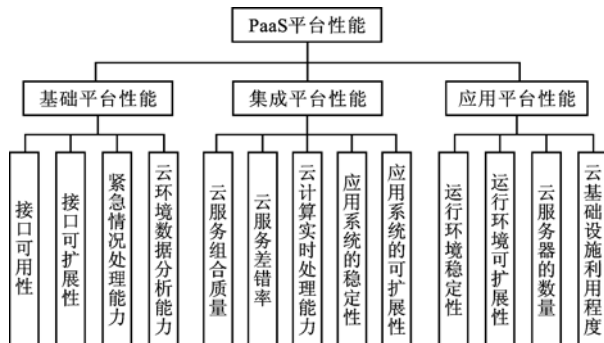


图 2 PaaS 平台构建模式测评指标

增添新组件的能力.扩展性越好云适用性越好;

紧急处理能力:紧急故障处置涉及云应用转移和服务组合运行环境重建的能力;

数据分析能力:用来衡量 PaaS 基础平台提供的业务处理、分析和发送数据能力.

(2)应用平台性能

应用平台指标用来测评和选择为云应用系统提供良好运行环境的平台构建模式.参考 PaaS 应用平台构建,从云应用开发、测试、执行和管理环境和资源利用率的角度提出了度量 PaaS 构建模式测评指标具体描述如下述所示.

运行环境稳定性:平台操作系统和应用软件运行所要求的各种运行条件支撑的稳定性,平台正常工作且不失效的能力;

运行环境可扩展性:新功能被扩展到平台适当位置或修改完善现有功能来满足应用需求发展以提供稳定应用水平的度量;

监控协调能力:平台业务运行状态监控与诊断、调整、修复,按需应变的调度整合效率和管理能力的度量;

基础设施利用率:指对 IaaS 资源的有效利用,反映 PaaS 构建模式的优良性,如:资源回收、弹性扩展、快速部署和动态调整策略.

(3)集成平台性能

PaaS 的集成平台从满足云应用需求出发,协同业务流程、整合服务资源.从服务集成的角度提出测评指标具体描述如下所示.

服务组合水平:定义一个或多个对象的集成行为的服务组合质量测评参数:网络传输延迟、吞吐量、响应时间等,反映用户对云应用服务的满意程度;

服务差错率:以满足用户服务请求为标准,计算云服务差错率,即业务运行向云平台发出服务请求时,单位时间内服务响应发生异常的概率;

云计算实时处理能力:弹性松耦合计算服务构

建模式的实时处理能力表现为集成平台对数据、业务、服务、安全、故障等的处理速率及其对请求响应的度量;

集成可扩展性:权衡应用可扩展性与基础设施利用率的能力,使一个应用能扩展到多个服务中,度量构建模式的组合能力以满足不断发展的需求;

集成稳定性:应用集成的稳定性以衡量响应某个云应用请求并能正常提供服务且保证服务不失效直至执行完毕系列服务组合的能力。

3 基于模型仿真的指标值估计

获取 PaaS 构建模式测评指标值的推荐途径是基于模型仿真,特别是 PaaS 平台供应商不愿意或无法提供的性能参数。例如,涉及平台构建模式的服务组合水平和优化策略的测评指标值估计,提出应用 Petri 网结构化分析方法和 Petri 网模型与云计算仿真器 CloudSim 的交互仿真获得构建模式指标

估计值的步骤:

Step1:建立 PaaS 平台架构的 Petri 网模型,展示平台逻辑构建模式^[7],得到模型 Petri 网关联矩阵;

Step2:基于关联矩阵,求取云服务逻辑模型的全部 S 不变量。在设定的想定下得到其全信息流子网;

Step3:应用 Petri 网 T 不变量分析全信息流子网生成满足服务应用需求的进程网,称之为可行服务组合的 Petri 网模型;

Step4:应用 CloudSim 模拟各种架构模式的 PaaS 环境,用可行服务组合对应的 Petri 网模型与 CloudSim 交互仿真得到该想定下各 PaaS 架构模式的性能指标参数。设定多个想定(Scenario),采用上述方法,结合统计分析得到各可选择架构模式的性能测评指标值。

综合以上 4 步骤如图 3 所示。

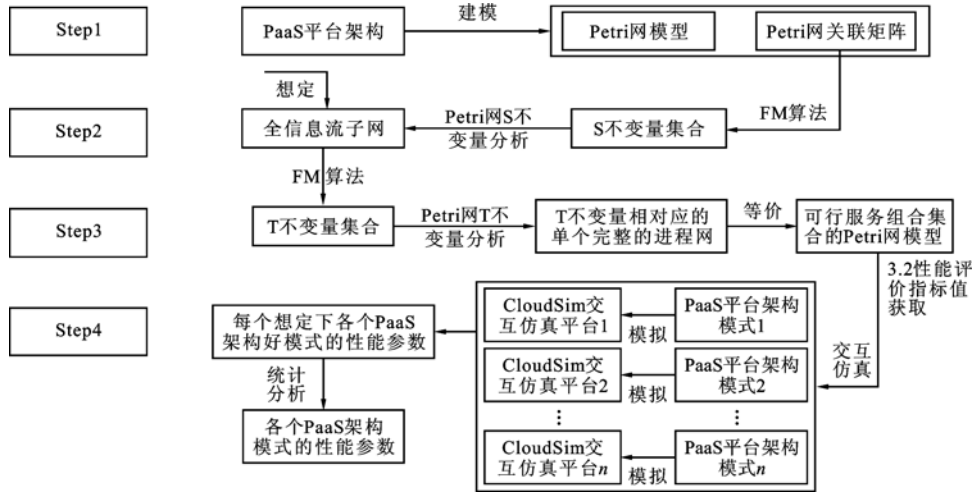


图3 基于模型仿真指标值获取步骤

3.1 基于构建模型的服务组合分析

选择 PaaS 逻辑构建模式,由 Petri 网模型关联矩阵,应用 Petri 网的结构分析方法:S 不变量分析和 T 不变量分析,寻找到所有可能的服务组合。

首先应用 S 不变量获得可行服务集,具体算法步骤如下:

定义 Petri 网中,由源节点到汇节点的全信息流子网用 $[x]$ 表示。

(1)由 Petri 网模型关联矩阵^[8],求得最小 S 不变量集合 $X = \{x_i \mid i = 1 \cdots n\}$ 及其最小 S 不变量组成 $[x_i]$;

(2)选定一个汇节点 p_k ;

(3) $\forall [x_i]: p_k \in [x_i]$, 则 $[x] = \bigcup [x_i]$;

(4)检查 $[x]$ 中 $t_j \in T_x$ 的前集库所 ${}^*t_j \in < x$

$>$ 是否包含了所有 ${}^*t_j$,若是,则该汇接点吸收了所有流入的信息, $[x]$ 为它的完全信息流路径;否则进行下一步骤;

(5) $\forall t_j \in [x], \exists p_u \in {}^*t_j \wedge p_u \notin [x]$ 则选定 p_u , 并执行步骤(6)。若不存在,此时的 $[x]$ 为它的完全信息流路径,执行步骤(7);

(6) $\forall x_k: [x_k] \in [x] \wedge p_u \in [x_k]$ 则构成新的 $[x] = [x] \cup [x_k]$, 并返回步骤(4);

(7) 返回全信息流子网 $[x]$ 。

应用 T 不变量获得可行服务组合,具体的步骤如下所示:

定义 Petri 网模型源节点集合用 Pr 表示,汇节点集合用 Pc 表示,进程网集合用 PT 表示。选取用户的输入原子云服务记为 t_i ,用户期待的输出原子

云服务为 t_j . 利用改进的 FM 算法^[3] 求解全信息流子网的最小 T 不变量 $Y = \{y_i \mid i = 1 \cdots m\}$, 其对应的最小 T 不变量支撑 $\langle y_i \rangle$ 和组成 $[y_i]$.

(1) 将 $\{y_i\}$, $i = 1 \cdots m$, 中选取 $i = 1$, 若 $(t_i \in y_i) \wedge (t_j \in y_i)$ 成立, 则 $YC = YC \cup y_i$ 和 $i = i + 1$, 且执行步骤(2). 若不成立, 则 $i = i + 1$ 且执行步骤(1);

(2) 判断 $i = m$ 是否成立. 若成立, 则调转步骤(3), 否则继续执行步骤(1);

(3) 选取 $i = 1$, 若 y_{c_i} 满足 $y_{c_i} \subseteq pt_j$ 条件, 则将 y_{c_i} 从 YC 集合中删除. 否则执行步骤(4);

(4) 检查 PN 模型, 如果对 $\forall t_i \in y_{c_i}$, 有 $t_i^* \subset y_{c_i}$ 和 $^* t_i \subset y_{c_i}$ 同时成立, 则将 y_{c_i} 从 YC 中删除, 放入集合 PT 中, 返回步骤(8), 否则转到步骤(5);

(5) $\forall t_i \subset y_{c_i}$, 若 $(t_i^* \not\subset y_{c_i}) \vee (^* t_i \not\subset y_{c_i})$ 成立, 将满足条件 $p_i \subset (t_i^* \not\subset y_{c_i} \vee ^* t_i \not\subset y_{c_i})$ 全部库所及其与 t_i 之间的连接弧加入到 y_{c_i} 中, 组成新的 y_{c_i} ;

(6) $\forall p \in y_{c_i}$, 且 $p \in Pr$ 成立, 满足 $(t \in ^* p \wedge t \in y_{c_i})$ 则转步骤(8); 否则, 将满足 $t \in ^* p$ 、 t^* 及其连接弧分别逐一添加到 y_{c_i} 中组成 $y_{c_{i1}} \cdots y_{c_{im}}$, 返回步骤(8);

(7) $\forall p \in y_{c_i}$, 且 $p \in Pc$, 满足 $(t \in P^* \wedge t \in y_{c_i})$ 则返回步骤(8); 否则, 将 $t \in ^* p$ 、 t^* 及其连接弧逐一添加到 y_{c_i} 中组成 $y_{c_{i1}} \cdots y_{c_{im}}$, 并返回步骤(8);

(8) 判断 YC 是否为空, 若 $YC = \Phi$, 则执行步骤(9), 否则 $i = i + 1$, 继续执行步骤(4);

(9) 结束, 返回 PT 集合. 集合 PT 中即为全信息流路径对应的全进程.

通过该方法可以从全信息流路径中得到一个新的 T 不变量集合, 并将满足用户需求的 T 不变量, 对应到进程网上, 即得到在设定的想定满足用户需求的可行的服务组合.

3.2 指标估计值的仿真获取方法

由 Petri 网模拟平台构建模式运行环境, 由 CloudSim 模拟基础设施(服务器、数据中心、代理等)运行状态, 通过交互仿真, 获得 PaaS 不同构建模式的性能指标估计值. 具体到服务组合优化策略测评, 则应用不变量分析结果, 仿真获取满足用户请求(想定)的 PaaS 可行模式服务组合性能指标估计.

假定 PaaS 构架选择 A、B、C 三种模式, 通过平台架构模型混杂仿真结果统计分析得到三种可供选择模式的 PaaS 构建指标值, 包括数据分析能力、基

础设施利用率、云服务组合水平、云服务差错率、云计算实时处理能力和集成可扩展性. 如表 1 所示.

表 1 由仿真获得的 PaaS 模式或产品的指标值估计

指 标	模式 A	模式 B	模式 C
接口可用性	0.98	0.82	0.76
接口可扩展性	1 062	1 161	1 366
紧急处理能力	75.2	50.4	60.7
数据分析能力	0.68	0.73	0.84
运行环境稳定性	0.93	0.63	0.84
运行环境可扩展性	2 740	2 006	2 530
监控协调能力	0.92	0.67	0.84
基础设施利用率	0.79	0.83	0.85
服务组合水平	0.24	0.23	0.28
云服务差错率	0.1	0.09	0.08
云实时处理能力	11.71	15.8	16.7
集成稳定性	0.76	0.72	0.72
集成可扩展性	1 639	1 026	1 356

4 PaaS 产品/模式综合测评

上述分析着重从平台构建的技术实现(微观)层面反映 PaaS 构建性能. 为了从整体水平上综合考虑测评指标间的影响和基础平台、集成平台和应用平台的总体构建模式优劣, 本文应用网络层次分析法(ANP)完成 PaaS 构建模式的宏观综合测评.

Step1: PaaS 产品/模式 ANP 建模

建立评价 PaaS 构建模式的 ANP 模型. 从基础平台性能、应用平台性能和集成平台性能三个方面考虑, 并落实到底层, 共提取出 13 个可行的指标, 与三种 PaaS 产品或构建模式方案元素集一起构成 ANP 的网络层, 如图 4 所示.

Step2: 指标元素比较

采用 ANP 的 1~9 标度法, 对各个指标的重要性进行两两比较来获得判断矩阵^[9]. 将判断矩阵特征向量归一化处理后获得各个指标元素相对某一准则的权重. 例如, 以“E8 运行环境稳定性”为准则, 构造如表 2 所示的判断矩阵.

表 2 以 E8 为准则的判断矩阵

E8	E9	E11	E13	特征向量
E9	1	2	1/3	0.23
E11	1/2	1	1/5	0.122
E13	3	5	1	0.648
C. R. = 0.003 6 < 0.1				

上述判断矩阵一致性比例 $C. R. = 0.003 6$, 表明其一致性是可以接受的. 分别将每个指标作为准则, 将对其有影响的因素进行两两比较, 获得每个指标下的特征向量^[10].

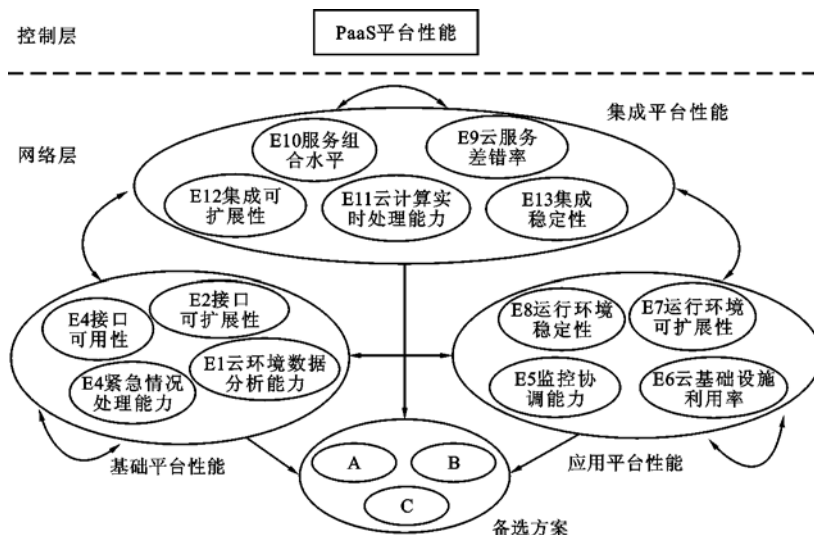


图4 ANP测评模型

Step3: PaaS 构建模式/产品选择方案的指标赋值

与指标间的相互影响关系赋权不同,方案所对应指标下的属性值是通过仿真或分析已获得的数值,因此只需要对所获得指标值进行归一化即可。不同类型的指标应当采用不同的归一化处理方法:效益型指标直接对各方案属性值求和,之后求取各方案值所占比例即可;成本型指标需先对各数值取倒数,然后求和,计算各属性值的倒数所占有的比例^[11]。如表3(a)、(b)所示。

表3(a) 效益型指标

备选方案	接口可用性	权重
A	0.98	0.389
B	0.82	0.325
C	0.72	0.286
总和	2.52	1

表3(b) 成本型指标

备选方案	云计算差错率	倒数	权重
A	0.1	10	0.297 5
B	0.09	11.111	0.330 6
C	0.08	12.5	0.371 9
总和	0.27	33.611	1

当各个指标下的指标间影响权重及备选方案权重确定后,构造 13×13 的矩阵,将获得的特征向量填入每个准则对应的列中,这样就构成了非加权超级矩阵。

Step4: 元素集比较

元素集赋权的方法同对元素进行赋权的方法一样,以某个元素集为准则,将对其有影响的元素集进

行两两比较,获得归一化的特征向量,所获得的加权矩阵A如表4所示。

表4 加权矩阵

	备选方案	基础平台	应用平台	集成平台
备选方案	0	0.230 77	0.212 068	0.230 77
基础平台	0.499 998	0.384 613	0.433 321	0.384 613
应用平台	0.25	0.192 309	0.165 343	0.192 309
集成平台	0.250 001	0.192 309	0.189 268	0.192 309

Step5: 形成加权超级矩阵

将加权矩阵与非加权超级矩阵中对应的块相乘,即可获得ANP模型的加权超级矩阵W。如表5所示。

表5 加权超级矩阵(部分)

	A	B	C	E1	...	E12	E13
A	0	0	0	0.125	...	0.095 5	0.079 7
B	0	0	0	0.125	...	0.094 7	0.075 5
C	0	0	0	0.125	...	0.095 4	0.075 5
E1	0.094 1	0.094 1	0.094 1	0	...	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...
E10	0.028 4	0.028 3	0.028 4	0.156 2	...	0	0
E11	0.065 1	0.065 2	0.065 1	0.156 2	...	0	0.192 3
E12	0.010 0	0.010 0	0.010 0	0	...	0	0
E13	0.019 7	0.019 6	0.019 7	0	...	0	0

Step6: PaaS 产品/构建模式综合评价

对获得的加权超级矩阵,用幂乘的方法对其进行处理,直至矩阵收敛。在极限状态下,各指标之间的相互影响即达到稳定状态,各指标及备选方案的权重都能够在极限超级矩阵中提取出来。表6所示为系统极限超级矩阵结果(部分)。

表 6 极限超级矩阵(部分)

	A	B	C	...	E13
A	0.077 599	0.077 599	0.077 599	...	0.077 599
B	0.078 373	0.078 373	0.078 373	...	0.078 373
C	0.079 207	0.079 207	0.079 207	...	0.079 207
E1	0.071 74	0.071 74	0.071 74	...	0.071 74
E2	0.135 409	0.135 409	0.135 409	...	0.135 409
E3	0.088 382	0.088 382	0.088 382	...	0.088 382
...	...	...	...	...	...
E11	0.071 082	0.071 082	0.071 082	...	0.071 082
E12	0.013 659	0.013 659	0.013 659	...	0.013 659
E13	0.024 053	0.024 053	0.024 053	...	0.024 053

在极限超级矩阵中,同一行元素数值大小相同,代表对应行指标的整体权重.通过对方案集的整体权重进行归一化处理,即可得到各个系统的排序情况.表 7 所示为方案集的处理结果.

表 7 综合评价值

方 案	整体权重	归一化结果	排 序
A	0.077 599	0.329 957 182	3
B	0.078 373	0.333 248 292	2
C	0.079 207	0.336 794 527	1

结果表明,C以 0.336 79 的得分在备选方案中最高,为最合适的 PaaS 构建模式或平台产品选择.

5 结 束 语

本文提出了云计算 PaaS 构建模式一种可行的选择方法:采用基于模型仿真分析方法能够比较客观地获取许多感性判断难以明确的 PaaS 平台构建模式性能指标值;运用 ANP 方法来选择 PaaS 构建模式或产品则可以从整体上考虑到影响 PaaS 选择的各种明确或不明确的因素,并可以考虑到测评指标间依赖、反馈、包含等关系的影响,能科学地解决 PaaS 构建模式和产品选择问题.

本文将 Petri 网结构化分析应用到服务组合及其优化组合测评中去,通过 Petri 网模型与 Cloud-Sim 的交互仿真统计分析获取测评性能指标估计值,综合应用 ANP 网络模型和极限矩阵计算来解决 PaaS 构建模式和产品的选择,取得的研究结果还是初步的.其中,PaaS 构建模式和产品选择的定性量化测评的可信性需要进一步研究提高.

参考文献:

- [1] Mauch V, Kunze M, Hillenbrand M. High performance cloud computing[J]. Future Generation Computer

Systems,2013,29(6):1408-1416.

- [2] Rodero-Merino L, Vaquero L M, Caron E, et al. Building safe PaaS clouds: A survey on security in multitenant software platforms[J]. Computers & Security,2012, 31(1): 96-108.
- [3] Shang J, Qiao X, Lu Y, et al. A local application security detection system based on PaaS[J]. Procedia Engineering,2012,29(0):3883-3887.
- [4] 徐鹏,陈思,苏森. 互联网应用 PaaS 平台体系结构[J]. 北京邮电大学学报,2012(01): 120-124.
- [5] Chengtong L, Qing L, Zhou L, et al. PaaS: A revolution for information technology platforms[C]// Proceedings of the International Conference on Educational and Network Technology. Qinhuangdao:IEEE,2010:346-349.
- [6] Paraiso F, Haderer N, Merle P, et al. A federated multi-cloud PaaS infrastructure[C]// Proceedings of the 5th International Conference on Cloud Computing. Honolulu, HI: IEEE,2012:392-399.
- [7] 宋敏,覃征. 基于模型构件和 Petri 网的企业整体建模方法[J]. 微电子学与计算机,2005,22(9): 48-50.
- [8] 周丰,王明哲,王莉. 一种改进的 Petri 网 S 不变量计算方法[J]. 计算机工程,2010(17):1-3.
- [9] Ambika Devi Amma T, Pramod V R, Radhika N. MCDM approach for the adoption of best cloud[J]. International Journal of Computer Applications,2013,63(15):20-26.
- [10] Van Horenbeek A, Pintelon L. Development of a maintenance performance measurement framework-using the analytic network process (ANP) for maintenance performance indicator selection[J]. Omega,2014, 42(1):33-46.
- [11] Saaty T L. Decision making-the analytic hierarchy and network process (AHP/ANP)[J]. Journal of Systems Science and Systems Engineering,2004,13(1):1-35.

作者简介:



徐 星 女,(1990-),硕士研究生.研究方向为集成体系及分析、云计算、离散事件系统.

周剑雄 男,(1977-),硕士.研究方向为企业信息系统架构.
王明哲 男,(1949-),教授,博士生导师.研究方向为系统集成与分析、体系结构、离散事件系统.