

6-3-2020

## Evaluation Method Research for Coal Mine Services Policy

Xue Xiao

*School of Computer Sciences and Technology, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China;*

Bin Gui

*School of Computer Sciences and Technology, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China;*

Yongmao Wang

*School of Computer Sciences and Technology, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

## Evaluation Method Research for Coal Mine Services Policy

### Abstract

**Abstract:** Mine service is the integration of the package which is based on a number of existing information system, the operation effect of service strategy directly determines the overall performance of the service system. However, due to the complexity of coal mine accidents and the special of mine environment, testing and evaluation of service strategy is very difficult in the actual environment. *In order to solve this problem, an integrated evaluation method of coal mine service policy was proposed based on computational experiment. This method could be divided into three steps: the adaptive service strategy of service system in the coal mine was given; the experimental system model was constructed which was similar to the actual environment. According to the analysis of the models, a 3D virtual mine experimental platform was constructed to quantitatively evaluate the correctness of the service strategy.* The experimental results show that the method is feasible, and can provide decision-making support for the effect of service strategy.

### Keywords

coal services policy, information integration, computational experiments, evaluation method

### Recommended Citation

Xue Xiao, Gui Bin, Wang Yongmao. Evaluation Method Research for Coal Mine Services Policy[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(4): 798-807.

## 煤矿服务策略的评估方法研究

薛霄, 桂彬, 王永茂

(河南理工大学计算机科学与技术学院, 河南 焦作 454000)

**摘要:** 煤矿服务系统是通过多个现有信息系统的封装和集成来实现, 其中服务策略的运行效果直接决定了服务系统的整体性能。但是, 由于煤矿事故的复杂性和煤矿环境的特殊性, 难以在实际环境中对服务策略进行测试评估。针对该问题, 提出基于计算实验的煤矿服务策略评估方法。该方法分为三个步骤: 给出了煤矿服务系统的自适应服务策略; 构建出与真实环境相符的实验系统模型; 根据模型分析, 构建出三维虚拟矿井实验平台, 能够对服务策略的正确性进行定量评估。实验结果证明该方法是可行的, 能够对服务策略的运行效果提供决策支持。

**关键词:** 煤矿服务策略; 信息集成; 计算实验; 评估方法

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2017) 04-0798-11

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201704013

## Evaluation Method Research for Coal Mine Services Policy

Xue Xiao, Gui Bin, Wang Yongmao

(School of Computer Sciences and Technology, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

**Abstract:** Mine service is the integration of the package which is based on a number of existing information system, the operation effect of service strategy directly determines the overall performance of the service system. However, due to the complexity of coal mine accidents and the special of mine environment, testing and evaluation of service strategy is very difficult in the actual environment. *In order to solve this problem, an integrated evaluation method of coal mine service policy was proposed based on computational experiment. This method could be divided into three steps: the adaptive service strategy of service system in the coal mine was given; the experimental system model was constructed which was similar to the actual environment. According to the analysis of the models, a 3D virtual mine experimental platform was constructed to quantitatively evaluate the correctness of the service strategy.* The experimental results show that the method is feasible, and can provide decision-making support for the effect of service strategy.

**Keywords:** coal services policy; information integration; computational experiments; evaluation method

## 引言

信息技术在煤矿领域具有广泛应用, 涉及灾害



收稿日期: 2015-06-30 修回日期: 2015-08-25;  
基金项目: 国家自然科学基金(61175066, 61100008, 61379126), 河南省科技创新杰出青年支持计划, 河南省高校科技创新人才资助项目(2012HASTIT013), 河南省自然科学基金面上项目(162300410121), 河南省教育厅科学技术研究重点项目(12A630072);  
作者简介: 薛霄(1979-), 男, 河南焦作, 博士, 教授, 研究方向为服务计算与计算实验等。

分析、预防、监控、应急等各个方面, 能够有效地提升煤矿的管理水平, 保障矿井的安全运营。在煤矿信息化建设的过程中, 信息系统逐渐增多, 但各自所采取的技术路线、应用平台千差万别, 难以实现信息资源共享。在这个背景下, 研究者提出了“智慧矿山”<sup>[1]</sup>的概念, 通过采用 Web Service 技术, 对现有信息系统进行服务封装和集成, 为上述难题的解决提供有效的解决方案。

<http://www.china-simulation.com>

• 798 •

在智慧矿山服务系统中, 服务运行策略处于核心地位, 直接决定了系统运行的效果。如果服务策略在运行过程中出现差错, 例如监控失效、报警失误等, 可能会造成灾难性的后果。因此, 对服务策略进行全面的测试评估就成为非常有必要的选择。但是, 由于煤矿事故的复杂性和煤矿环境的特殊性, 难以在实际环境中对服务策略进行测试评估。传统方法大都是基于历史数据进行分析, 无法对服务策略进行全面评估, 更不能对未发生的状况进行预测。因此, 如何对煤矿服务策略的效果进行全面评估就成为该领域亟待解决的问题。

计算实验具有精确可控、易操作、以及可设计和重复等特点, 尤其适用于风险较大、成本较高或者现实中无法进行直接实验的一些系统的研究, 包括交通系统<sup>[2]</sup>、战争模拟系统<sup>[3]</sup>、社会经济系统<sup>[4]</sup>、生态环境系统<sup>[5]</sup>等。基于此, 本文提出计算实验的方法对煤矿服务策略进行评估研究。该方法通过在 3D 虚拟矿山仿真平台上设计不同的“实验”方案, 精确模拟各类煤矿灾害事故发生的行为过程, 从而对服务策略在不同场景下的反应进行分析评估, 确定服务策略是否满足实际需求。

## 1 相关工作

对煤矿服务系统的服务策略进行评估, 从本质上讲是对煤矿中信息服务的集成效果进行评估。目前国内外对信息系统集成的评价方式有很多, 总体来讲分为定性评价法和定量评价法。定性评价法主要有安全检查表法<sup>[6]</sup>, 该方法将各信息系统生成的数据确定安全范围, 制成检查表, 运行中将各系统生成的数据与检查表对比, 发现异常及时报警, 排除隐患。专家评价法<sup>[7]</sup>, 该方法需要具有丰富经验的专家参与, 通过实地考察, 对信息集成的安全状态进行评估, 专家组根据考察结果讨论, 及时发现系统中出现的问题。另外还有因果分析法<sup>[8]</sup>, 该方法由日本质量管理专家石川馨<sup>[9]</sup>最早提出使用, 是根据在信息集成中已发生的事故, 动员员工集体找原因, 并将原因制成因果表, 提前排除隐患。除此

之外还有事故树分析法, 事件树分析法, 潜在问题分析法等, 这些都是定性分析法, 侧重主观因素判断。

定量分析法主要有层次分析法(AHP)<sup>[10]</sup>, 该方法由美国匹兹堡大学教授 A.L.Satty 教授于二十世纪 80 年代提出的, 是将各信息系统分解成不同的组成因素, 将因素按照不同的层次进行组合, 形成一个多层次的结构模型, 根据各层次的重要性, 赋予权值, 得出评价结果。另外还有 BP 神经网络法<sup>[11]</sup>, 该方法是将各信息系统引起事故的原因分解成多个因素, 按照事故的发展连成一个网络, 并赋予各因素相应的权值, 不断的改变网络的连接结构和权值大小, 推导事故发生的结果。灰色系统模型是将一切随机变量看作是一定范围内的灰色量, 以统计学的方式将这些灰色量进行归类, 从归类中找出规律。

煤矿环境复杂, 灾害(如瓦斯爆炸、火灾等)的突发性比较强, 并且灾害一旦发生就会造成国家财产和矿工安全的重大损失。上述传统分析方法主要是基于历史数据分析来进行判断, 无法对服务策略进行全面评估, 更不能对未发生的状况进行预测, 所以并不适合对煤矿信息系统的集成进行评估。基于此, 本文提出采用计算实验的方法对煤矿服务策略进行评估研究。

## 2 测试对象

随着矿山信息化和数字化程度的不断加深, 煤矿已经安装运行了大量的信息系统, 信息资源丰富, 具备了为矿工提供各种信息服务的技术基础。表 1 给出了煤矿上常见的各类信息服务<sup>[12]</sup>: ①情境信息服务主要用于获取用户周边的环境数据, 如人员定位服务提供矿工所处位置信息, 监控服务负责提供瓦斯浓度、风速等各类监控信息; ②矿山业务服务用于向矿工提供一些关键的工作辅助信息, 如隐患提示服务警示隐患突出, 逃生路径选择服务为矿工提供逃生路径等。

表 1 煤矿信息服务的简称和全称对应表  
Tab. 1 The abbreviation and full name of coal mine information services

服务名称	类别	缩写	英文全称
人员定位	情境信息服务	PPS	Personal Positioning Service
瓦斯监控	情境信息服务	GasMS	Gas Monitoring Service
氧气监控	情境信息服务	OxMS	Oxygen Monitoring Service
一氧化碳	情境信息服务	COMS	CO Monitoring Service
风速监控	情境信息服务	WSMS	Wind Speed Monitoring Service
温度监控	情境信息服务	TempMS	Temperature Monitoring Service
广播服务	业务服务	BcS	Broadcasting Service
用户端报警	业务服务	UAS	Users' Alarming Service
隐患提醒服务	业务服务	RAS	Hidden Notification Service
安全中心报警服务	业务服务	SCAS	Safe Center Alarming Service
逃生路线提示服务	业务服务	ERAS	Escape Routes Alerting Service

自适应调整策略是通过在多个服务策略之间切换来实现的。首先确定系统的工作情景是否改变，若原有的工作情景保持不变，则所采用的服务策略也不变；如果当前的工作情景发生了变化，则切换到合适的服务策略。整个处理过程需要处理两个关键问题：当前情景的识别，以及服务策略的调整。表 1 是煤矿中常用的信息服务措施，根据煤矿井下作业经验，通过查找资料给出常用的自适应服务策略(adaptive adjustment strategy, AA)，如式(1)所示。

$$AA = \begin{cases} RAS & \text{if } 0 < NR < NR_0 \\ (BCS, SCAS) \rightarrow RAS & \text{if } NR_0 < NR < NR_1 \\ (UAS, ERAS) \rightarrow (BCS, SCAS) \rightarrow RAS & \text{if } NR_1 < NR \end{cases} \quad (1)$$

式中：NR 表示当前的情景感知信息，[0, NR<sub>0</sub>]表示气体浓度在安全范围内的异常。调用 RAS，引起井下人员的注意；[NR<sub>0</sub>, NR<sub>1</sub>]表示气体浓度超出警戒范围，但可控。调用(BCS, SCAS, RAS)，BCS 提示矿工环境隐患突出，SCAC 提示服务系统调用干预策略，如加大通风，设备排查，RAS 继续提示隐患突出；[NR<sub>1</sub>, +∞]表示隐患严重超标，不可控。除了调用上述服务策略外，还要调用(UAS, ERAS)，用户端报警，并为矿工逃生提示逃生路线。

AA 中所制定的自适应调度策略是根据煤矿作业归纳出的有效方法。当[0, NR<sub>0</sub>]和[NR<sub>0</sub>, NR<sub>1</sub>]同时出现时，调度策略应优先处理[NR<sub>0</sub>, NR<sub>1</sub>]，也就是

隐患级别较高的情景，依次类推。

### 3 实验系统模型设计

第 2 节介绍了煤矿服务系统的主要服务策略。本节给出了环境模型、灾害 Agent 模型以及矿工 Agent 模型的详细建模过程。

#### 3.1 环境模型

环境模型包括基础地理数据，环境数据，这些数据由服务系统实时监控。这里以河南豫新煤业有限公司提供的井下局部巷道示意图进行环境模型说明，示意图如图 1 所示。

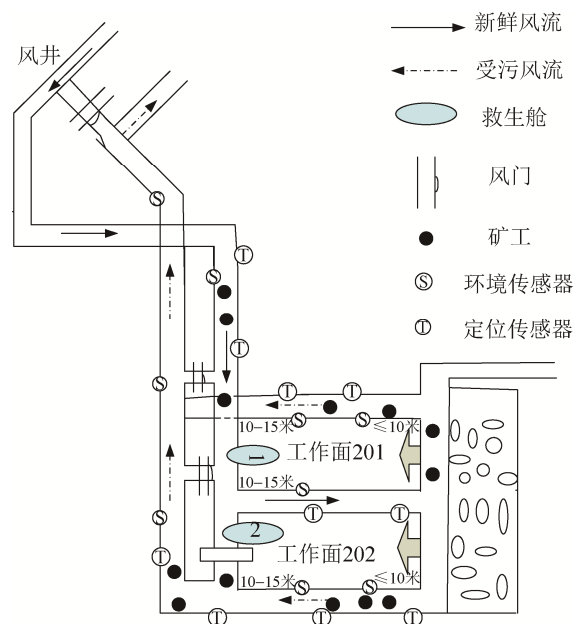


图 1 环境模型示意图  
Fig. 1 The schematic diagram of environment model

### ● 地理数据

河南豫新煤业有限公司的大黄山煤矿中心地理坐标: 东经  $88^{\circ}38'45''$ ; 北纬  $44^{\circ}02'15''$ 。井田东西走向长 3.507 km, 南北宽 1.566 km, 井田面积 5.491 4 km<sup>2</sup>。井田范围内有可采煤层 5 层, 这里按 1:5 000 的坐标比例绘制出总回风巷与 1 煤层的局部示意图。

### ● 环境数据

环境数据的生成主要包括 CH<sub>4</sub>, CO, O<sub>2</sub>, 风速和温度。根据中国煤炭手册提供的各监测信息的

数据范围, 运用计算机随机数算法生成该范围内的数据, 如表 2 所示。表中是煤矿环境主要信息的指标范围, 前一部分是在正常作业环境下的波动范围。若  $t$  时刻, Random 的值在设定范围内波动, 说明该监控信息在可控范围内出现异常, 引起安全隐患, 调用对应的应急服务策略应对。若 Random 的值大于最大范围, 安全隐患不可控, 需要更改服务策略应对。

表 2 环境信息报警指标范围  
Tab. 2 The alarm range of environment indicator

监测信息	指标范围
回风巷瓦斯浓度	$C(\text{CH}_4 \text{ 回风巷})(t)=[0.30\% \sim 0.50\%] + \text{Random}[0.01\%; > 0.20\%](t)$
采掘面瓦斯浓度	$C(\text{CH}_4 \text{ 采掘面})(t)=[0.50\% \sim 0.70\%] + \text{Random}[0.01\%; > 0.30\%](t)$
运输巷瓦斯浓度	$C(\text{CH}_4 \text{ 运输巷})(t)=[0.10\% \sim 0.30\%] + \text{Random}[0.01\%; > 0.2\%](t)$
一氧化碳浓度	$C(\text{CO 单位 ppm})(t)=[1 \text{ ppm} \sim 10 \text{ ppm}] + \text{Random}(10 \text{ ppm}; > 90 \text{ ppm})(t)$
氧气浓度	$C(\text{O}_2)(t)=[20.00\% \sim 21.00\%] - \text{Random}[0.01\%; > 2.20\%](t)$
采掘面温度	$\text{temp}(\text{C})(t)=[15.00 \text{ C} \sim 23.00 \text{ C}] + \text{Random}[0.01 \text{ C}; > 2.00 \text{ C}](t)$
主要进风巷风速	$\text{wind}(\text{m/s})(t)=[0.5 \text{ m/s} \sim 6.0 \text{ m/s}] + \text{Random}[0.1 \text{ m/s}; > 2.0 \text{ m/s}](t)$
运输巷风速	$\text{wind}(\text{m/s})(t)=[0.3 \text{ m/s} \sim 5.0 \text{ m/s}] + \text{Random}[0.1 \text{ m/s}; > 1.0 \text{ m/s}](t)$

## 3.2 灾害 Agent 模型

在对灾害 Agent 进行原型建模中, 主要考虑有毒气体泄漏这种情况。灾害 Agent 原型建模如式(2)所示。

$$\text{Agent} = \langle S_t, E_t, N \rangle \quad (2)$$

**状态属性  $S_t$ :** 灾害 Agent 粒子的状态集合, 在实验运行过程中, 伴随着时刻  $t$  不断发生变化, 灾害 Agent 的状态属性为:

$$S_t = \langle \text{Gas\_Place}_{\text{位置}}; \text{Gas\_Velocity}_{\text{蔓延速度}}; \text{Density}_{\text{浓度}} \rangle$$

**感知事件  $E_t$ :** 灾害 Agent 粒子的感知事件的集合, 在实验运行过程中, 对灾害粒子的状态属性产生影响, 主要感知事件为:

$$E_t = \langle \text{Wind}_{\text{风速}}; \text{Barrier}_{\text{障碍物}}; \text{Sprden}_{\text{蔓延浓度}} \rangle$$

### ● 灾害气体的蔓延速度

灾害气体的蔓延速度会受很多因素影响, 例如风速, 灾害源自身的强度(如突出的瓦斯量的大小等), 以及巷道的地理形状(例如直线或者拐弯等)等。影响瓦斯蔓延的速度如式(3)所示。

$$\text{gas\_Velocity}_{\text{CH}_4}(t) = \frac{a_1 \times \text{Wind}(t) \times a_2 \times S}{c \times \text{Barrier}(t)} \quad (3)$$

式中: Wind 表示风速;  $a_1$  为风速的影响系数;  $S$  表示瓦斯蔓延的强度;  $a_2$  为其影响系数; Barrier() 表示障碍物的影响因素;  $c$  是根据具体环境中影响系数。

### ● 灾害气体的蔓延位置

灾害气体下一时刻的蔓延位置, 是由气体当前时刻的蔓延位置和当前的蔓延速度决定。灾害气体的蔓延位置模型如式(4)所示:

$$\text{gas\_Place}(t+1) = \text{gas\_Place}(t) + \text{gas\_Velocity}(t) \times \text{fDelta} \quad (4)$$

式中: gas\_Place() 表示灾害 Agent 的位置, gas\_Velocity() 表示灾害 Agent 的速度。灾害气体  $t+1$  时刻的蔓延位置是由  $t$  时刻的位置和速度所决定。

灾害气体下一时刻的蔓延位置及浓度是由当前时刻的蔓延位置及浓度和当前时刻的蔓延速度所决定, 蔓延浓度的变化模型如式(5)所示。



$$\begin{aligned} \text{Sprden}(\text{place}(x, y, z), t + 1) = \\ \text{Sprden}(\text{place}(x, y, z), t) + \\ \text{gas\_Velocity}(x, y, z)(t) \end{aligned} \quad (5)$$

式中:  $\text{Sprden}(\text{place}(x, y, z), t)$  表示  $t$  时刻  $\text{place}(x, y, z)$  的蔓延浓度,  $\text{gas\_Velocity}(x, y, z)(t)$  表示  $t$  时刻灾害气体的蔓延速度, 两者相加可以计算出  $t+1$  时刻灾害气体的蔓延位置和浓度。

● 有害气体浓度变化模型

井下巷道的有害气体浓度是由该位置的原始气体浓度加上蔓延气体浓度两部分组成, 两者叠加就是该位置的监测浓度如式(6)所示。

$$\begin{aligned} \text{Density}(\text{place}(x, y, z), t + 1) = \\ \text{Density}(\text{place}(x, y, z), t) + \\ \text{Sprden}(\text{place}(x, y, z)(t) \end{aligned} \quad (6)$$

式中:  $\text{Density}$  表示井下  $\text{place}(x, y, z)$  在  $t$  时刻灾害气体的原始浓度,  $\text{Sprden}$  表示该位置的气体蔓延浓度, 两者叠加, 就是该位置的灾害气体的监测浓度。

**约束条件  $N$ :** 每个粒子都要受到约束条件  $N$  的制约。每个灾害 Agent 粒子都有自己的生命周期  $T$ , 当生命周期完成后, 自动从系统中消失; 当灾害 Agent 粒子在一定的巷道区域内聚集达到一定数量  $W$  时即瓦斯气体的浓度值达到 9% 左右时, 该区域会极有可能发生瓦斯爆炸。

3.3 矿工 agent 的建模

矿工 Agent 的运行机制如图 2 所示, 其模型用式(7)来表示。

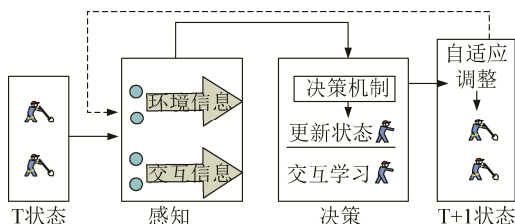


图 2 矿工 Agent 运行示意图

Fig. 2 The operation diagram of miner agents

$$\text{Agent} = \langle R, S_t, E_t, V_t, Y_t, N \rangle \quad (7)$$

**特征属性  $R$ :** 矿工 Agent 所具有的特征属性, 每个 Agent 都具备, 但又有所不同, 在运行过程中不会发生变化, 能够影响 Agent 的决策和行为方

式。其主要特征属性如下, 其它 Agent 类似。

$$R = \langle \text{Age}_{\text{年龄}}; \text{Workage}_{\text{工龄}}; \text{Jobs}_{\text{工种}} \rangle$$

**状态属性  $S_t$ :** 矿工 Agent 所具有的状态属性的集合, 在运行过程中不断发生变化, 主要反映 Agent 在  $t$  时刻的当前状态。其主要特征属性如下所示, 其它 Agent 类似。

$$S_t = \langle \text{Place}_{\text{位置}}; \text{Velocity}_{\text{速度}}; \text{Poison}_{\text{中毒状态}}; \text{Work}_{\text{工作状态}}; \text{Escape}_{\text{逃生状态}} \rangle$$

**感知事件  $E_t$ :** 矿工 Agent 所感知到的, 对其状态及行为可产生刺激作用的外在事件的集合。Agent 根据当前时刻的状态和  $t$  时刻所感知到的信息, 影响其行为决策, 从而影响  $t+1$  时刻的状态。其主要属性如下, 其它 Agent 类似。

$$E_t = \langle \text{Outburst}_{\text{瓦斯突出}}; \text{Accompany}_{\text{伴随逃生}}; \text{Clientalarm}_{\text{用户端报警}}; \text{Crowd}_{\text{拥挤}}; \text{Interact}_{\text{交互}} \rangle$$

● 人员逃生模型: 人员逃生受到很多因素影响, 比如矿工的速度, 矿工的年龄, 巷道的拥挤程度以及从众心理等等。因此, 总结出影响矿工逃生的模型公式, 如式(8)所示。

$$\text{Velocity}_{\text{worker}}(t) = \frac{\partial \times \text{Vec}(t)}{\theta \times \text{Age} \times \text{Cro}(t)} \quad (8)$$

式中:  $\text{Vec}(t)$  表示  $t$  时刻矿工的正常行走速度, 是  $\alpha$  其影响系数, 如体力等;  $\text{Age}$  表示矿工的年龄, 根据煤矿年龄构成, 近似认为矿工年龄大速度慢;  $\text{Cro}(t)$  表示  $t$  时刻巷道的拥挤程度, 巷道拥挤则矿工速度减慢,  $\theta$  是根据具体情况制定的影响系数。

● 矿工智能体(Agent)位置模型:  $\text{pos}(t+1) = \text{pos}(t) + \text{state}$ 。

$$\begin{aligned} \text{Place}(x, y, z)_{\text{worker}}(t + 1) = \\ \text{Place}(x, y, z)_{\text{worker}}(t) + \\ \text{Velocity}(x, y, z)(t) \end{aligned} \quad (9)$$

矿工的位置模型如式(9)所示,  $\text{Place}(t+1)$  表示矿工  $t+1$  时刻的位置, 是由矿工  $t$  时刻的位置和  $t$  时刻的速度共同决定。当矿工从作业状态进入逃生状态后, 根据矿工的初始位置, 式(8)和式(9)可以计算出一段时间内矿工 Agent 在巷道中的逃生距离。

**决策机制  $Y_t$ :** 矿工 Agent 在感受外在事件刺激以及与其他 Agent 进行交互学习的过程中, 为了保

证自身安全, 需要根据外部环境的变化和自身的状态不断做出分析和决策。例如矿工收到井下广播数据, 则决策机制将矿工的状态调整为逃生状态。另外, 矿工 Agent 在运行过程中, 会不断与其他 Agent 进行交互以提升自己的作业经验, 如式(10)所示。 $\oplus$  表示决策机制  $Y_{t-1}$  基于环境状态  $E_{t-1}$  的更新,  $f(Y_t)$  表示决策  $Y_t$  对行为  $V_t$  的函数映射。以矿工 Agent 为例, 其主要决策集合如表下:

$$Y_t = \left\langle \text{Stateswitch}_{\text{状态切换}}, \text{InterStudy}_{\text{交互学习}} \right\rangle$$

$$Y_t = Y_{t-1} \oplus E_{t-1} \quad (10)$$

$$v_t = f(Y_t) | \varepsilon(\alpha, v_t, E_t, Y_t) \Rightarrow \langle S_{t+1}, N \rangle$$

$\varepsilon(\alpha, v_t, E_t, Y_t)$  表示矿工 Agent 主体  $\alpha$  在环境感知  $E_t$  和决策  $Y_t$  的情况下完成行为  $v_t$ ,  $\Rightarrow$  表示下一时刻状态集合  $S_{t+1}$  满足了约束条件 N。

#### ● 矿工智能体(Agent)的状态转换机制

对于状态转换机制, 主要是指  $t$  时刻, 矿工 Agent 在感受外界环境变化后, 在决策机制的参与下, 由当前状态进入另一个新的状态以自适应调整满足环境的变化, 具体细节如下:

a) 矿工 Agent 由正常状态转为中毒状态

```
if(Worker(i).Poison(t) == true)
Stateswithch(a) => Worker(i).Velocity(t) * 50%
//矿工i速度减半
poi_time ++ //中毒时间累加
if(Worker(i).Poison(t).poi_time > Maxtime)
//中毒时间超过最大时长
Stateswithch(a) => Worker(i).Velocity(t)=0
```

式(11)表示, 第  $i$  名矿工的中毒状态为 true, 则决策机制将该矿工  $t$  时刻的速度值减半, 若中毒时间大于最大时长 Maxtime, 则矿工的速度变为 0。

b) 矿工 Agent 由作业状态转为逃生状态

```
if(Broadcast(t).state == true ||
Outbrust(t).state == true ||
Clientalarm(t).state == true ||
Accompany(t).state == true)
Stateswithch(b) =>
Worker(i).Escape(t) == true
```

程序中将广播报警、瓦斯突出、客户端报警、伴随逃生等设为 bool 类型, 公式(12)表示, 当井下出现广播报警、瓦斯突出、客户端报警或矿工伴随逃生等情况后, 在决策机制的参与下, 矿工  $i$  的逃生状态被激活。

c) 矿工 Agent 相互交互促使矿工经验变换

$$\text{if}(\text{Worker}(i).\text{InterStudy}(\text{message}) \Rightarrow \text{Worker}(j))$$

$$\text{Stateswithch}(c) \Rightarrow \text{Worker}(j).\text{get}(\text{message}) \quad (13)$$

公式(13)表示, 矿工  $i$  将交互信息(如逃生信息、经验信息、路线信息等坐标值等)发送给矿工  $j$ , 矿工  $j$  获得该信息技能, 并存储在技能库中, 矿工经验获得增长。

**约束条件 N:** 矿工 Agent 的约束条件主要包括:

矿工处在有毒气体环境中, 吸入有毒气体的最大限制时长  $T$ , 当矿工处在一定浓度有毒气体的时长超过  $T$  时, 矿工进入中毒状态; 当矿工处在逃生环境中, 由于年龄、速度的不同, 矿工会发生拥挤。设定当最大相邻人数为  $M$  时, 矿工进入拥挤状态, 则逃生速度会发生对应的变化。

## 4 实验系统的平台开发

如图 3 所示, 本文以某国有矿山的地理数据和监控数据(2014 年 5 月~6 月)为基础, 构建了一个与真实情况相似的 3D 矿井实验系统, 包括生产场景(矿井巷道网络结构, 当前工作面位置、通风方向等)、环境要素(瓦斯、CO、氧气、风速等的变化趋势)、人员分布(井下各区域人口数量、组成和分布信息)、设备运行状态(主扇、局扇、风门、采煤机、皮带、水泵、压风机)等。

图 3 左上的矿工配置界面可以对矿工 Agent 的各项基本信息(如 ID、年龄、工种、工龄等)以及所需要的服务进行配置。然后, 对矿工智能体所需要的服务进行配置, 选择“井下人员定位服务(PPS)”和各类监控系统(瓦斯浓度、CO 浓度、氧气浓度、温度、风速等)作为 Alarm 服务的直接情境信息提供者。

图 3 左中是服务推理配置界面, 可对系统的推



理规则进行修改、添加和删除。这里的规则包括：  
①人员定位服务能够在一定距离内辨识出矿工配备的无线标识卡，以及他的基本信息(包括姓名、年龄、所属班组、所属工种等)，并根据传感器的位置确定该矿工的位置信息。②然后根据矿工的位置调用各类监控服务，以获取该位置的瓦斯浓度、氧气浓度、CO 浓度、温度、风速等。③当矿工周围监测的有害气体浓度过高时，服务系统应该向矿工提供相应的报警信息。

图 3 左下是环境事件配置界面，该界面可对仿

真实验中的环境数据进行配置，包括危险源的初始值、异常值、报警值和危险值。情境数据在一定范围内随机生成，这里危险源的异常值、报警值和危险值出现率之和保持在 1%左右。

图 3 中下是根据环境事件配置界面设定的灾害属性和矿工配置界面设定的矿工属性，在仿真环境中进行实验。每个时刻  $t$ ，矿工 Agent 和灾害 Agent 都在更新。服务推理配置界面根据情景感知 Agent 信息，调用对应的应急服务策略进行干预，通过该仿真环境观察灾害发展过程，并对效果进行评估。

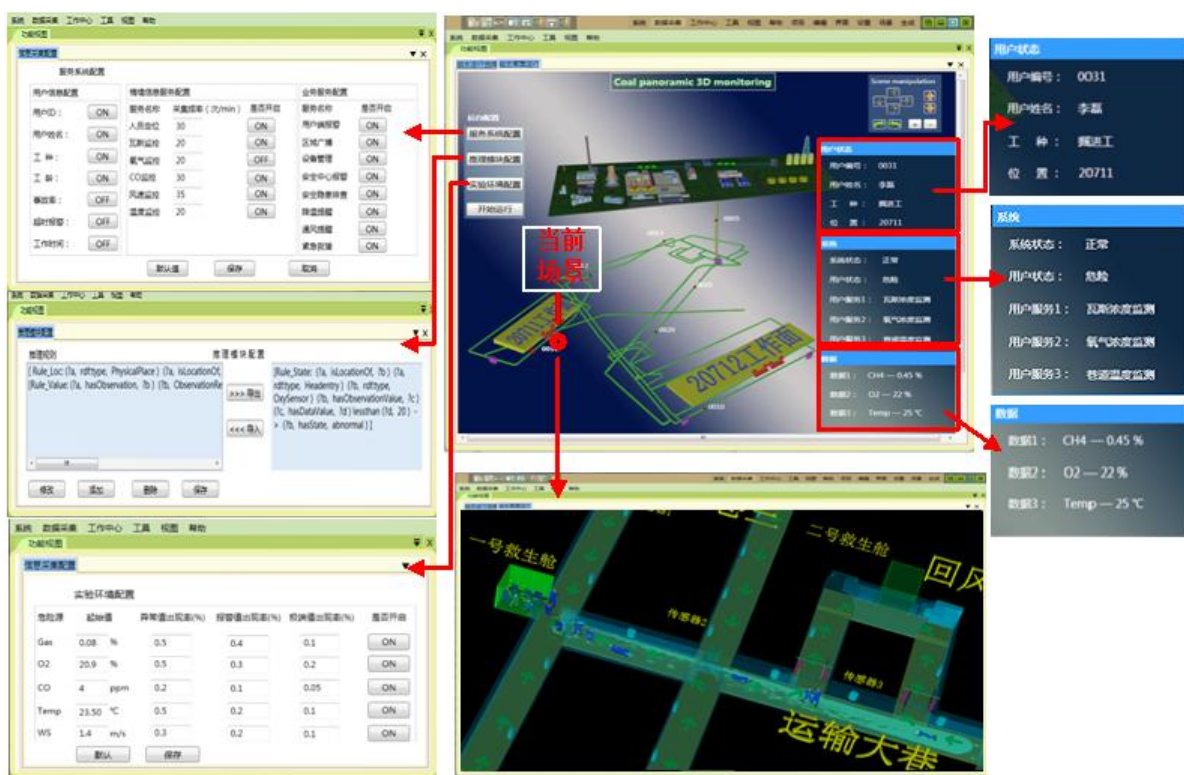


图 3 三维虚拟矿山实验平台的配置界面和工作界面

Fig. 3 The configuration and working interface of three-dimensional virtual mining experimental platform

● 测试指标

本文对煤矿服务策略的评估主要包括服务调用的响应率和服务策略的正确率。服务调用响应率指实验系统能否对所有的异常场景做出及时响应。这里设定服务策略响应率为  $r$ ，异常次数为  $E$ ，系统做出响应的次数为  $R$ ，则响应率  $r$  如式(14)所示。

$$r = \frac{R}{E} \tag{14}$$

服务策略的正确率是指实验系统能否按照给

出的服务策略对所有异常场景做出正确的响应。设定服务策略的正确率为  $a$ ，服务调用的次数为  $E$ ，系统做出正确的响应次数为  $A$ ，则服务策略的正确率  $a$  如式(15)所示。

$$a = \frac{A}{E} \tag{15}$$

5 案例研究

在煤矿中，瓦斯浓度异常是一种常见安全隐

患。这里通过在实验环境中设置“瓦斯浓度超标”的实验场景,来测试服务策略是否能够为矿工提供有效的信息服务。

### 5.1 实验目的

本实验的场景是一名安全检查员在井下作业期间,采掘面出现瓦斯泄漏,瓦斯浓度超过可控范围,服务策略需要为矿工提供逃生路线。MSP (Monitoring service composition)表示调用的监控服

务组合,  $MSP = PPS + GasMS + OxMS + COMS + WSMS + TempMS$ 。ISP(Intervention service composition)表示调用的干预服务组合,  $ISP = BcS + UAS + RAS + ERAS$ 。本实验的主要目的是测试当场景中只有一名矿工时,实验系统的监控服务组合和干预服务组合的响应率和正确率的变化趋势。

### 5.2 实验参数设置

整个实验的参数设置如表 4 所示。

表 4 实验系统参数设置  
Tab. 4 The setting of experiment parameters

系统变量	实验设置	变量总计
系统环境	20711 工作面, 1301 回风巷, 运输巷	1
坐标范围	(-254, -16, -243)~(-124,44, -243)	0
环境传感器数量	12(集成 CH <sub>4</sub> ; CO; O <sub>2</sub> ; 温度; 风速)	12
环境传感器位置	12 分布在(20711 工作面, 1301 回风巷, 运输巷); 间距 10 米	12
矿工数量	1(工种: 安全检查员)	1
矿工位置	1(1301 回风巷)	1
矿工定位	开启	1
灾害类型	瓦斯浓度异常, 伴随氧气浓度异常	1
灾害源位置	20 711 工作面	1
巷道风速及风向	初始风速 2.4 m/s 逆向风	1
广播服务(BcS)	开启	1
用户端报(UAS)	开启	1
安全中心报警服务(SCAS)	开启	1
隐患提醒服务(RAS)	开启	1
逃生路线提示服务(ERAS)	开启	1

### 5.3 实验过程

图 4 给出了 20711 工作面的局部平面示意图,安全检查员位于 A 点位置,20711 工作面出现瓦斯泄漏,在通往救生舱的位置有两条路径可供选择,分别是 A->B->C->D 和 a->b->c->d。表 5 是在一次实验过程中矿工在经过各个位移节点时,系统获取的各类情景信息以及在相应节点所提供的服务策略。

关键的坐标位置如下: B(-240, -8, -243); b(-141, -10, -243); c(-141,32, -243); C(-240,32, -243); 矿工(-190, -8, -243); 救生舱(-185,36, -243)。

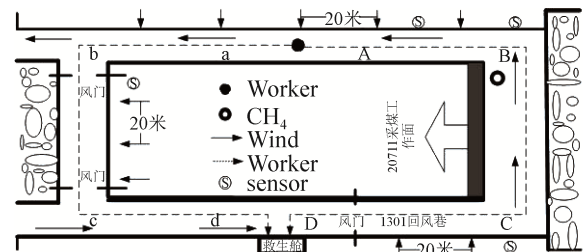


图 4 实验示意图

Fig. 4 The schematic diagram of experiment operation

ERAS(逃生路径提示服务)根据两条路线监测点的监测信息,进行隐患比较,为矿工提供隐患最低的路线。在多次重复试验中,修改灾害源的初始位置和持续时间,会出现有时 A->B->C->D 隐患较低,有时 a->b->c->d 隐患较低,从而检验服务策略

是否能为矿工提供正确的逃生路线提示。试验中需要调用的监控服务组合主要包括 PPS+GasMS+OxMS+COMS+WSMS+TempMS。需要调用的干预服务组合主要包括 BcS+UAS+RAS+ERAS。

ERAS 根据两条路线的监测信息，向矿工提供隐患较低的路线。路线信息是一系列巷道交叉处的

坐标值如  $\{x_1, y_1, z_1\}, \{x_2, y_2, z_2\}, \{x_3, y_3, z_3\}, \{x_4, y_4, z_4\}$ ，根据矿工的  $place(x, y, z)$ ，遍历 route 中的坐标值与  $place(x, y, z)$  作比较，即  $\sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2}$  选择其中的最小值，作为矿工的逃生方向，产生速度，依次循环进行，最终矿工逃往救生舱。

表 5 位置节点的情景信息和对应的服务组合策略  
Tab. 5 The context data at each node and the corresponding service composition strategy

位移节点	Acquired Context Value(t1 时刻)					IndirectContext	业务服务组合
	O <sub>2</sub> -%	CO-xppm	CH <sub>4</sub> -%	Temp-°C	Wind-m/s		
A-t1	21.3	7	0.3	23.2	2.8		null
B-t1	20.8	8	0.9	24.2	3.1	(CH <sub>4</sub> -State, danger)	RAS
C-t1	20.3	5	2.1	23.8	3.6	(CH <sub>4</sub> ;O <sub>2</sub> -State, very danger)	(RAS)-->(BCS,SCAS)-->UAS-->ERAS
D-t1	21.5	4	1.1	23.9	2.8	(CH <sub>4</sub> -State, danger)	RAS
a-t1	20.5	6	0.3	23.2	3.2		null
b-t1	20.5	6	1.5	24.2	3.5	(CH <sub>4</sub> ;O <sub>2</sub> -State, danger)	RAS
c-t1	19.8	7	2.9	23.8	4.3	(CH <sub>4</sub> ;O <sub>2</sub> -State, very danger)	(RAS)-->(BCS,SCAS)-->UAS-->ERAS
d-t1	21.1	7	1.8	23.9	4.7	(CH <sub>4</sub> ;O <sub>2</sub> -State, danger)	RAS
...	...	...	...	...	...	...	...

### 5.4 实验分析

针对该实验场景，我们在虚拟仿真平台上发生了 300 次实验，以测试服务策略在这个过程中响应率和正确率的变化趋势。在实验过程中，修改矿工的工龄、工种、初始位置、初始风速以及隐患发生的类型和持续时间，主要测试了 PPS、GasMS、OxMS、TempMS、UAS、ERAS 这 6 种信息服务的响应率以及 RAS、BCS-->SCAS、USA-->ERAS、BCS-->USA-->ERAS 这 4 种服务策略的正确率。

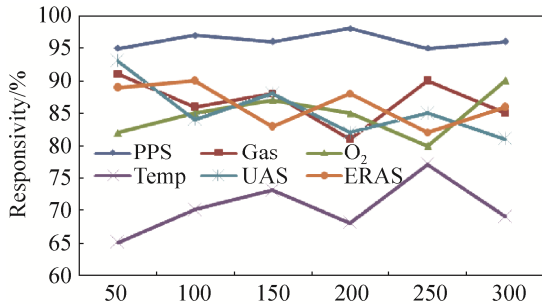
由于煤矿中温度信息的隐患级别低于瓦斯监控和矿工定位，所以环境监控对不同信息的采集频率会有所区别，设定瓦斯(10 秒/次)，矿工定位、氧气(20 秒/次)，温度(30 秒/次)。系统优先处理隐患较高的服务策略，由于硬件设备的限制，为保证系统运行流畅，当多种隐患信息同时出现时，设定最大处理个数为 5 个，超过这个数量，则系统自动删除。

完成 300 次实验后，对实验结果进行统计，根据式(14)得到服务策略在不同实验次数中的响应

率。如图 5(a)所示，仿真平台在整个测试过程中，对各种服务的响应率有一定的波动，但总体维持在 80%以上。其中用户定位服务 PPS 的响应率达到 95%以上，说明当场景中只有一名矿工时，服务系统对定位服务的响应率很高。但是服务系统对温度变化的响应率不高，在 70%左右，经过分析可知，温度的隐患等级低于其它几类隐患信息，采集频率较低。当多种服务策略同时出现时，优先处理隐患级别较高的异常信息，对温度异常的响应就会被延误，当超过规定的期限，系统就自动删除，这就导致服务系统对温度异常的响应率较低。

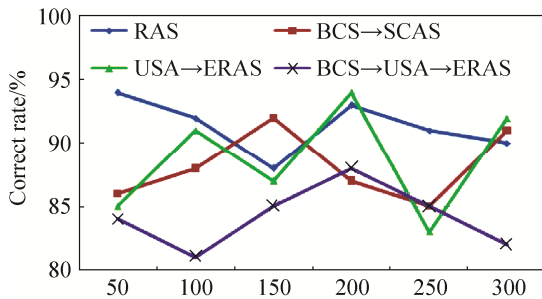
完成 300 次实验后，将运行记录与式(1)的服务组合策略进行对照，验证服务系统所提供的服务组合策略是否与隐患信息相对应。如果不对应或者不完整，则视为一次错误的服务。对实验结果统计后，根据式(15)得到服务策略在不同实验次数下的正确率。如图 5(b)所示，系统在大多数情况下能对各类异常做出正确的响应。经过分析发现，系统在

单一异常情况下, 准确率较高, 当多种隐患同时出现时, 服务调用过程会出现延迟, 可能是情景信息判断错误, 需要查看数据库日志进行具体判断。



(a) 服务策略的响应率

(a) The response rate of service strategy



(b) 服务策略的正确率

(b) The accuracy rate of service strategy

图 5 服务策略的性能比较

Fig. 5 The performance comparison of different services strategies

## 6 结论

我国煤矿信息化实施多年, 随着信息系统来源增多, 导致系统集成后的效果如何却不得而知。近年来煤矿事故时有发生, 因此对煤矿信息系统的服务策略进行评估显得很有必要。因为煤矿事故对矿工生命安全和矿井硬件设施会产生重大影响, 因此不可能人为的制造煤矿事故来对服务策略进行评估测试。针对该问题, 本文提出采用计算实验的方法对煤矿服务策略进行评估研究。文中首先给出了煤矿服务系统的主要服务策略; 然后通过煤矿实际环境考察, 构建了与真实环境相符的实验系统模型; 最后根据模型分析, 构建出三维虚拟矿山实验平台, 在平台上设计不同的“实验”方案, 精确模拟各类煤矿灾害事故发生的行为过程, 从而对服务策

略在不同场景下的反应进行分析评估。实验结果证明, 该方法可以评估出煤矿服务策略的集成效果。

在今后的研究中, 可以对矿井巷道自动绘制技术进行拓展, 根据现有的煤矿图纸, 在实验平台上自动生成巷道。运用构建的环境模型、矿工 Agent 模型和灾害 Agent 模型, 在实验平台上进行实验演练, 从而实现真实煤矿系统与虚拟实验系统并行运行, 及时发现真实系统中存在的问题。

## 参考文献:

- [1] 薛霄, 常静坤, 安吉宇. 智慧矿山服务系统的情境感知实现技术研究 [J]. 计算机研究与发展. 2014, 51(12): 2746-2758. (Xue Xiao, Chang Jingkun, An Jiyu. Intelligent Service System with Context-Awareness Capability for Coal Mine Industry: Design and Implementation [J]. Journal of Computer Research and Development, 2014, 51(12): 2746-2758)
- [2] 陈松航, 汤淑明, 朱凤华, 等. 人工交通系统计算实验的分布式框架研究 [J]. 系统仿真学报, 2013, 25(4): 605-611. (Chen Songhang, Tang Shuming, Zhu Fenghua, et al. Research on Distributed Framework for Computational Experiments Based on Artificial Transportation Systems [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2013, 25(4): 605-611.)
- [3] 杨镜宇, 司光亚, 胡晓峰. 战争分析仿真实验: 战争工程方法学的一类实践 [J]. 系统仿真学报. 2005, 17(11): 2775-2779. (Yang Jingyu, Si Guangya, Hu Xiaofeng. Simulation-based Warfare Analysis Experiment: a Practice of War Engineering Methodology [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2005, 17(11): 2775-2779.)
- [4] 王国成. 基于 Agent 真实行为揭示社会经济复杂之谜——集成建模与计算实验的实现途径 [J]. 中国社会科学院研究生院学报, 2012(5): 35-41. (Wang Guocheng. On the Complexity in Society and Economy based on the Agent-Real-Behavior---Realizing Path to Integrated Modeling and Computational Experiment [J]. Journal of Graduate School of Chinese Academy of Social Sciences, 2012 (5): 35-41.)
- [5] 李光辉, 夏其表, 李洪. 基于渗透理论的林火蔓延模型研究 [J]. 系统仿真学报, 2008, 20(24): 6595-6598. (Li Guang-hui, Xia Qi-biao, Li Hong. Forest Fire Spread Model Based on Percolation Theory [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2008, 20(24): 6595-6598.)

(下转第 817 页)

<http://www.china-simulation.com>