

基于SPA和QoX的不一致性消除算法

邢庆华, 许宏吉, 刘强, 樊士迪, 李恬阔, 陈敏

引用本文

邢庆华, 许宏吉, 刘强, 樊士迪, 李恬阔, 陈敏[基于SPA和QoX的不一致性消除算法](#)[J]. 计算机科学, 2022, 49(11A): 210700122-7.

XING Qing-hua, XU Hong-ji, LIU Qiang, FAN Shi-di, LI Tian-kuo, CHEN Min. [Inconsistency Elimination Algorithm Based on SPA and QoX](#) [J]. Computer Science, 2022, 49(11A): 210700122-7.

相似文章推荐 (请使用火狐或 IE 浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

[基于骨骼关键点检测的多人行为识别](#)

Multi-person Activity Recognition Based on Bone Keypoints Detection

计算机科学, 2021, 48(4): 138-143. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.200300042>

[基于深度主成分相关自编码器的多模态影像遗传数据研究](#)

Study on Multimodal Image Genetic Data Based on Deep Principal Correlated Auto-encoders

计算机科学, 2020, 47(4): 60-66. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.190300073>

[一种基于程序切片相似度匹配的脆弱性发现方法](#)

Vulnerability Discovery Approach Based on Similarity Matching of Program Slicing

计算机科学, 2019, 46(7): 126-132. <https://doi.org/10.11896/j.issn.1002-137X.2019.07.020>

[基于伪PCA的手写数字识别算法](#)

Handwritten Numeral Recognition Algorithm Based on Similar Principal Component Analysis

计算机科学, 2018, 45(11A): 278-281.

[RST与SPA的广义等价](#)

Generalized Equivalence between RST and SPA

计算机科学, 2010, 37(2): 167-170.

基于 SPA 和 QoX 的不一致性消除算法

邢庆华 许宏吉 刘 强 樊士迪 李恬阔 陈 敏
山东大学信息科学与工程学院 山东 青岛 266237
(2627597774@qq.com)

摘 要 在情景感知计算(Context Aware Computing,CAC)的研究与应用过程中,不可避免地会遇到情景信息的不确定性问题。而情景信息不一致性是不确定性问题中最难解决的突出问题,因此如何合理、有效地处理情景信息的不一致性尤为重要。针对情景信息不一致性问题,提出了一种基于集对分析(Set Pair Analysis,SPA)和情景信息综合质量指标(Quality of Comprehensive Indexes,QoX)的不一致性消除算法,其使用 QoX 对情景信息综合质量进行度量和评估,提高了情景信息综合质量度量的完整性和精确性;同时,该算法使用 SPA 对所求质量指标从同一度、对立度、差异度 3 个方面进行定量分析,从而保证情景信息质量计算过程所考虑的因素更为全面。实验结果表明,相比传统的不一致性处理算法,所提算法的判决正确率有明显提升。
关键词:QoX;集对分析;情景信息感知;情景信息不一致性消除
中图法分类号 TP391

Inconsistency Elimination Algorithm Based on SPA and QoX

XING Qing-hua,XU Hong-ji,LIU Qiang,FAN Shi-di,LI Tian-kuo and CHEN Min
School of Information Science and Engineering,Shandong University,Qingdao,Shandong 266237,China

Abstract In the research and application of context-aware computing(CAC),it is inevitable to face the problems of uncertainty for context information. Context inconsistency is the most difficult problem to solve in the uncertainty problems. How to deal with context inconsistency reasonably and effectively is an important problem that must be solved. In this paper,a new inconsistency elimination algorithm based on set pair analysis(SPA) and quality of comprehensive indexes(QoX) is proposed to solve the inconsistency problem. The algorithm uses some parameters of QoX to evaluate the overall quality of contexts collected by the context sources,which improves the completeness and accuracy of the evaluation of overall quality of context. In addition,the algorithm uses SPA to quantitatively analyze the quality index from the similarity,opposition and difference,and takes into account the comprehensiveness in the calculation process of quality of context. Experimental results show that the proposed algorithm has higher accuracy than traditional processing algorithms.
Keywords QoX,Set pair analysis,Context-aware,Context inconsistency elimination

1 引言

随着通信技术、传感器技术以及网络技术的日趋成熟,情景感知技术得到了迅速的发展,情景感知系统也渐渐地融入人们的日常生活中。情景感知技术简单来说就是通过传感器及其相关技术使计算机设备能够“感知”到当前的情景信息,而情景感知系统则是对感知到的情景信息进行融合与推理并保障智能系统输出可靠的判断结果。情景感知计算是情景感知系统的关键技术之一,它最早由 Schilit 等提出,他们将情景感知计算中的情景信息定义为:情景信息是环境本身以及环境中各实体明示或暗示的可用于描述其状态(含历史状态)的任何信息,其中,实体可以是人、地点等物理实体,也可以是诸如软件、网络等虚拟实体^[1]。

在情景感知系统中,环境的高动态性、设备之间的异构性

以及计算资源的复杂性等都会导致系统感知到的情景信息在进行融合推理的过程中存在明显的冲突现象,这种冲突现象被称为情景信息不一致性。例如,巡航导弹通常布有惯性制导、GPS 制导、地形匹配制导等多种制导方式^[2],在对原始数据进行采集与融合推理的过程中,由于传感器精度不同、设备的异构性、网络的延迟等原因,采集到的情景信息往往是不准确的、不完整的或不及时的,对这样的情景信息进行融合与推理,其结果很可能会导致识别结果不准确或者出现不一致。因此,解决情景信息的不一致性问题是对情景信息进行准确后续处理的基础。目前,一些学者对不一致性问题进行了大量的研究。Zhang 等提出了一种基于置信度数据库的反馈机制^[3];Zheng 等提出了新的情景信息质量管理办法^[4];Yuan 等研究了一种基于模糊逻辑的感知推理中间件,旨在解决推理过程中的冲突问题^[5];本课题组 Chen 等提出了一种融合

基金项目:山东自然科学基金(ZR2020MF139);国家重点研发计划(2022YFC3302800)
This work was supported by the Natural Science Foundation of Shandong Province,China(ZR2020MF139) and National Key Research and Development Program of China(2022YFC3302800).
通信作者:许宏吉(hongjixu@sdu.edu.cn)

多参数的情景信息整体质量指标来提高不一致性消除算法的判决正确率^[6];Chen 等提出了一种不一致性错误的修复技术 Hybrid-Fixing^[7]。然而,传统不一致性问题的处理方法没有充分考虑情景信息源的多重情景信息质量,由于缺乏合理、有效的科学理论支撑,对相关情景信息质量参数的分析也没有进行全面化、定量化的分析,导致其普遍存在灵活性差、判决准确率低、面向场景单一的缺点,从而无法对有用情景信息进行合理有效的不一致性处理。因此,如何实现合理有效的情景信息不一致性处理,满足情景感知系统对于普适性、灵活性和高准确性的要求,是情景感知系统中的重要研究内容。

为解决上述问题,本文提出了一种基于集对分析(Set Pair Analysis,SPA)和情景信息综合质量指标(Quality of Comprehensive Indexes, QoX)的不一致性消除算法。相较于传统的不一致性消除算法,该算法一方面综合考虑情景信息源的多重情景信息质量,其考虑因素更全面,适用于更多应用场景,普适性较强;另一方面,采用集对分析方法对本文所涉及的情景信息质量参数从同一度、对立度和差异度 3 个方面进行定量分析,进而对不确定性进行统一的刻画与描述。此外,所提算法采用全新的基于层次分析(Antalytic Hierarchy Process, AHP)和多重质量指标的组权重分配方法进行权重分配,为高度动态的智能感知场景的权重分配问题提供了合理有效的解决方式,具有较高的灵活性。

2 相关原理

2.1 QoX

在情景感知计算的研究和应用过程中,情景感知环境往往存在动态性和复杂性等特性,要在这些复杂的环境下实现准确高效的计算,就需要实时、准确地感知系统环境的变化,以得到准确无误的情景信息。然而,无论环境怎么变化,情景信息与环境数据均存在其本身固有的质量属性,Buchholz 等根据情景信息质量属性的固有特点,提出了情景信息质量(Quality of Context, QoC)的概念^[8-9]。除了 QoC 指标之外,还存在一些面向系统其他层面的质量指标,如采集设备质量(Quality of Device, QoD)、服务质量(Quality of Service, QoS)以及用户体验质量(Quality of Experience, QoE)^[10-11]。其中, QoD 主要面向情景信息采集层,用于衡量情景信息源的质量,主要包含传感器精度、使用寿命、采样频率、传感器测距等参数;QoS 主要面向情景信息感知系统的服务层面,主要包含系统响应时间、吞吐量、丢包率等参数^[12]。此外,情景信息感知系统正在逐步以改善用户体验为核心需求进行优化和发展,因此, QoE 指标就显得越来越重要,其主要面向用户层面,获取途径分为主观测量与客观预测。Xu 等将 QoD, QoC, QoS 和 QoE 综合定义为综合质量指标——QoX,并将其融入到情景感知系统中,以实现系统的优化建模^[13]。本文在不一致性消除过程中,使用了 QoX 中的多种相关质量参数,如情景信息正确率参数、可靠性参数、采集设备质量参数以及用户主观反馈质量参数等,以实现对各情景信息源的综合质量的量化评估。

2.2 集对分析

集对分析是处理系统确定性与不确定性相互作用的数学理论,由中国学者 Zhao 于 1989 年提出^[14]。集对分析的基本原理是从同一度、差异度、对立度 3 个方面来研究所要处理问

题的两个集合之间的相互联系程度。

以本文要处理的不一致性问题为例,针对某一具体问题,对集合 B1 和集合 B2 组成的集合对 $H=(B1, B2)$ 进行分析,该集合对共有 m 项特性。其中在集合对 H 中共有的特性有 s 项,相对立的特性有 p 项,其余为这两个集合对中既不同一也不对立的特性有 $f=m-s-p$ 项。在不考虑集合对各特性权重的情况下,集合 B1 与集合 B2 在该不一致性问题下的同一度为 s/m ,可表示为 a ;集合 B1 与集合 B2 在该不一致性问题下的差异度为 f/m ,可表示为 b ;集合 B1 与集合 B2 在该不一致性问题下的对立度为 p/m ,可表示为 c ;而对于不一致问题可以使用同一度、差异度、对立度从不同的侧面刻画两个集合 B1 及 B2 的联系状况,计算式如下:

$$u_H = \frac{s}{m} + \frac{f}{m}i + \frac{p}{m}j \quad (1)$$

其中, i 为差异标记系数,取值在区间 $[-1, 1]$ 内(有时 i 只起标记作用), j 为对立标记系数,规定值为 -1 (有时 j 只起标记作用)。对于不同的场景取值有所不同,例如,常见的对立类型有正负型对立 $\langle 1, -1 \rangle$ 、无型对立 $\langle 1, 0 \rangle$ 、倒数型对立 $\langle 1, 1/k \rangle$ 等多种类型,因而,在非正负对立的情况下, j 可以取 -1 以外的其他值, i 的取值也是随之变化的。由所述定义可知,参数 a, b, c 应满足的条件如下:

$$a+b+c=1 \quad (2)$$

其中,参数 a 与 c 是相对确定的;参数 b 是相对不确定的,并且可被扩展为 k 元联系度 u_H ,其公式如下:

$$u_H = a + \sum_{i=1}^{k-2} b_i i + c j, 1 \leq t \leq k-2 \quad (3)$$

其中, a, b_i, c 参数始终满足归一化条件,即:

$$a+b_1+b_2+\dots+b_{k-2}+c=1 \quad (4)$$

2.3 D-S 证据论

Dempster 于 1967 年首次提出 Dempster-Shafer (D-S) 证据理论,其后 Shafer 等学者对 D-S 理论做了进一步的发展和完善,从而形成了一种不确定性消除和多传感器数据融合的处理理论^[15-18]。下面介绍 D-S 理论中几个比较重要的定义。

(1) 识别框架(Frame of Discernment, FoD)

识别框架,即 D-S 理论的论域,是所有可能的情景信息命题的集合,用 $\Theta = \{A_1, A_2, \dots, A_M\}$ 来表示, M 为识别框架中命题的个数, 2^Θ 是 Θ 的幂次集。

(2) 基本信度分配(Basic Probability Assignment, BPA)

本文将 SPA 处理后的部分 QoX 参数作为几个基本信度分配函数进行基本信度分配,其中,信度函数或基本信度分配需要满足以下条件:

$$\begin{cases} m(\emptyset) = 0 \\ \sum_{A \in \Theta} m(A) = 1 \end{cases} \quad (5)$$

(3) 证据组合规则(Dempster's Combination Rule, DCR)

对于识别框架 Θ 中的每个命题,以命题“ A ”为例,假设关于它有两条证据,每条证据的基本信度分配函数分别为 m_1 和 m_2 ,证据组合公式如下:

$$m(A) = \begin{cases} \frac{\sum_{B \cap C \subseteq A} m_1(B)m_2(C)}{1-K}, & A \neq \emptyset \\ 0, & A = \emptyset \end{cases} \quad (6)$$

$$K = \sum_{B \cap C = \emptyset} m_1(B)m_2(C) \quad (7)$$

其中, K 表示证据之间的冲突程度, K 的取值在 0 和 1 之间, 且它越靠近 1, 冲突越大, 该组合公式也可以延伸到多个证据的融合^[19]。

3 基于 SPA 和 QoX 的不一致性消除算法

针对目前不一致性消除中出现的问题, 本文提出了一种基于 SPA 和 QoX 的不一致性消除算法, 其算法框架如图 1 所示。该算法针对经检测存在不一致的情景信息, 根据多种 QoX 参数对其综合质量进行评估, 并使用 SPA 对质量参数进行分析, 从而求得各情景信息源的基本信度, 最后通过 DCR 进行融合判决, 以得到最终的输出结果。其具体处理流程如图 2 所示。

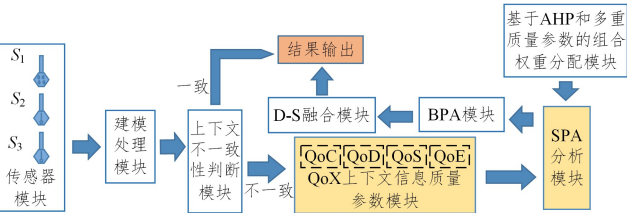


图 1 基于 SPA 和 QoX 的不一致性消除算法框架
Fig. 1 Framework of inconsistency elimination algorithm based on SPA and QoX

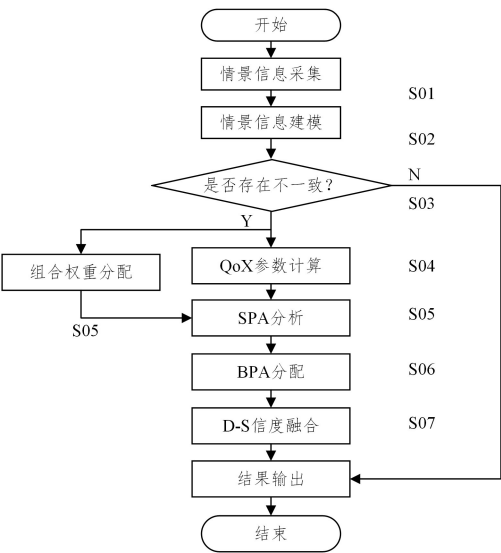


图 2 基于 SPA 和 QoX 的不一致性消除算法流程
Fig. 2 Flowchart of inconsistency elimination algorithm based on SPA and QoX

3.1 情景信息采集

通过物理设备、虚拟设备和逻辑设备等完成情景信息的采集, 例如, 可以通过体温计、脉搏计、呼吸机和血压计等多种生理状态采集设备获取用户的生理状态信息。

3.2 情景信息建模

对采集到的情景信息进行建模, 便于后续的情景信息不一致性检测以及不一致性消除。例如, 智慧医疗应用中将用户的状态分为“生理状态正常”和“生理状态异常”两种状态。

3.3 不一致性检测

进行情景信息的不一致性检测, 判断是否存在不一致性问题, 若存在不一致, 则进行情景信息质量的计算, 若不存在不一致, 则直接输出结果。

3.4 QoX 参数计算

对于存在不一致性的情景信息, 使用部分 QoX 参数对情景信息质量进行评估, 主要考虑情景信息的正确率、可靠性、采集设备精度以及用户反馈参数, 所采用的量化评估方式如下:

(1) 正确率参数

正确率参数指感知到的情景信息是正确的概率, 其计算式如下:

$$P_{\text{correctness}} = \frac{N_{\text{true}}}{N_{\text{total}}} \quad (8)$$

其中, N_{true} 表示真实情景信息的数目, N_{total} 表示情景信息总数目。

(2) 可靠性参数

可靠性参数指用来收集特定情景信息的采集设备的可靠程度, 其计算式如下:

$$P_{\text{reliability}} = \begin{cases} \left(1 - \frac{d(s, \epsilon)}{d_{\max}}\right) \times \delta, & \text{当 } d(s, \epsilon) > d_{\max} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (9)$$

其中, δ 表示设备精度, $d(s, \epsilon)$ 表示设备和其测量的情景信息对象之间的实际距离, $d_{\max}$ 表示能够信任这个设备观测值的最大距离。由式(9)可知, 可靠性参数的值和设备精度 δ 成正比关系, 而和设备与其测量的情景信息对象之间的实际距离 $d(s, \epsilon)$ 成反比关系。

(3) 用户反馈参数

用户反馈参数即用户反馈正确率参数, 指根据用户反馈得到的对于情景信息的反馈正确率, 其计算式如下:

$$P_{\text{feedback}} = \frac{N_{\text{consistency}}}{N_{\text{feedback}}} \quad (10)$$

其中, N_{feedback} 表示用户反馈的上下文数目, $N_{\text{consistency}}$ 表示经过推理后的推理结果与用户反馈一致的情景信息数目。

3.5 组合权重分配

QoX 参数计算完成后进行组合权重分配, 并根据所求权重使用 SPA 对 QoX 参数进行分析。在复杂、动态的情景感知系统中, QoX 是富有动态特征的质量指标, SPA 则是有效提供了对联度表达式中 i, j 进行不同的赋值的各种办法。情景信息的正确率、可靠性、采集设备精度以及用户反馈参数均是对 QoX 的有效表征, 彼此存在相互联系、制约以及转化的关系。情景信息采集设备精度参数是传感器本身固有的属性, 而情景信息的可靠性参数可以由采集设备精度参数获取得到, 二者之间相互联系、彼此转化, 因此是相对确定的。情景信息的正确率参数以及用户反馈参数并不是传感器本身固有的属性值, 但是它们又在一定程度上影响、制约 QoX 的值, 因此是相对不确定的。由此可见, 使用 SPA 对 QoX 参数进行分析使本文研究的问题更趋深入。

本文采用基于 AHP 和多重质量参数的组合权重分配方法^[20], 其基本思路为根据对不同情景信息源的用户反馈、可靠性和正确率等质量参数的分析, 对不同采集设备进行组合权重分配。具体权重分配流程如下: 首先对用户反馈、可靠性和正确率等指标建立层次结构模型, 层次结构模型如图 3 所示, 可分为目标层、准则层和方案层 3 层; 然后, 根据表 1 的层次分析标度表对准则层的各指标元素两两进行对比^[21], 建立判断矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \cdots & \cdots & a_{1,M} \\ a_{2,1} & & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & & a_{i,j} & \vdots \\ \vdots & & & & \ddots \\ a_{M,1} & \cdots & \cdots & \cdots & a_{M,M} \end{bmatrix}, 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq M \quad (11)$$

其中, M 为准则层元素的个数, $a_{i,j}$ 为准则层中元素两两比较的结果, 且 $a_{j,i} = 1/a_{i,j}$, 层次分析标度表为指标元素两两对比重要性时使用的衡量标准; 最后, 通过 AHP 层次排序及一致性检验得到各准则层元素相对于目标层的权重向量:

$$W_l = [w_{l,1}, w_{l,2}, \dots, w_{l,k}, \dots, w_{l,M}], 1 \leq k \leq M, 1 \leq l \leq N \quad (12)$$

其中, N 为采集设备的个数, W_l 为第 l 个采集设备对应的准则层元素的权重向量, $w_{l,k}$ 为第 k 个准则层元素所分配的权重。

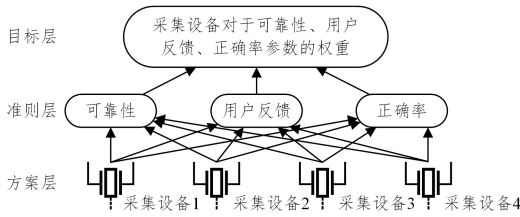


图3 层次结构分析图

Fig. 3 Diagram of hierarchy analysis

表1 层次分析标度表

Table 1 Analytic hierarchy scale

标度	含义
1	两元素同等重要
3	一个元素比另一个元素稍微重要
5	一个元素比另一个元素明显重要
7	一个元素比另一个元素非常重要
9	一个元素比另一个元素极端重要
2, 4, 6, 8	上述相邻判断的中间值

3.6 SPA 分析

使用 SPA 根据已求得的组合权重对部分 QoX 参数进行分析与计算, 进而得到不同设备的基本信度分配函数, 本文以设备精度、用户反馈、可靠性和正确率等 QoX 参数为例, 其计算式如下:

$$u_i = \delta_1 + (1 - \delta_1) \times (w_{l,1} \times P_{\text{reliability}_1} + w_{l,2} \times P_{\text{feedback}_1} + w_{l,3} \times P_{\text{correctness}_1}) + (1 - \delta_1) \times (1 - w_{l,1} \times P_{\text{reliability}_1} - w_{l,2} \times P_{\text{feedback}_1} - w_{l,3} \times P_{\text{correctness}_1}) \quad (13)$$

$$m_l(A) = u_i \quad (14)$$

3.7 信度分配及证据融合

本文要处理的不一致情景信息的每种数据都可分为“正常”和“异常”状态, 并分别使用“0”和“1”进行表示, 那么对于不一致问题, 其识别框架为:

$$\begin{cases} \Theta = \{0, 1\} \\ 2^\Theta = \{0, 1, \{0, 1\}, \emptyset\} \end{cases} \quad (15)$$

其中, “0”表示所检测到的情景信息为正常状态, 即检测结果为“0”; “1”表示所检测到的情景信息为异常状态, 即检测结果为“1”; “{0, 1}”表示所检测到的情景信息为不确定状态, 即检测结果既可能是“0”也可能是“1”; “ $\emptyset$ ”表示所检测到的情景信息没有结果, 即检测结果既不是“0”也不是“1”。

在以上识别框架的基础上, 对于识别框架中出现的几种情况, 所采用的基本信度分配方案如式(16)和式(17)所示。

当所检测到的情景信息为正常状态, 即检测结果为“0”

时, 此时的基本信度分配函数如下:

$$\begin{cases} m_l(0) = u_i \\ m_l(1) = 0 \\ m_l(\{0, 1\}) = 1 - u_i \\ m_l(\emptyset) = 0 \end{cases} \quad (16)$$

当所检测到的情景信息为异常状态, 即检测结果为“1”时, 基本信度分配函数如下:

$$\begin{cases} m_l(1) = u_i \\ m_l(0) = 0 \\ m_l(\{0, 1\}) = 1 - u_i \\ m_l(\emptyset) = 0 \end{cases} \quad (17)$$

最后, 根据 DCR 进行多条证据的融合, 得到最终的结果。

4 实例与分析

4.1 仿真环境

在智慧医疗系统中, 准确掌握用户的生理状态数据, 对监测用户生命健康极其重要^[22-24]。单一的生理数据监测手段无法保证生命体征监测的准确性, 于是, 多模态的智慧医疗监测方法应运而生, 其可以采集多种生理体征数据, 如体温、脉搏、呼吸频率、血压等数据, 这些由多种生理状态来源获取的生理状态数据往往会存在识别结果不一致的问题。

为验证本文算法的有效性和优越性, 仿真实验从不同生理状态监测精度(用 P_s 表示)下的 4 种生理状态来源获取所需的生理状态数据, 每个生理状态来源获取 3 000 条数据, 每条表示用户生理状态的情景信息均分为“生理状态正常”和“生理状态异常”两种状态, 为避免实验结果的随机性, 仿真实验循环 1 000 次。

4.2 性能评价指标

本文采用情景信息判决正确率作为算法性能的评价指标, 情景信息判决正确率指的是不一致的情景信息中判决正确的情景信息数目和总的不一致的情景信息数目的比率, 其计算式如下:

$$C_{\text{rate}} = \frac{N_{\text{resolved}}}{N_{\text{inconsistency}}} \quad (18)$$

其中, N_{resolved} 表示不一致的情景信息中判决正确的情景信息数目, $N_{\text{inconsistency}}$ 表示总的不一致的情景信息数目。该指标与传统的情景信息感知率^[25]这一评价指标相比, 更能体现出算法不一致性消除的性能。

4.3 算法仿真性能评估

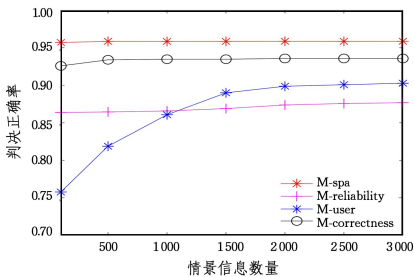
(1) 基于不同质量参数的不一致性消除算法对比

在仿真实验中, 我们选用几种典型的基于不同质量参数的情景信息不一致性消除算法进行对比。如表 2 所列, M-reliability, M-user 和 M-correctness 分别表示使用可靠性参数、用户反馈参数和正确率参数衡量情景信息的质量进行不一致性消除处理的算法, M-spa 表示本文提出的基于 SPA 和 QoX 的不一致性消除算法。此处设置生理状态监测精度 P_s 分别为 0.96, 0.92, 0.88 和 0.84, 仿真实验结果如图 4 及表 3 所示。由以上图表结果可知, M-spa 算法的判决正确率远远高出其他 3 种算法的判决正确率, 这是因为单一参数在衡量情景信息质量时, 容易受到各种因素的影响, 进而导致判决结果不准确, 而所提算法使用综合质量指标 QoX, 综合考虑多种质量参数的影响, 从而解决了这一问题。例如, 系统初始阶段, 也就是情景信息的数目为 100 时, 所提算法判决正确率

达到了 95.70％,比 M-user 算法的判决正确率高出了 19.6％,比 M-reliability 算法的判决正确率高出了 9.13％,比 M-correctness 算法的判决正确率高出了 3％,此时如果单一参数衡量情景信息的质量,会严重影响算法的判决正确率。上述结果充分说明了所提基于 SPA 和 QoX 的不一致性消除算法利用经过 SPA 分析之后的 QoX 可以更加有效地衡量情景信息的综合质量。

表 2 基于不同质量参数的不一致性消除算法列表
Table 2 Inconsistency elimination algorithms based on different quality parameters

算法	算法情景信息质量衡量方式
M-spa	QoX 衡量情景信息的质量
M-reliability	可靠性参数衡量情景信息的质量
M-user	用户反馈参数衡量情景信息的质量
M-correctness	正确率参数衡量情景信息的质量



注: P_i 分别为 0.96,0.92,0.88,0.84

图 4 基于不同质量参数的不一致性消除算法的判决正确率对比
Fig. 4 Comparison of context-judge rates of inconsistency elimination algorithms based on different quality parameters

表 3 基于不同质量参数的不一致性消除算法的判决正确率对比
Table 3 Comparison of context-judge rates of inconsistency elimination algorithms based on different quality parameters

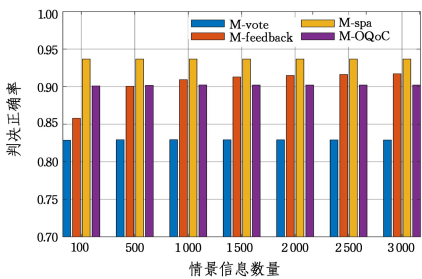
算法	100	1 000	2 000	3 000
M-spa	0.957 0	0.958 5	0.958 5	0.958 5
M-reliability	0.865 7	0.873 0	0.870 0	0.878 0
M-user	0.761 0	0.862 5	0.895 7	0.900 1
M-correctness	0.927 0	0.945 5	0.945 5	0.945 5

(2)不同情景信息不一致性消除算法性能对比

为验证所提基于 SPA 和 QoX 的不一致性消除算法的有效性和优越性,将所提算法与其他 3 种典型算法进行了多组不同生理状态监测精度的仿真实验,对比算法如表 4 所列,其中,M-vote 表示投票选举算法^[26],M-OQoC 表示基于 OQoC 和 D-S 证据论相结合的不一致性消除算法^[6],M-feedback 表示基于有监督自反馈的不一致性消除算法^[27],M-spa 表示本文提出的基于 SPA 和 QoX 的不一致性消除算法。不同生理状态监测精度的实验参数设置为:第一组设置生理状态监测精度 P_i 分别为 0.96,0.92,0.88 和 0.84。实验结果如图 5 及表 5 所示。

表 4 不同情景信息不一致性消除算法
Table 4 Different context inconsistency elimination algorithms

算法	说明
M-spa	基于 SPA 和 QoX 的不一致性消除算法
M-vote	投票选举算法
M-feedback	基于有监督自反馈的不一致性消除算法
M-OQoC	基于 OQoC 和 D-S 证据论相结合的不一致性消除算法



注: P_i 分别为 0.96,0.92,0.88,0.84

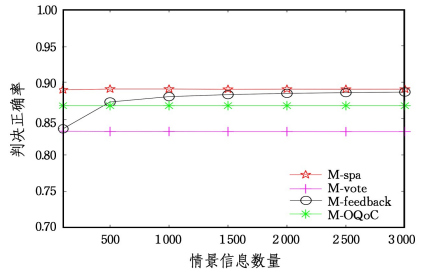
图 5 不一致性消除算法的判决正确率柱状图比较
Fig. 5 Histogram comparison of context-judge rates of inconsistency elimination algorithms

表 5 不一致性消除算法的判决正确率结果
Table 5 Results of context-judge rates of inconsistency elimination algorithms

算法	100	1 000	2 000	3 000
M-spa	0.936 8	0.936 8	0.936 8	0.936 8
M-vote	0.828 2	0.828 7	0.828 8	0.828 7
M-feedback	0.857 7	0.911 7	0.917 4	0.919 6
M-OQoC	0.901 3	0.902 5	0.902 5	0.902 4

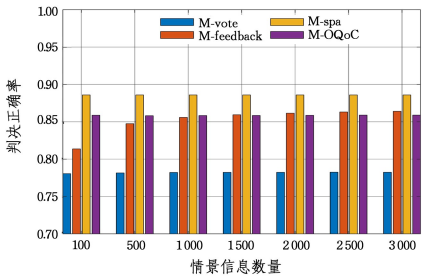
注: P_i 分别为 0.96,0.92,0.88,0.84

由上述图表可知,在情景信息数量为 100 时,所提算法的判决正确率是 93.68％,比 M-vote 算法高出了 10.86％,比 M-feedback 算法高出了 7.91％,比 M-OQoC 算法高出了 3.55％,在数据量较少的情况下,所提算法具有较高的判决正确率;而在情景信息数量为 3000 时,所提算法判决正确率达到 93.68％,依旧高于其他算法。第二组设置的生理状态监测精度依次减小,分别为 0.92,0.88,0.84 和 0.80,仿真实验结果如图 6 和图 7 所示。



注: P_i 分别为 0.92,0.88,0.84,0.80

图 6 不一致性消除算法的判决正确率比较
Fig. 6 Comparison of context-judge rates of inconsistency elimination algorithms

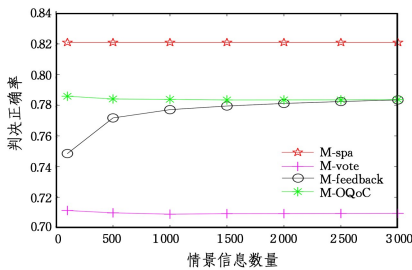


注: P_i 分别为 0.92,0.88,0.84,0.80

图 7 不一致性消除算法的判决正确率柱状图比较
Fig. 7 Histogram comparison of context-judge rates of inconsistency elimination algorithms

由图 6、图 7 可知,所提算法判决正确率始终高于其他算法,在情景信息数量为 3000 时,各算法的判决正确率达到了最高值,所提算法判决正确率为 88.59%,高出 M-feedback 算法 2.14%。

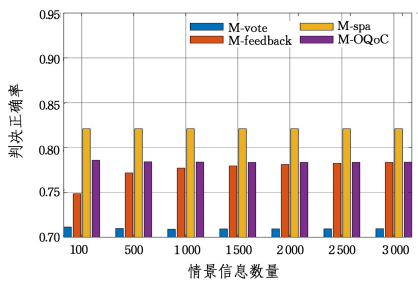
为验证所提算法在生理状态监测精度较低时的性能,第三组实验设置生理状态监测精度分别为 0.86, 0.82, 0.78 和 0.74,仿真实验结果如图 8 和图 9 所示。由图可知所提算法的判决正确率在低精度的情况下依旧高于其他算法,在情景信息数量为 3000 时,各算法的判决正确率达到了最高值,所提算法判决正确率为 82.10%,高出 M-feedback 算法 3.34%。说明所提算法在多种精度配置下都具有较高判决正确率。



注: $P_s = 0.86, 0.82, 0.78, 0.74$

图 8 不一致性消除算法的判决正确率比较

Fig. 8 Comparison of context-judge rates of inconsistency elimination algorithms



注: P_s 分别为 0.86, 0.82, 0.78, 0.74

图 9 不一致性消除算法的判决正确率柱状图比较

Fig. 9 Histogram comparison of context-judge rates of inconsistency elimination algorithms

结束语 本文提出了一种基于 SPA 和 QoX 的不一致性消除算法,所提算法使用 QoX 中的部分质量参数对情景信息综合质量进行评估;同时,使用 SPA 对所求质量参数从同一度、对立度、差异度 3 个方面进行定量分析,兼顾了情景信息质量计算过程中的全面性,并结合基于 AHP 和多重质量参数的组合权重分配方法进行权重分配,提高了情景信息源基本信度的分配精度,具有较高的灵活性和鲁棒性;使用证据论的证据组合规则进行融合推理,兼顾了多个数据来源的情景信息,准确且高效地解决了不一致性问题。通过仿真实验证明,所提算法的判决正确率相较于传统算法得到了有效的提升。

参考文献

- [1] SCHILIT B N, THEIMER M M. Disseminating active map information to mobile hosts [J]. IEEE Network, 1994, 8(5): 22-32.
- [2] GUO Z X, WU B, XIE J, et al. Study on the observability of INS/CNS guidance error separation [J]. Missiles and Space Vehicles, 2020(2): 54-57.
- [3] ZHANG Y N, WU G. Research on context inconsistency detection and resolution [J]. Computer Science, 2011, 38(9): 116-118.
- [4] ZHENG D, BEN K R, WANG J. Research of quality-aware contexts management for complex IoT applications [J]. Computer Science, 2015, 42(12): 152-156.
- [5] YUAN B C, HERBERT J. A fuzzy-based context modeling and reasoning framework for CARA pervasive healthcare [C]// The International Conference on Smart Homes and Health Telematics, 2013.
- [6] CHEN M, XU H J, XIONG H L, et al. A new overall quality indicator OQoC and the corresponding context inconsistency elimination algorithm based on OQoC and Dempster-Shafer theory [J]. Soft Computing, 2020, 24(14): 10829-10841.
- [7] CHEN X K, XU C, JIANG L. Hybrid-Fixing: Toward sound fixing of context inconsistency [J]. Journal of Computer Research and Development, 2015, 52(6): 1443-1451.
- [8] GALLOWAY A. Intimations of everyday life: ubiquitous computing and the city [J]. Cultural Studies, 2004, 18(2/3): 384-408.
- [9] MANZOOR A, TRUONG H L, DUSTDAR S. Quality of context: models and applications for context-aware systems in pervasive environments [J]. The Knowledge Engineering Review, 2014, 29(2): 154-170.
- [10] LAMINE A, SAMI S, SAID H, et al. A hierarchical classification model of QoE influence factors [C]// The International Conference on Wired/Wireless Internet Communication, 2015: 225-238.
- [11] FLORIS A, PORCU S, ATZORI L. Quality of experience management of smart city services [C]// The 2018 Tenth International Conference on Quality of Multimedia Experience, 2018: 1-3.
- [12] YANG S C, TIAN K S, WU C F. Target assignment method for phased array radar network based on quality of service [J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2019, 41(12): 2844-2851.
- [13] XU H J, CHEN M, ZHOU Y M, et al. A novel comprehensive quality index QoX and the corresponding context-aware system framework [C]// 2018 IEEE 4th International Conference on Computer and Communications, 2018: 2415-2419.
- [14] ZHAO K Q. Set pair analysis and its preliminary application [M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 2000.
- [15] DEMPSTER A P. Upper and lower probabilities induced by a multivalued mapping [J]. The Annals of Mathematical Statistics, 1967, 38(2): 325-339.
- [16] ZADEH L A. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1978, 1(1): 3-28.
- [17] SHAFER G. A Mathematical Theory of Evidence turns 40 [J]. International Journal of Approximate Reasoning, 2016, 79: 7-25.
- [18] LONG D, YAN L, BAI L L, et al. Generation of MODIS-like land surface temperatures under all-weather conditions based on a data fusion approach [J]. Remote Sensing of Environment, 2020, 246: 1-17.
- [19] ZHOU L, ZHANG X M, GUO W Z, et al. A direct fusion algorithm for multiple pieces of evidence based on improved conflict measure [J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2019, 41(5): 1145-1151.

[20] SHUANG T K,TIAN J L,LIU X,et al. An index weight determination method based on improved AHP [J]. Science and Technology of West China,2011,10(32):37-38.

[21] CHEN P G,JIANG M L,ZUO S. Comprehensive benefit evaluation of new energy consumption based on AHP-entropy combination weighting [J]. China New Technologies and New Products,2019(22):139-141.

[22] ZHAO X,XIAO W,WU L,et al. Intelligent city intelligent medical sharing technology based on internet of things technology [J]. Future Generation Computer Systems,2020,111:226-233.

[23] BANANI G,ZEENAT R. A Mechanism for Air Health Monitoring in Smart City using Context Aware Computing [J]. Procedia Computer Science,2020,171:2512-2521.

[24] YUAN Y,JIA K B,LIU P Y. Multi-context autoencoders for multivariate medical signals based on deep convolutional neural networks [J]. Journal of Electronics and Information Technology,2020,42(2):371-378.

[25] MCALLISTER D,SUN C E,VOUK M. Reliability of voting in fault-tolerant software systems for small output-spaces [J]. IEEE Transactions on Reliability,1991,39(5):524-534.

[26] LEE B H,KIM D H. Efficient context-aware selection based on user feedback [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics,2012,58(3):978-984.

[27] JI M Y,XU H J,WANG L T,et al. Approach of measuring PoC of context using limited self-feedback in context-aware systems [J]. IET Wireless Sensor Systems,2016,6(5):158-165.



XING Qing-hua, born in 1995, postgraduate. His main research interests include machine learning, ubiquitous computing, quality of context and context-aware computing.



XU Hong-ji, born in 1976, Ph.D, associate professor. His main research interests include wireless communications, ubiquitous computing, intelligent perception, blind signal processing and artificial intelligence.

210700122-7