

氏名	木下 尚彦		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第7693号		
学位授与年月日	平成28年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	不確実性を考慮したクラスタリングアルゴリズムの理論的考察		
主査	筑波大学 教授	博士(工学)	遠藤 靖典
副査	筑波大学 教授	工学博士	宮本 定明
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	イリチュ 美佳
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	亀山 啓輔
副査	芝浦工業大学 准教授	博士(工学)	神澤 雄智

論文の要旨

事象の発生が確実でないことを意味する概念である不確実性は、事象やそれらに関連する物事の正確な予測・解析を行う上で無視できないものであり、これは近年データマイニングの有力な手法として注目されているクラスタリングについても同様である。クラスタリングにおける不確実性としては、1) クラスタ表現に含まれる不確実性、2) データ自身に含まれる不確実性、3) クラスタリングアルゴリズムにおける不確実性、の3種の様相が考えられる。1)はクラスタ分割の不明瞭さに起因し、一般に帰属度表現へのあいまいさの導入によって帰属度を柔軟に表現することで扱われる。2)の例として、データが実空間からデータ空間に写像される際に引き起こされるモデル化誤差や欠損が挙げられ、一般にはこれらの誤差は無視されるか、代替データ・区間データ・確率密度関数等の導入によって扱われる。3)は初期値依存性やパラメータ設定に起因するものであり、特に初期値依存性は多くのクラスタリングアルゴリズムで不可避の障壁となっている。

そこで本論文では、上述の不確実性のうち1)と2)に着目し、この2種の不確実性を扱うクラスタリング手法の構築を行っている。まず1)に関して、帰属度のあいまいさを表現するファジィ集合に代わり、ラフ集合の概念を導入することにより、新たなアルゴリズムを提案している。次に2)に関して、データ自身に含まれる不確実性をA) 確率密度関数、B) 不確実性ベクトル、の2種の概念でモデル化し、それぞれのモデル化に基づくEMアルゴリズムを援用したクラスタリング手法を提案している。さらに数値例を通じて、これらの提案手法と既存手法との比較検討を行い、提案手法の有効性について論じている。

審査の要旨

【批評】

本論文では、クラスタリング手法に内在する不確実性に焦点を当て、それら不確実性のうち、クラスタ表現に含まれる不確実性とデータ自身に含まれる不確実性を対象として、それぞれを扱うことのできる新たなクラスタリング手法を提案し、数値例を通じて提案手法の有効性を検証している。

クラスタ表現に含まれる不確実性については、ファジィ集合を基にして議論されることは多かったが、ラフ集合の観点からの議論は十分ではないため、新規性の観点から価値あるものとみなせる。さらに、既存手法においては最適化の枠組みでの議論はなく、目的関数最適化に基づいて構成された本論文の提案手法の信頼性は最適化に関する数学的議論によって示されており、様々な数値例を通じてその有効性も検証されている。以上より、本論文で提案されているラフ集合による手法は、不確実性を扱う新たなクラスタリング手法として高く評価できる。

また、データ自身に含まれる不確実性については、不確実性を確率密度関数と不確実性ベクトルとの2通りでモデル化し、それぞれのモデル化に基づいて、EM アルゴリズムを援用した新たなクラスタリングアルゴリズムを提案し、数値例を通じてその有効性を検証している。確率密度関数によるデータの不確実性の表現は古典的手法と言えるが、理論展開の複雑さ故にそれを EM アルゴリズムによってクラスタリングに組み込んだ手法はこれまで提案されていないため、新規性の観点からも高く評価できる。また、不確実性ベクトルはデータの不確実性のモデル化として近年議論が深まっているが、本論文では不確実性ベクトルによる KL 情報量正則化ファジィ α -平均法を構成し、それと等価となる EM アルゴリズムを構成できることを示した点で、理論的にも価値がある。

以上より、本論文における提案手法は新規性・信頼性・有効性の観点から価値あるものと認めることができる。今後の課題として、不確実性の意味・定式化に関してさらに考察を深めるとともに、広く実データを通じた検証が望まれる。

【最終試験の結果】

平成 28 年 1 月 21 日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。この結果とリスク工学専攻における達成度評価による結果に基づき、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。