

氏 名 BUI VAN THACH

学位(専攻分野) 博士(情報学)

学位記番号 総研大甲第 2113 号

学位授与の日付 2019 年 9 月 27 日

学位授与の要件 複合科学研究科 情報学専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 Non-adaptive group testing: theory and design

論文審査委員 主 査 教授 越前 功
教授 高須 淳宏
教授 合田 憲人
助教 岩田 陽一
准教授 栗林 稔
岡山大学自然科学研究科

(Form 3)

Summary of Doctoral Thesis

Name in full: BUI VAN THACH

Title: Non-adaptive group testing: theory and design

The goal of group testing is to identify a few specific items satisfying a specific property in a large population of items at the lowest cost in terms of time and money. These specific items are referred to as defective items, and the other items are referred to as negative items. To achieve the goal of group testing, the population of items is grouped into (overlapped) subsets. A test on a subset of items is to determine whether the subset satisfies the property. A test outcome is positive if the property is satisfied and negative otherwise.

Defective items tend to make the outcome of a test on them positive. Recent advances in the definition of group testing have added a new type of items: inhibitors. An item is considered to be an inhibitor if it interferes with the identification of the defective items, i.e., tends to make the outcome of a test on it negative.

In this thesis, we consider the non-adaptive design approach in which all tests are independent and designed in advance. Under this regime, the central contributions of this thesis are in two tracks: efficient testing designs for achieving a low number of tests and low-complexity decoding schemes for efficiently identifying specific items. The key idea of this thesis is to assign a (pre-defined) signature for a subset of items before making tests then to identify the specific items based on observed test outcomes and the pre-defined signatures.

The thesis consists of six chapters. Chapter 1 introduces group testing in general: history, state-of-the-art work, and challenges. The contributions of Chapters 3—5 are also summarized here. This chapter presents how to apply group testing into real-world problems. In practice, how to group items in subsets is equivalent to the process of creating subsets of items in theory. Items and the specific property depends on applications. Then testing each subset of items for determining whether it satisfies the specific property in practice is equivalent to the process of getting a test outcome for a subset of items in theory. Finally, classifying items in practice and theory is same and can be done in computer.

Chapter 2 presents preliminaries used in following chapters. Measurement matrices, which are then instantiated to disjunct matrices, are the basic tool to tackle non-adaptive approach of designing tests. Other tools such as Reed-Solomon codes and tensor product, which are used separately in the following chapters, are also introduced.

Chapter 3 considers non-adaptive classical group testing in which a set of items consists

of defectives and negatives. The outcome of a test on a subset of items is positive if the subset contains at least one defective, and negative otherwise. The contributions of this chapter are that the number of tests is lower and the time for classifying all items is faster than existing work.

Chapter 4 considers non-adaptive threshold group testing in which a set of items consists of defectives and negatives. Threshold group testing is a generalized model of classical group testing. The outcome of a test on a subset of items is positive if the subset contains at least a threshold number of defectives, and negative otherwise. The contribution of this chapter is the time for classifying all items is faster than existing work. Precisely, the decoding time is sublinear to the number of items. This significantly improves the best known results which are linear or exponential to the number of items.

Chapter 5 considers non-adaptive group testing with inhibitors in which the test outcome on a subset of items is positive if the subset contains no inhibitors and at least one defective, and negative otherwise. The contributions of this chapter are that the number of tests is usually lower and the time for classifying all items is faster than existing work.

Chapter 6 concludes the thesis by summarizing what described in Chapters 3—5 and discuss future directions for the thesis. In particular, improving upper and lower bounds on the number of tests and the classifying time is straightforwardly addressed. Moreover, applying group testing into real-world problems is essential. Since each model of group testing represents for a real-world problem(s), any solution for each model can be directly applied in practice.

博士論文審査結果

Name in Full 氏名 BUI VAN THACH

論文題目 Non-adaptive group testing: theory and design

本論文は、多数のアイテムを複数のアイテムからなるグループに分割し、分割された各々のグループをテストすることで、特定の性質を持つ少数のアイテムを特定するグループテストの効率化について論じたものである。グループテストには、テストの結果に応じて、改めてグループ分割を行い、テストを繰り返す適応型グループテストと、テスト前にかじめグループ分割を行っておき、以降のグループ分割を行わない非適応型グループテストがあるが、本論文が対象としているのは非適応型グループテストである。

本論文は、6つの章から構成される。第1章ではまず、背景としてグループテストの意義とこれまでの研究の流れ、グループテストの対象となるアイテムの性質、ならびに本論文の3つの貢献が簡潔に述べられている。具体的には、(1)少数の陽性アイテム(defectives)と多数の陰性アイテム(negatives)が混在するアイテム群を対象に、非適応型グループテストで効率的に陽性アイテムを特定する非適応型古典的グループテストの効率化手法、(2)(1)の手法を拡張し、グループ内に閾値を超える陽性アイテムが存在する場合にテスト結果が陽性となる閾値グループテストに対する効率化手法（非適応型閾値グループテストの効率化手法）、(3)(1)のアイテム群に少数の抑制アイテム(inhibitors)が加わった場合のグループテストに関する効率化手法（抑制アイテムが混入した非適応型グループテストの効率化手法）の提案である。つづく第2章では、第3章以降で用いられる予備知識や、定義および定理について述べている。

第3章では、上述の(1)非適応型古典的グループテストの効率化手法を提案している。古典的グループテストでは、グループ内に少なくとも1つの陽性アイテムが存在する場合にテスト結果が陽性となる。本論文では、アイテム群を構成する各アイテムに signature と呼ばれる正負の記号列を一定のルールに基づいて割り当てることで、複数のグループのテスト結果から効率的に陽性アイテムを特定する手法を提案し、従来の非適応型古典的グループテストと比較して、全陽性アイテムの特定までにかかる演算量を低減できることを示している。

第4章では、上述の(2)非適応型閾値グループテストの効率化手法を提案している。本論文では、(1)の手法を拡張し、アイテム群を構成する各アイテムに一定のルールに基づいて signature を割り当てることで、従来の非適応型閾値グループテストと比較して、テストの回数は増えるものの、全陽性アイテムの特定までにかかる演算量を低減できることを示した。

第5章では、上述の(3)抑制アイテムが混入した非適応型グループテストの効率化手法を提案している。抑制アイテムがグループに混入すると、陽性アイテムが当該グループに存在しても、テスト結果は陰性になるようにバイアスが生じる。このようなアイテム群に

対して、グループテストにより陽性アイテムのみを特定する問題(DCP: Defective Classification Problem)と、陽性アイテム、抑制アイテム、陰性アイテムの全てのアイテムを特定する問題(SCP: Sample Classification Problem)があるが、本論文では、各アイテムに signature を割り当てることで、双方の問題を扱った従来の非適応型グループテストと比較して、テストの回数は増えるものの、全陽性アイテムの特定までにかかる演算量を低減できることを示した。

最後に第6章では、結論と研究結果の考察についてまとめ、今後の研究課題と展望を示した。

なお、本論文に関わる研究成果として、出願者は主著で査読付きジャーナル論文2編(うち1編は当該分野のトップジャーナルである IEEE Transactions on Information Theory)、査読付き国際会議論文2編を発表している。

以上により、本審査委員会は本論文の学術レベルと実用的な意義が十分に高いと認め、本論文が学位の授与に値すると判断した。