

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

非同步網路中錯誤診斷協議問題之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2213-E-003-007-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣師範大學工業科技教育學系(所)

計畫主持人：蕭顯勝

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 12 月 22 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫  成果報告  
 期中進度報告

非同步網路中錯誤診斷協議問題之研究

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 92-2213-E-003-007

執行期間：2003年8月1日至2004年7月31日

計畫主持人：蕭顯勝

共同主持人：

計畫參與人員：

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年  二年後可公開查詢

執行單位：國立台灣師範大學工業科技教育系

中華民國 2004 年 7 月 31 日

# 非同步網路中錯誤診斷協議問題之研究

計畫編號: NSC 92-2213-E-003-007

執行期限: 2003.08.01 至 2004.07.31

主持人: 蕭顯勝 國立台灣師範大學工業科技教育系

Email: hssiu@ite.ntnu.edu.tw

## 一、中文摘要

在實際的分散式系統中，系統中處理機是會有多種錯誤模式同時發生之情形(一般稱為混合錯誤模式)、網路之拓樸可能是非完全連結之架構、而且功能正常之處理機在一般情況下是不知道那一個系統單元是有錯誤情況發生的。為了維持系統的運作，系統必須有一個機制來檢查及定位(detect/locate)出錯誤的處理機，這就是錯誤診斷問題的本質。

錯誤診斷問題之解決方案有兩種模式：非協議模式(nonagreement model)及協議模式(agreement model)。在過去對錯誤診斷問題之研究[1,15,19,27]，大多集中在非協議模式中；亦即，每一個良好處理器之錯誤診斷結果可能為不一致的。另一方面，在一個要求高度可靠性系統中，如飛航控制系統，協議模式更具可行性及可用性。錯誤診斷協議問題(Fault diagnosis agreement problem)之目的是要讓每一良好的處理機能檢查及定位出一個共同錯誤單元(處理機與通訊線路)之集合，即是每一個良好處理機都能找出同樣的錯誤單元。我們曾對錯誤診斷協議問題在處理機具有混合錯誤模式的假設下得到一些不錯的結果[19]。不過現有的研究結果全都假設是處在同步(synchronous)通訊情況下，可是實際情況下，處理機間之資料通訊是採用非同步(asynchronous)方式進行。所以，現有的通訊協定沒有一個能在非同步網路中解決錯誤診斷協議問題。

本研究旨在非同步網路中提出通訊協定來解決錯誤診斷協議問題。這個問題之目的是要使每一個功能正常之處理機能檢查及找出一個錯誤處理機之共同集合。一個以證據為基底之錯誤診斷通訊協定—APFDA(Asynchronous Protocol for Fault Diagnosis Agreement)被提出來解決這個問題。APFDA 首先收集一個拜占庭協議問題中之交換訊息作為證據，然後從收集之證據來檢查及找出那些處理機發生了錯誤。接著把被檢查及找出的錯誤處理機和它們連接之通訊線從網路中移除，使得網路能被重組。上述占庭協議問題之通訊協定—APBA(Asynchronous protocol for Byzantine Agreement)為國科會計畫(NSC91-2213-E-003-005)之研究結果，它能在非同步網路中解決拜占庭協議問題(Byzantine agreement problem)。

總括而言，本計畫之研究內容如下：

1. 研究系統單元的錯誤模式。
2. 研究非同步網路資料通訊方式。
3. 提出在解決錯誤診斷協議問題通訊協定 APFDA。
4. 證明通訊協定 APFDA 可以診斷出最多的錯誤單元數目。

我們亦証明了被提出之通訊協定是最佳的。在一般性非同步網路中，它們使用了最少之訊息交換量及能容許最大量之錯誤單元數目來解決錯誤診斷協議問題。

關鍵詞:非同步網路，混合錯誤模式，拜占庭協議問題，錯誤診斷協議問題

## 二、英文摘要

In a real-life distributed system, the processors can be subjected to different types of failures simultaneously (also called hybrid fault model). The network topology may not be fully connected, and a fault-free processor does not know which component in the network is faulty. In order to maintain the performance and integrity of a distributed system, *fault diagnosis* models have been proposed to detect/locate faulty processors.

Under a distributed environment, two fault diagnosis models, namely *non-agreement* [15] and *agreement* [19], have been presented to identify faulty processors. With the non-agreement fault diagnosis model, one or more processors can detect the faulty processors, but the detection results of one may not agree with those of the others. Conversely, the detection results of every fault-free processor eventually agree with those of the others when the fault diagnosis agreement model (also called *FDA* problem) is used. In a highly reliable system, such as a landing task controlled by the processors in a flight control system [15], each fault-free processor should have a common agreed upon a set of faulty processors in the system.

The most of the existing fault diagnosis protocols are designed under non-agreement model and proposed for solving the fault diagnosis problem with processors subjected to single failure types only. For hybrid fault model with processors, we have some result presented in *IEEE Trans. on Computers Journal* [19]. However, all of the existing protocols (included ours previous works) can solve the *FDA* problem in *synchronous network* only. In a real-life distributed system, the data communications between the processors are *asynchronous*. However, none of the existing protocols are designed for solving the *FDA* in *asynchronous network*.

In this project, we consider the *FDA* problem in asynchronous network. An *evidence-based* fault diagnosis approach will be used and a protocol, called APFDA (Asynchronous Protocol for Fault Diagnosis Agreement), for solving the fault diagnosis agreement problem will be proposed. APFDA first collects the messages that have accumulated in protocol APBA (Asynchronous Protocol for Byzantine Agreement), proposed in NSC91-2213-E-003-005, as *evidence* and then detects/locates the common set of faulty processors by examining the collected evidence. After the common set of faulty processor is detected/located, the system can be reconfigured by eliminating these detected/located faulty processors.

More specifically, the goals of this study will achieve the followings:

1. To study the failure model of the processors.
2. To study the communication method in the asynchronous network.
3. To propose the protocol APFDA to solve the fault diagnosis agreement problem.
4. To prove the protocol APFDA can tolerate the maximum number of faulty components.

We prove that the proposed protocol APFDA is optimal in terms of the minimum number of

messages exchanged and the maximum number of faulty components tolerated.

*Keywords: asynchronous network, mixed failure model, Byzantine agreement problem, fault diagnosis agreement problem*

### 三、緣由與目的

在計設容錯分散式系統時，如何讓功能良好之處理機獲得一個共同協議是一個十分重要之問題。協議問題主要之精神為是讓一群處理機在容錯之作業環境下分享共同資訊；也就是說，功能良好之處理機所獲得之協議是不受系統中錯誤單元(處理機和通訊線)之行為影響的。協議獲得的主要目的是為了維護系統的效能與整合性。協議問題之重要性可以從它在分散式系統之地位觀察到——解決協議問題之通訊協定是其他分散式問題的核心；例如，錯誤診斷協議問題、同步問題、可靠通訊問題、資源分配問題、系統重組問題、重複檔案系統問題、和探測器資料讀取問題等。

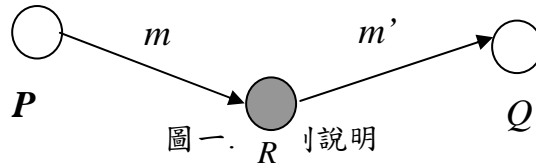
同時，計算機系統中之系統單元在任何時刻都可能發生人為或自然因素所引起之系統錯誤。因此，錯誤診斷協議問題為容錯計算研究領域的重要課題之一。此問題之目的是要利用某些機制來檢查出系統中已經發生錯誤的處理機，以維持系統的正確運作。隨著網路之快速發展，錯誤診斷在分散式容錯計算之地位日漸重要；例如，飛行控制系統和核電廠溫度控制系統等要求高度可靠性與生命有關的 Embedded systems，如何檢查出錯誤的系統單元，為錯誤診斷問題的重要之應用[15]。錯誤診斷協議問題的解決方案應該滿足下面兩個條件：

- (1) 一致性(Consensus): 所有的好處理機能檢查出一個共同的錯誤處理機的集合。亦即是所有的好處理機均會指認出一樣的錯誤處理機數目與名稱。
- (2) 公平性(Fairness): 沒有任何良好的處理機會被指認成錯誤的。

在實際的分散式系統中，處理機是會有多種錯誤模式同時發生之情形(一般稱為混合錯誤模式)、網路之拓樸可能是非完全連結之架構、而且功能正常之處理機在一般情況下是不知道那一個處理機是有錯誤情況發生的、而且處理機間的資料通訊是使用非同步方式進行。我們可將處理機的型態分成兩大類：任意錯誤(arbitrary fault)與靜止錯誤(dormant fault) [17,18]。任意錯誤型態指處理器能做出不可預期的錯誤行為；而靜止錯誤型態指處理器不會傳送任何訊息或延後訊息之傳送。非同步資料傳送是指處理機間的通訊沒有固定的開始與結束時間限制；相對的，同步資料傳送是指處理機間有預先的協議在同一時間開始作資料通訊，而且能在預設的時間內完成傳送資料的工作。

在這樣的網路環境中，錯誤診斷協議問題必須考慮下面的情況：

1. 不同處理器必須相互配合來完成錯誤診斷問題；
2. 因為因為網路不為全連式的，正常的訊息可能經過錯誤的處理器或傳輸線路而被破壞。例如一個訊息  $m$  從處理機  $P$  發出要到處理機  $Q$ ，其中經過任意錯誤處理機  $R$  而被改成訊息  $m'$ ，如圖一所示。



3. 處理機存在不同的錯誤模式，必須考慮不同的錯誤行為所引起的影響，使得不會將正常的處理機誤判為錯誤單元。
4. 錯誤的處理機(如任意錯誤)會主動的發佈不正確資訊去影響錯誤診斷的結果，或因本身的錯誤模式(如靜止錯誤)而沒有將資訊送出。
5. 資料通訊為非同步方式，沒有固定的時間限制；例如必須判斷是資料通訊發生錯誤或是資料傳送延誤等工作，在非同步網路中非常重要。

到目前為止，國內外對錯誤診斷的研究大都在使用非協議模式(nonagreement model)，即不是每一個良好處理機均獲得共同的錯誤診斷結果、而且考慮在同步全連網路(synchronous fully connected network)中處理機只會發生靜止錯誤。在同步非全連網路中，我們對處理機會發生混合錯誤模式的情況下，得到一些錯誤診斷協議的研究結果[19]，可見錯誤診斷協議問題的重要性，表一中列出目前現有錯誤診斷研究結果。從表一看出，目前沒有一個能解決非同步網路之錯誤診斷協議問題之方案。本計畫在非同步網路考慮錯誤診斷協議問題，並提出對此問題之解決方案。

表一 錯誤診斷協議問題之現有研究結果

Assumptions	Network Model		Agreement		Approaches		Fault Types		
	Asyn.	Syn.	Non Agreement	Agreement	Test Based	Evidence Based	Dormant	Arbitrary	Mixed
Previous Work									
Altmann <i>et al.</i> [2]		✓	✓			✓		✓	
Preparata <i>et al.</i> [14]		✓	✓		✓		✓		
Mallela and Masson [12]		✓	✓		✓		✓		
Nitin <i>et al.</i> [25]		✓	✓		✓		✓		
Buskens and Bianchini [4]		✓	✓			✓	✓	✓	
Adams and Ramarao [1]		✓	✓			✓		✓	
Shin and Ramanathan [16]		✓	✓			✓		✓	
Chandra and Toueg [6]		✓	✓			✓	✓		
Wang <i>et al.</i> [26]		✓		✓		✓		✓	✓
Hsiao <i>et al.</i> [19]		✓		✓		✓			✓
Garbiras and Goebel [8]		✓	✓			✓		✓	

#### 四、結果與討論

在本計畫中，非同步分散式系統是指一群能自主獨立的處理器，它們經由不規則的通訊線路連繫起來。處理機的錯誤型態分成兩類：任意錯誤(arbitrary fault)與靜止錯誤(dormant fault)。資料通訊方式為非同步方式；即處理機間的通訊沒有固定的開始與結束時間限制。我們列出系統中所有參數如下：

- (1)  $N$ ：所有處理器的集合，每一處理器均有獨一的名稱，系統中處理器數目為  $n$  ( $|N| = n$ )。
- (2)  $c$ ：網路的連通數(connectivity)。根據 Menger 定理[17]，如果網路的連通數為  $c$ ，則任何一對處理機間均存在  $c$  條不重疊的路徑。亦即是上述  $c$  條路徑只有開始點與結束點是相同的。
- (3)  $P_a$ ：系統中任意錯誤處理器的數目。
- (4)  $P_d$ ：系統中靜止錯誤處理器的數目。

本計畫的目標是提出一個解決錯誤診斷協議問題之通訊協定—APFDA (Asynchronous Protocol for Fault Diagnosis Agreement)。此通訊協定是收集拜占庭協議通訊協定—APBA(Asynchronous Protocol for Byzantine Agreement problem)之通訊資料作為檢查錯誤的證據(evidence)，利用這此證據可檢測出那些系統單元發生錯誤(因為拜占庭協議是其他通訊協定的核心，錯誤單元要影響系統的運作必會在此通訊協定執行時表現出其錯誤行為，所以此通訊協定的通訊資料能被使用來作檢測錯誤單元之用 [19])。當所有功能正常的處理機能同時檢查/定位(detect/locate)出錯誤處理機時，即可將被共同發現的錯誤處理機從系統中移出，以提高系統的可靠度；這個動作稱為系統組態重組(system reconfiguration)。因為在非同步網路中的錯誤處理機間不同的錯誤行為可產生非常多的組合，不同組合的錯誤行為均會影響系統運作。現存的研究結果均沒有討論此網路模式的錯誤行為，所以我們必須對此網路各種錯誤模式作一深入探討。最後，我們會對 APFDA 作系統模擬、正確性和複雜度分析，以證明它是一個最佳解。

針對上述的工作項目，我們的研究方法與進行步驟如下：

##### (1) 探討非同步網路模式下網路傳送訊息的問題

因為資料傳送方式為非同步，即沒有預設的通訊開始與結束時間。要判斷是沒收到訊息或是訊息未到是一件非常困難的工作。Bracha and Toueg 指出在一非同步網路只要有一個靜止錯誤的處理機存在即，只利用傳統的傳送/接收(send/receive)指令是不可能獲得共同協議的[3]。要解決此問題必須使用秘密通道(secure channel)[2]及隨機演算法(randomized algorithm)方式[5,9]的通訊協定。所謂秘密通道是指訊息被處理機送出至網路前均會先被加密，當訊息被更改時，接收端處理機能檢查出訊息是錯誤的而將收到的錯誤訊息刪除掉，以免影響協議值的計算。

##### (2) 探討混合錯誤模式下網路傳送訊息的問題

在非全連網路拓撲下，處理器分別扮演傳訊者(sender)、收訊者(receiver)、和轉送者(relay)等角色。訊息的傳遞會受中繼單元(轉送處理器)所影響。同時，傳訊者是任意錯誤或靜止錯誤而影響訊息的傳送。所以訊息傳遞工作可能會受傳訊者和中繼單元的影響。

這個問題能被解決後，訊息傳遞工作才不受錯誤單元所影響，協議問題才可以進一步的探討。

根據我們先前之研究[17]，非全連網路拓樸在混合錯誤模式下解決訊息傳遞問題之必要條件是  $c > 2P_a + P_d$ 。也就是說，錯誤單元與系統連通數必須滿足上述條件才能保證訊息傳遞之工作是無誤的。要去除錯誤單元之影響，傳訊者每次送出  $c$  個複製訊息  $m$  經由不同的  $c$  條路徑給收訊者。當收訊者收到這些訊息後，利用一個多數決投票(majority vote)函數，就可以取得傳訊者之原始訊息  $m$ ，我們稱此方案為虛擬通道(virtual channel)[17]。配合非同步網路下的運作，上述  $c$  個複製訊息  $m$  必須先經由加密後再送出，當收訊者收到有問題的訊息時可將其刪除。但因為是非同步網路，要如何接收此  $c$  個複製訊息為我們第必須處理的問題。

### (3) 探討處理機的錯誤模式之分類

因為系統中處理機有多種的錯誤模式存在，為了不違反錯誤診斷問題的兩個要求：一致性與公平性，我們必須徹底的分析處理機的錯誤行為。

### (4) 分析錯誤診斷之檢查模式

傳統上，錯誤診斷之方法可分成兩大類：以檢查為基底(test-based)[9]和以證據為基底(evidence-based)[11]。在檢查為基底方法中，各處理機存在一個檢查程式用來檢查其他處理處之錯誤狀態，而被檢查的處理機會忠實的回應它的情況(良好或錯誤)。然而這種方式在任意錯誤模式下不能被使用，因為任意錯誤會任意的回報其錯誤情況，使得良好處理機不能獲得正確的資訊作為錯誤診斷的依據而違反了一致性與公平性兩個錯誤診斷的基本原則。以證據為基底錯誤診斷方法的提出正是為了解決任意錯誤模式。我們將會利用拜占庭協議--APBA 中各系統單元間交換的訊息作為證據，以檢查各系統單元的錯誤情況。

### (5) 錯誤診斷協議通訊協定的研究

經過深入的分析各種錯誤模式與解決方法後，我們會提出一個名叫 APFDA 的通訊協定來解決錯誤診斷協議問題。APFDA 會檢查 APBA 中交換的訊息作為檢查與定位錯誤處理機的證據。在 APFDA 每個訊息交換回合中，每一個處理機均應廣播其訊息給其他的處理機。因此，我們能由下列的證據檢查一個錯誤的系統單元：

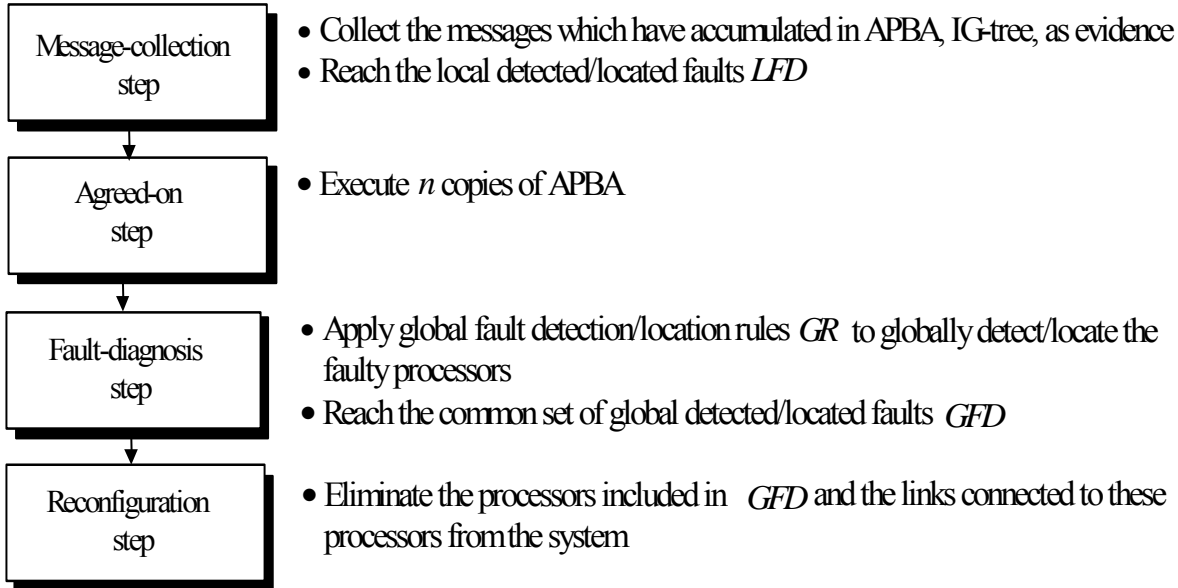
- (a) 處理機沒有送出足夠多的訊息以證明它不是靜止錯誤；
- (b) 處理機送出一些非法的訊息；
- (c) 處理機送出不同的訊息給不同的處理機；
- (d) 通訊線路中斷或修改了訊息；

上述的觀察為我們的初步結果，深入的探討各種錯誤組合所引起的結果為我們將來研究的一個重點。為了要檢查出錯誤處理機，我們提出了兩個檢查規則(rules)，稱為區域錯誤檢查規則(the local fault detection/location rule **LR**)和整體錯誤檢查規則(the global fault detection/location rule **GR**)。我們分成兩種規則之主要原因是分別指示錯誤診斷的結果，如果被整體錯誤檢查規則檢查出的錯誤必定是被所有良好處理機判斷成錯誤；相反的，區域錯誤檢查規則檢查出的錯誤結果可能為不一致的。根據上述兩個規則，APFDA 將包括下列步驟來檢查錯誤系統單元，：



- 訊息收集步驟(message-collection step)
- 協議步驟(Agreed-on step)
- 錯誤診斷步驟(Fault-diagnose step)
- 系統重組態(System reconfiguration step)

上述主要步驟之功能顯示在圖二中：



圖二. APFDA 概念圖

本計畫完成下列之工作項目：

- 一般性非同步網路之調查研究
- 錯誤診斷協議問題之調查研究
- 分散式系統中混合錯誤模式對錯誤診斷協議問題影響之調查研究
- 非同步網路下錯誤診斷協議問題最大錯誤單元數目之證明
- 提出能在非同步網路解決錯誤診斷協議問題之通訊協定
- 通訊協定之系統模擬
- 通訊協定之驗證與分析

## 六、參考文獻

- [1] J. C. Adams and K. V. S. Ramarao, "Distributed diagnosis of Byzantine processors and links," in *Proc. Symp. on Distributed Computing Systems*, 1989, pp. 562-569.
- [2] Altmann B. et. al. "Byzantine agreement secure against general adversaries in the dual failure model," in *Proc. of 13<sup>th</sup> International Symp. of Distributed Computing*, 1999, pp. 123-137.
- [3] Bracha G, Toueg S. "Asynchronous consensus and broadcast protocols," *Journal of the Association for Computing Machinery*, vol.32, no.4, pp.824-840, 1985
- [4] R. W. Buskens, and R. P. Bianchini, "Distributed on-line diagnosis in the presence of

- arbitrary faults,” in *Proc. Symp. on Fault-Tolerant Computing*, 1993, pp. 470-479.
- [5] Canetti R, Rabin T. “Fast asynchronous Byzantine agreement with optimal resilience,” in *Proceedings of the Twenty-Fifth Annual ACM Symposium on the Theory of Computing. ACM*. 1993, pp.42-51.
- [6] T. Chandra and S. Toueg, “Unreliable failure detectors for asynchronous systems,” in *Proc. of the 10th ACM Symp. on Principles of Distributed Computing*, pp. 325-340, 1991.
- [7] D. Dolev, “The Byzantine generals strike again,” *J. Algorithms*, vol. 3, no. 1, pp. 14-30, 1982.
- [8] Garbiras M, Goebel K. “Fusing diagnostic information without a priori performance knowledge,” in *Proc. of the Third International Conference on Information Fusion*, 2000, pp. 9-16.
- [9] Krings and Feyer T., “The Byzantine agreement problem: optimal early stopping,” in *Proc. Of the 32<sup>nd</sup> Annual Hawaii International Conference on Systems Sciences*, 1999.
- [10] L. Lamport, R. Shostak, and M. Pease, “The Byzantine Generals Problem,” *ACM Trans. Prog. Lang. Syst.*, vol. 4, no. 3, pp. 382-401, July 1982.
- [11] P. Lincoln and J. Rushby, “A formally verified algorithm for interactive consistency under a hybrid fault model,” *Proc. Symp. on Fault-Tolerate Computing*, Toulouse, Fr, 1993, pp. 402-411.
- [12] S. Mallela and G. M. Masson, “Diagnosis without repair for hybrid fault situations,” *IEEE Trans. on Computers*, vol 29, no. 6, pp. 461-470, 1980.
- [13] A. Pelc, “Reliable communication in networks with Byzantine link failures,” *NETWORKS*, vol. 22, no. 5, pp. 441-459, Aug. 1992.
- [14] F. Preparata, G. Metze, and R. Chien, “On the connection assignment problem of diagnosable systems,” *IEEE Trans. on Electronic Computing*, vol. 16, no. 6, pp. 848-854, 1967.
- [15] K. V. S. Ramarao and J. C. Adams, “On the diagnosis of Byzantine faults,” in *Proc. Symp. on Reliable Distributed Systems*, 1988, pp. 144-153.
- [16] K. Shin and P. Ramanathan, “Diagnosis of processors with Byzantine faults in a distributed computing systems,” in *Proc. Symp. on Fault-Tolerate Computing*, 1987, pp. 55-60.
- [17] H. S. Siu(also known as H. S. Hsiao), Y. H. Chin, and W. P. Yang, “Byzantine agreement in the presense of mixed faults on processors and links,” *IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems*, vol. 9, no. 4, pp.335-345, 1998.
- [18] H. S. Siu(also known as H. S. Hsiao), Y. H. Chin, and W. P. Yang, “A note on consensus on dual failure modes,” *IEEE Tran. on Parallel and Distributed Systems*, vol. 7, no. 3, pp. 225-230, March 1996.
- [19] H. S. Siu (also known as H. S. Hsiao), Y. H. Chin, and W. P. Yang, “Reaching fault

- diagnosis agreement” *IEEE Tran. on Computers*, Sept. 2000.
- [20] H. S. Siu (also known as H. S. Hsiao), and Y. H. Chin, “Byzantine agreement with mixed failure types,” *Journal of the Chinese Institute of Electrical Engineering*, vol 8, no. 1, pp. 21-35, Feb. 2001.
- [21] H. S. Siu (also known as H. S. Hsiao) and Y. H. Chin, and W. P. Yang,, “Reaching strong consensus in general network,” accepted by *Journal of Information Science and Engineering*.
- [22] H. S. Siu (also known as H. S. Hsiao), Y. H. Chin, and W. P. Yang, ”Reaching strong consensus under hybrid faults model.” *Information Science Journal*, vol. 108, pp. 157-180, 1998.
- [23 ] H. S. Siu (also known as H. S. Hsiao), “Fault-tolerant garbage collection in distributed object-oriented system,” in *Proc. of conference on 18<sup>th</sup> IASTED on Applied Informatics*, 1999.
- [24] P. Thambidurai and Y.-K. Park, “Interactive Consistency with Multiple failure modes,” *Proc. Symp. on Reliable Distributed Systems*, Columbus, OH, Oct. 1988, pp. 93-100.
- [25] Nitin H. Vaidya and D. K. Pradhan, “Safe system level diagnosis,” *IEEE Trans. on Computers*, vol. 43, no. 3, pp. 367-370, 1994.
- [26] S. C. Wang, Y. H. Chin, and K. Q. Yan, “Consensus under unreliable transmission,” *IP*, vol. 69, pp. 243-248, 1999.
- [27] C. L. Yang and G. M. Masson, “A distributed algorithm for fault diagnosis in systems with soft failures,” *IEEE Trans. on Computers*, vol. 37, no. 11, pp. 1476-1480, 1988.