

A Vehicle SoC Fault Diagnosis Technique using FlexRay Protocol

Seung-Yeop Kang*, Ji-Hun Jung**, Sung-Ju Park***

Abstract

In this paper, we propose vehicle SoC fault diagnosis platform using FlexRay protocol in order to detect the faults of semiconductor control chip even after vehicle production. Before FlexRay protocol by sending NFI (Null Frame Indicator) bit among the header segment and a specific identifier in the payload segment of FlexRay frame, this technique can be distinguishable from normal mode and test mode. By using this technique, it is possible to detect the faults such as performance degradation of vehicle network system caused by the aging or several problems of vehicle semiconductor chip. Also high reliability and safety of vehicle can be maintained by using structural test for vehicle SoC fault detection.

▶ Keyword : FlexRay Protocol, Null Frame Indicator, IEEE 1149.1, FPGA, BIST, Structural test

1. Introduction

기계 중심에서 전자 중심으로 빠르게 변화하고 있는 차세대 자동차에 대한 요구 사항을 만족하기 위해 고성능의 자동차용 ECU(Electronic Control Unit)가 필요하게 되었고, 자동차 1대 당 장착되는 SoC(System-on-Chip)의 수는 점점 증가됨으로써 자동차용 반도체의 역할이 더욱 중요해지고 있다[1]. 또한 자동차의 전자화가 점차 빠르게 진행되면서 결함이 발생하는 원인도 기계부분에서 전자시스템으로 옮겨가게 되었다. 따라서 ECU의 오작동으로 인한 급발진 및 예측 불가능한 사고의 증가로 인해 자동차의 안정성(Safety)과 신뢰성(Reliability)에 대한 소비자의 요구는 점점 높아지고 있으며[2], 복잡화 되어가는 ECU에서 요구되는 기능 및 성능이 제대로 수행 되는지 보장하는 것은 점점 더 어려워지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 현재 생산되고 있는 자동차의 개발 초기부터 개발, 유지 보수 및 폐기에 이르기까지 체계적인 위험 분석과 안전성 보장 방안 개발 및 검증을 거쳐야 한다[3].

이를 위해 자동차 및 산업 분야의 기능 안전성을 다루는 표준인 IEC 61508[4]가 제정되었지만 광범위한 규격으로 인하여 여러 산업분야의 다양성을 충분히 고려하지 못한 채 개념적인 내용만을 다루는 단점을 가지고 있다. 이를 해결하기 위해 자동차 기능 안전성 국제 표준 (ISO 26262)이 제정되었으며, 이는 3.5톤 이하의 승용차를 대상으로 하는 자동차의 전기전자 장치의 기능 안전성에 관한 요건을 정의한 표준이다[5].

자동차에 탑재되는 전기전자장치로 인한 사고를 방지하기 위해 제정된 ISO 26262는 프로세스 모델과 함께 요구되는 활동, 유무형의 증거물, 그리고 개발과 생산에 사용되는 방식을 정의할 뿐만 아니라 모든 자동차용 전기전자 안전 관련 시스템의 제품 수명 전 주기에 걸쳐 적용 가능한 자동차용 장비의 기능안전을 정의한다. 근래에 업계에서는 자동차 내에 탑재된 모든 전자 제어 장치에 적용 가능한 테스트 벡터를 인가하여 시뮬레이션 또는 소프트웨어에 의한 기능적 테스트가 시행되고 있다.

하지만 반도체의 공정 미세화 및 design size 증가에 따라 기능적 테스트는 더욱 복잡해지고 비용 측면에서 비효율적인 요소

• First Author: Seung-Yeop Kang, Corresponding Author: Sung-Ju Park

*Seung-Yeop Kang(arena0117@hanyang.ac.kr), Dept. of Computer Science & Engineering, Hanyang University

**Ji-Hun Jung(bbatt@hanyang.ac.kr), Dept. of Computer Science & Engineering, Hanyang University

***Sung-Ju Park(paksj@hanyang.ac.kr), Dept. of Computer Science & Engineering, Hanyang University

• Received: 2014. 11. 15, Revised: 2015. 04. 29, Accepted: 2016. 01. 20.

• This work was supported by the IT R&D program of MOTIE/KEIT, (10045313, Development of system-level fault detection method and international standard to secure)

가 있으며, 고장 점검률(fault coverage) 측면에서 기능적 테스트를 이용하여 높은 점검률을 얻는 데는 한계가 있다. 따라서, 현대의 대부분의 microelectronic device에서는 logic block내에 register로 연결된 scan chain을 구성하고 ATPG (Automatic Test Pattern Generation) 방법을 통해 높은 고장 점검률을 확보 할 수 있는 구조적 테스트 중 대표적인 scan 테스트가 폭넓게 사용되고 있다[6].

본 논문에서는 ISO 26262 표준에 부합하기 위해 자동차 생산 이후에도 전장시스템을 구성하는 반도체 제어 칩의 고장을 검출하기 위해 FlexRay 프로토콜을 이용한 자동차용 SoC 고장 진단 기술을 제안한다. 이 기술은 자동차 내에 구성된 하드웨어 칩의 고장 진단을 정확하게 할 수 있는 구조적 테스트가 될 것이다.

본 논문은 1장 서론을 포함하여 5장으로 구성되어있다. 2장 관련연구에서는 FlexRay 프로토콜, IEEE 1149.1에 대해서 설명한다. 3장 본론에서는 FlexRay 프로토콜을 이용한 자동차용 SoC 고장 진단 기술의 필요성 및 제안하는 테스트 방법, 진행 시나리오 내용을 설명하며, 4장 실험에서는 테스트 시나리오를 토대로 장비를 통한 자동차용 SoC 고장 진단을 위한 플랫폼 구현 및 결과를 보여준다. 마지막 5장 결론에서는 향후 연구 방향 및 결과를 도출하였다.

II. Related Works

1. Vehicle network system

다중(Multiple) ECU에 따른 데이터 양의 증가로 인해, 가장 보편적으로 사용되고 있는 자동차용 네트워크인 LIN(Local Interconnect Network)과 CAN(Controller Area Network) 통신을 사용하여 ECU를 제어하는 것은 어려워졌다. 따라서 ECU의 수를 줄이고 하나의 ECU에 더 많은 기능과 높은 성능을 유지할 수 있도록 많은 노력을 기울이고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 더 넓은 대역폭의 프로토콜을 요구하게 되었고, 이에 따라 개발된 자동차용 네트워크가 FlexRay 프로토콜이다. 이 프로토콜은 높은 전송 용량, 네트워크 복잡도와 신뢰성에 대한 높은 충족도가 요구되는 프로토콜이다[7]. 본 절에서는 FlexRay 계층 구조와 프레임 내부의 각 기능들을 서술한다.

1.1 FlexRay protocol

차세대 자동차용 통신 네트워크로 각광을 받고 있는 FlexRay는 데이터를 전송하기 위한 2개의 통신채널을 지원하며, 채널당 10 Mbps의 데이터 전송 속도로 미래의 애플리케이션에 반드시 필요한 높은 대역폭 요구를 충족한다. 두 채널이 개별적으로 동작하기 때문에 데이터 전송속도는 20 Mbps이며 최고 1 Mbps의 데이터 전송속도인 CAN 프로토콜에 비해 20배 더 빠르다.

그림 1과 같이 FlexRay는 자동차 내의 여러 독립 네트워크를 연결하는 백본으로 활용되고 있으며 동력 계통 등의 고속 데이터 송수신이 필요한 응용 분야에 적용되어가는 추세이다[8]. FlexRay

프로토콜 기술은 자동차 업계만 관심을 가지고 있는 것이 아니다.

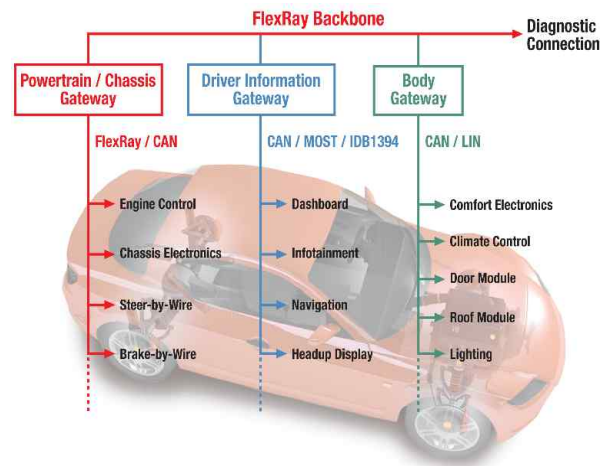


Fig. 1. The example of FlexRay backbone for vehicle network

적당한 가격으로 고속 또는 시간 확정적인 통신 (Deterministic communication)을 요구하는 모든 분야에서 FlexRay가 검토되고 있다. 특히 항공우주 제어 시스템, 건설 및 농기계, 특장차, 공장 및 조선업 제어 시스템은 물론 의료 기기 등에 향후 적용이 가능하다[9].

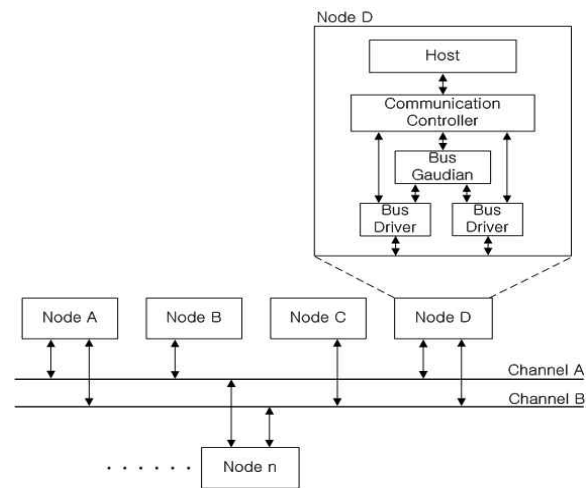


Fig. 2. FlexRay dual bus topology configuration and node architecture

그림 2는 FlexRay 프로토콜을 수행하기 위한 노드의 내부 구조를 나타낸다. Host는 사용자의 소프트웨어로서 FlexRay 프로토콜 프로세스를 제어하고 통신 컨트롤러(Communication Controller)는 FlexRay 노드의 핵심부분으로써 프로토콜을 전반적으로 제어하는 기능을 가지는 주요한 부분이다. Bus Guardian은 버스 액세스를 감시하는 역할을 수행하고 Bus Driver는 노드를 물리적 채널에 연결하여 데이터를 송수신하는 역할을 담당한다. FlexRay 프로토콜의 채널은 각 노드와 노드사이의 데이터

전송은 두 개의 채널을 모두 사용할 수 있고 하나의 채널만 사용할 수도 있다. 채널은 보통 이중화(redundant)를 위해 사용되므로 고장 허용(Fault-tolerant) 메시지 전송을 위해 쓰이지만 서로 다른 메시지를 전송할 수 있다[10].

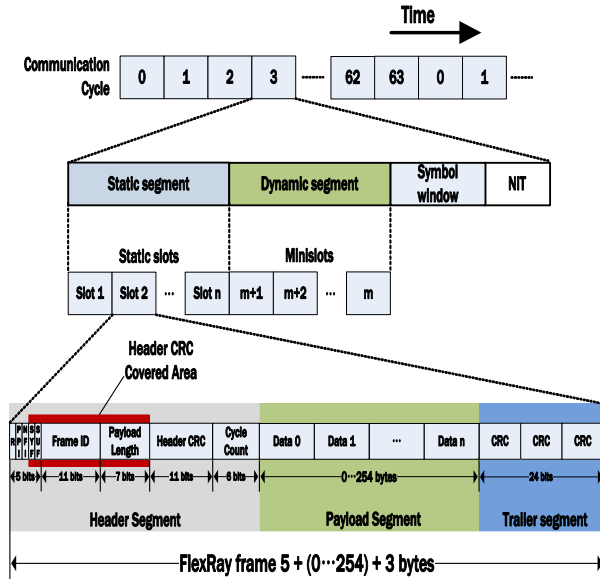


Fig. 3. FlexRay timing hierarchy and frame format

그림 3은 FlexRay의 계층 구조 및 프레임 형식을 보여준다. FlexRay 프로토콜의 통신은 다른 프로토콜과 마찬가지로 사이클로 구성된다. 하나의 통신 사이클은 일종의 정의된 시간으로 FlexRay 시스템에서 설정할 수 있다. 한 사이클이 종료되면 바로 다음 사이클이 이루어진다. 하나의 사이클 내부는 TDMA(Time Division Multiple Access) 특성을 지닌 정적 구간(static segment), FTDMA(Flexible Time Division Multiple Access) 특성을 지닌 동적 구간(dynamic segment), 네트워크 웨이크업(network wakeup)과 같은 특수한 심볼들을 사용하기 위한 심볼 윈도우(Symbol window), 그리고 통신이 전혀 이루어지지 않는 구간(duration)으로서 프로토콜 내부 프로세스와 클럭 동기화를 위해 사용되는 NIT(Network Idle Time)으로 구성된다[11].

하나의 slot 내부는 header segment, payload segment, trailer segment로 구성된다. Header segment(5 byte)는 송신하는 데이터에 관한 정보가 저장되어 있으며, payload segment(0~254 byte)는 송신해야 하는 실제 데이터가 포함된다. Trailer segment(3 byte)는 header segment, payload segment를 통해 계산된 24 bit CRC(Cyclic Redundancy Check)가 저장되며, 프레임 전체에 오류가 있는지 여부를 검사하기 위한 기능을 수행한다.

FlexRay 프레임의 header segment는 전송될 프레임의 상태를 나타내는 5개의 컨트롤 비트를 갖는다. 최상위 비트인 reserved bit는 향후 프로토콜에서 사용할 수 있도록 예약되어 있는 비트이다. 이 비트는 사용자가 사용할 수 없다. PPI(Payload Preamble Indicator)는 segment에 NMV(Network Management Vector) 또는 message ID를 포함할 것인지 여

부를 결정한다. NFI(Null Frame Indicator)는 payload segment가 데이터를 포함할 것인지를 결정한다. 이 비트가 '0'이면 payload segment는 유효한 데이터를 포함하지 않고, '1'이면 유효한 데이터를 포함한다.

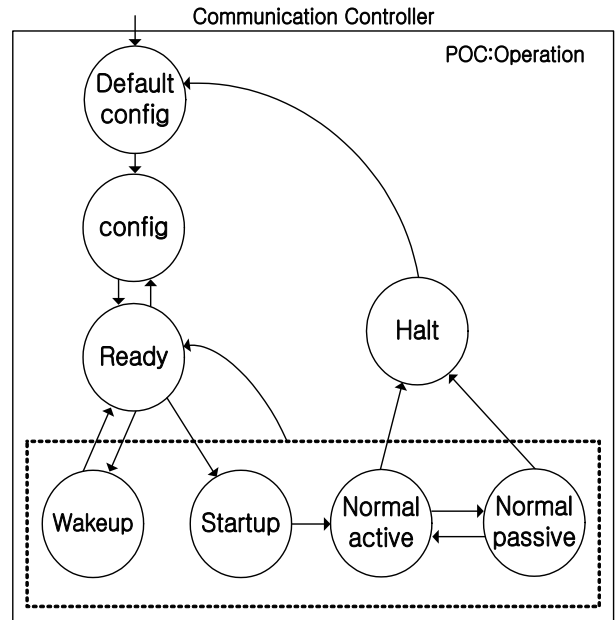


Fig. 4. Overview of POC(Protocol Operation Control)

SYF(Sync Frame Indicator)는 프레임을 동기화에 사용할지 여부를 결정한다. SUF(Startup Frame Indicator)는 프레임이 시작 프레임인지 여부를 결정한다. FID(Frame ID)는 전송될 프레임 slot을 정의한다. FID는 하나의 통신 사이클 내에서 각 채널에 한 번 이상 사용된다. 프레임의 slot 번호는 1~2047까지 설정할 수 있으며 FID가 '0'이면 무효가 된다. Payload length는 payload segment의 크기가 표시된다. 구체적으로 payload 데이터의 크기(byte 수)를 '2'로 나눈 값이 여기에 설정된다. Header CRC는 SYF, SUF, FID, payload length에서 계산된 CRC코드가 저장된다. 송신 프레임을 위한 Header CRC의 계산은 호스트의 애플리케이션에 의해 계산되며 Startup 시에 호스트에서 송신 컨트롤러에 제공하는 것이 사양으로 정해져있다. Cycle count는 송신 노드가 몇 번 데이터를 송신했는지, 즉 커뮤케이션 사이클의 카운트 값을 나타낸다. Cycle count의 최대값은 '63'이며, 이것을 초과하면 '0'으로 초기화되어 다시 카운트를 시작한다.

그림 4는 각 노드에 포함된 FlexRay 통신 컨트롤러의 내부 상태를 나타내는 프로토콜 상태 머신(Protocol state machine)이다. 각각의 원은 하나의 상태 또는 세트로 된 여러 개의 상태를 나타낸다. 원들을 연결하는 화살표는 상태 간의 천이(Transition)을 보여주며, Default config, Config, Ready, Wakeup, 그리고 Startup 상태는 플렉스레이 프로토콜을 정상 동작시키기 위한 초기화 단계에서부터 여러 개의 노드가 프레임 송수신하기까지의 준비 과정들을 나타낸다. Ready 상태

는 추가적인 호스트 명령을 기다리는 대기 상태이다. 이 상태에서 컨트롤러는 메시지를 송수신할 수 없지만 Wakeup 신호를 수신하고 인식할 수 있다. 또한 Startup, Normal active, Normal passive 상태에서 통신의 재시작을 위해 Ready 상태로 천이될 수 있다. Normal active 상태는 노드가 프레임을 송수신하는 정상 동작 상태이다. 만약 어떤 오류가 발생하면 노드는 자동으로 Normal passive 또는 Halt 상태로 진입한다. 두 상태 중 어디로 진입하도록 할지 여부는 설정할 수 있다. Normal passive 상태에서 노드는 여전히 프레임을 수신할 수 있지만 송신은 허용되지 않는다. Halt 상태에서는 플렉스레이 통신 컨트롤러 내의 모든 내부 프로세스가 정지된다. Halt 상태는 Default config 상태로의 천이를 통해서만 벗어날 수 있다. Halt 상태에서 Default config으로 천이가 되었다는 것은 통신의 재시작을 의미한다.

2. IEEE 1149.1

IEEE 1149.1은 칩의 입출력 핀에 전용 경계 스캔 레지스터를 사용하여 칩 테스트 패턴을 직접 주입 및 관측할 수 있게 하는 보드수준에서의 테스트 설계 기술이다[12]. 이 기술은 90년대에 경계 스캔이 업계의 표준으로 선택된 후부터 비메모리 칩에 널리 내장되어 사용되고 있다.

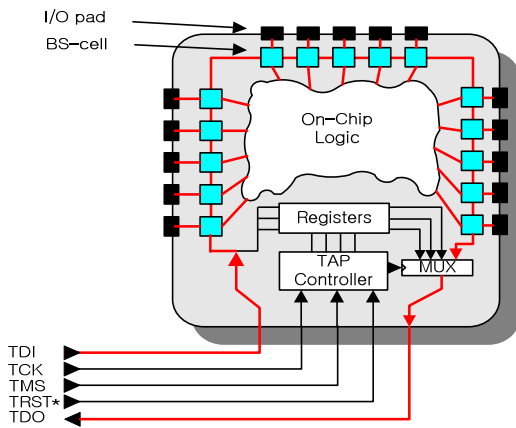


Fig. 5. IEEE 1149.1 structure

경계 스캔의 구조는 그림 5와 같이 TAP(Test Access Port), TAP Controller, 명령어 및 각종 테스트 데이터 레지스터들로 구성되어 있다. TAP은 경계 스캔에서 필요로 하는 칩의 핀으로 TDI(Test Data Input), TDO(Test Data Output), TMS(Test Mode Select), TCK(Test Clock), TRST*(Test Reset*)으로 구성된다. TDI는 테스트 패턴의 인가를 위한 핀이며, TDO는 테스트 결과를 확인하기 위한 출력 핀이다. TMS는 TAP Controller의 상태를 결정하기 위한 제어신호이고, TCK는 시스템 클럭과는 별도로 테스트 시에 사용되는 클럭이다. TRST*는 TAP Controller의 상태를 초기화하는데 사용되며 이 핀은 선택적으로 사용 가능하다.

그림 6은 TAP Controller는 각종 레지스터의 동작을 제어

하기 위한 신호를 내보내는 모듈이다. 칩의 각 입력 핀(TDI, TMS, TCK, TRST*)은 연계된 경계 스캔 셀을 통하여 칩 내부로 신호를 인가하고, 회로 내부에서 생성된 신호는 경계 스캔 셀을 통하여 칩 외부로 출력하게 되어있다. 테스트 데이터 레지스터로는 경계 스캔 레지스터 이외에도 BYPASS 레지스터 및 IDCODE 레지스터 등이 있으며 사용자가 추가하여 사용할 수 있다.

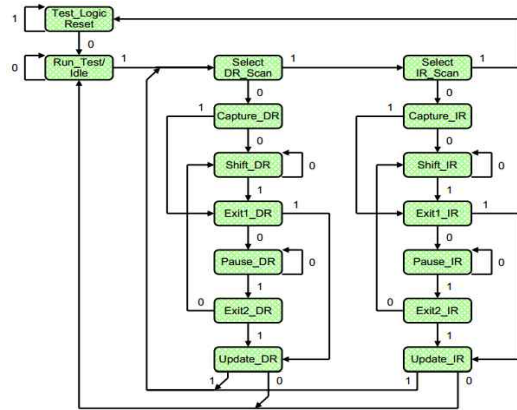


Fig. 6. TAP Controller state diagram

TAP Controller는 16개의 상태를 가지는 FSM으로 그림 6과 같은 상태 천이를 가진다. 16개의 상태는 TAP Controller를 초기화하는 상태(Test-Logic-Reset(F)), 대기 상태(Run-Test-IDLE(C)), 데이터 레지스터와 관련된 상태(Select-DR-Scan(7), Capture-DR(6), Shift-DR(2), Exit1-DR(1), Pause-DR(3), Exit2-DR(0), Update-DR(5))과 명령어 관련된 상태(Select-IR-Scan(4), Capture-IR(E), Shift-IR(A), Exit1-IR(9), Pause-IR(B), Exit2-IR(8), Update-IR(D))가 있다.

경계 스캔에서 사용되는 명령어로는 필수 명령어인 BYPASS, EXTEST, SAMPLE/PRELOAD와 선택적인 명령어인 CLAMP, INTEST, RUNBIST 등이 있다. 필수 명령어 중 BYPASS는 TDI로 들어오는 데이터를 경계 스캔 셀을 통하지 않고 한 클럭에 바로 TDO로 내보내도록 하는 명령으로써, 테스트가 필요 없는 칩을 통과하여 테스트 시간을 단축시킬 수 있다. EXTEST는 칩과 칩 사이의 연결선 점검 시 사용되는 명령어이고, SAMPLE/PRELOAD는 경계 스캔 셀의 값을 외부로 빼내거나, 정상 동작이 수행되고 있는 동안에도 미리 테스트 패턴을 경계 스캔 셀에 적재할 수 있도록 하는 명령어이다.

III. The main issue

1. Importance of vehicle SoC fault diagnosis technique

자동차를 구성하는 시스템 반도체의 수는 급격히 증가하는

추세이지만, 반도체는 제조 공정이 무결점을 보장할 수 없을 뿐만 아니라 사용 시간 또는 온도나 전기적인 스트레스에 의해 다양한 불량 발생 가능성이 있는 문제점이 있다. 따라서 자동차용 시스템 반도체 제품의 ISO 26262 인증은 필수적인 요소가 되었다.

ISO 26262는 신뢰성보다는 동작 안전성에 중점을 두기 때문에 신뢰성을 목표로 하는 기존의 반도체 테스트 수단만으로는 부족한 실정이다. 따라서 자동차 동작 중의 특정 시점에서 제품의 불량을 검출 혹은 방지하기 위한 온라인 테스트 수단이 필요하다. 이를 위해 자동차용 네트워크와 반도체의 테스트 표준 인터페이스 간의 데이터 전송을 위한 프로토콜 변환 테스트 플랫폼이 제안되었지만 온라인 테스트에서는 테스트 기술의 품질, 즉 신뢰성이 동작 안전성을 보장할 수 있기 때문에 테스트 플랫폼과 더불어 기존 반도체 테스트 기술의 질적 향상을 위한 연구가 필요하다.

최근 널리 사용되고 있는 CAN 프로토콜의 경우 최대의 통신 속도가 1Mbps이다. 구조적 테스트의 대표적인 스캔 테스트를 수행하기 위해서는 수많은 양의 테스트 패턴을 인가해야 되는데 CAN 프로토콜은 통신 속도가 빠르지 않기 때문에 테스트 수행시간이 매우 오래 걸린다. 상기 관련 연구에서 그림 1과 같이 FlexRay는 자동차 내의 여러 독립 네트워크를 연결하는 백본으로 활용되고 있고 최대 통신 속도는 10 Mbps이기 때문에 여러 독립 네트워크의 ECU 내의 반도체 칩 테스트를 수행하기 매우 용이하다. 즉, 고속의 네트워크 프로토콜 때문에 스캔 패턴을 인가하기 어려운 CAN 프로토콜에 비하여 효과적이며, 수많은 테스트 패턴에 의해 수행되는 테스트 과정에서의 시간은 매우 짧다.

뿐만 아니라, 자동차의 기능적 검증은 ECU내 메모리를 참조하거나 이를 이용해 테스트를 수행하게 되는데 메모리 테스트를 수행하려는 하드웨어가 만약 고장이 발생된 상태로 테스트를 하게 되면 원하지 않는 결과를 얻게 될 수 있다. 즉, 하드웨어가 고장 상태임에도 불구하고 정상으로 판별된 정보를 받아온다거나 시스템 고장이 일어나지 않았음에도 불구하고 메모리로부터 데이터를 받아오는 경로의 오류로 인하여 고장으로 판별되는 문제가 생길 수 있다. 따라서, 이러한 일을 방지하기 위해서는 자동차를 제어하는 반도체 제어 칩의 구조적 테스트 수행을 통한 구조적 보장이 반드시 필요하다.

2. Proposal diagnosis technique

본 논문에서는 FlexRay 프로토콜을 이용한 자동차용 SoC의 전주기적 테스트 방법과 FlexRay 프로토콜이 동작되기 전에 FlexRay 프레임의 NFI 비트의 이용과 payload segment에 특정 식별자를 적재하여 테스트 대상인 노드에 프레임을 전송함으로써 정상모드 및 테스트 모드에 진입할 수 있는 방법을 제안한다. 이는 테스트를 수행하기 위한 추가적인 장비 및 핀을 요구하지 않고 FlexRay 프로토콜의 데이터를 송수신하기 위한 채널 자체를 테스트 경로로 이용하는 방법을 포함한다. 이 기술은 자동차

용 SoC의 성능 저하와 고장에 따른 예기치 못한 사고를 사전에 미리 예측하고 대비할 수 있다. 또한 높은 고장 검출율의 구조적 테스트를 수행함으로써 자동차의 안전성을 보장하는 장점이 있다.

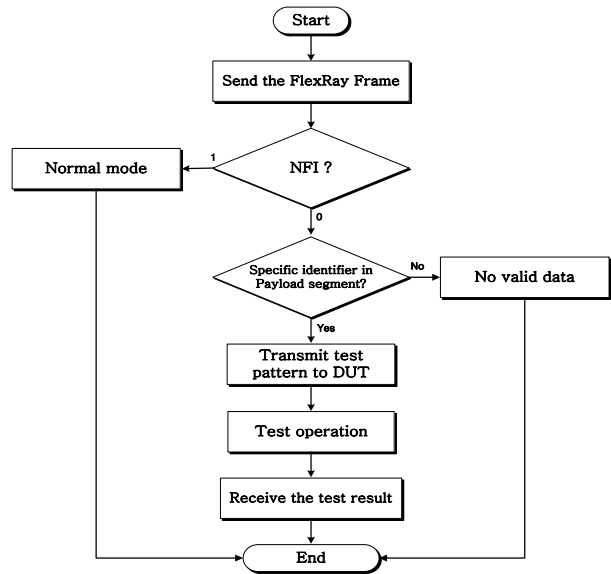


Fig. 7. Flow chart to explain the vehicle SoC test technique using FlexRay protocol

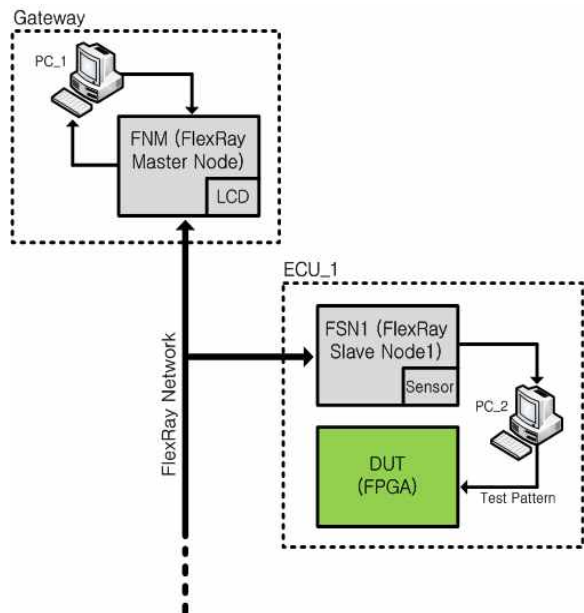


Fig. 8. Structure for vehicle SoC fault diagnosis simulation

그림 7과 8은 FlexRay 프로토콜을 이용한 자동차용 SoC 고장 진단 순서도 및 시뮬레이션 구조를 보여준다. Gateway는 Backbone Network를 통해 수신된 데이터를 각 ECU에 전송하는 역할을 수행한다. Gateway 내부의 Host PC(PC_1)은 FMN(FlexRay Master Node)으로 적외선 거리감지 기능(정상 모드) 또는 테스트 모드를 수행하기 위한 명령을 전달한다.

FMN이 Host PC으로부터 테스트 모드를 수행하라는 명령과 테스트를 수행하기 위한 테스트 패턴을 수신하면 고장 진단 테스트를 생성하기 위해 그림 9와 같이 FMN의 통신 컨트롤러에서는 프레임의 NFI 비트를 '0'으로 변경하고, payload segment의

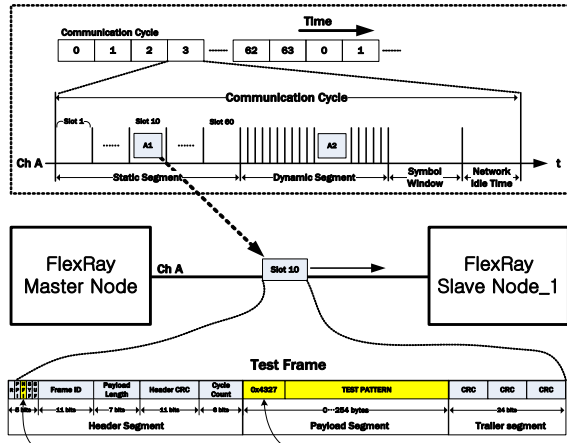


Fig. 9. Frame format to perform the test mode

MSB에 특정 식별자를 저장하며, 이 식별자 다음 위치에 테스트 패턴(9DD9D9D9B99FD9)을 저장한다. 이러한 프레임 변경이 완료되면 FMN은 FSN1로 프레임을 전송한다. 이 프레임을 수신한 FSN1의 통신 컨트롤러는 프레임의 NFI가 '0'이고 payload segment의 MSB에 특정 식별자가 확인되면, 이를 제외한 나머지 payload segment에 저장된 데이터는 테스트 패턴으로 인식하여 테스트 모드로 진입하게 된다.

FSN1의 통신 컨트롤러의 내부 상태를 나타내는 프로토콜 스테이트 머신의 상태는 테스트를 수행하기 위해 즉시 POC:Halt 상태로 천이된다. 이에 따라 통신 컨트롤러 내의 모든 내부 프로세스가 정지되기 때문에 정상적으로 테스트를 수행하는데 있어 아무런 지장을 주지 않는다. 이후 payload segment에 저장된 테스트 패턴을 분리하여 PC_2로 전송한다.

PC_2는 FSN1로부터 수신한 테스트 패턴을 FPGA(Field Programmable Gate Array) 보드로 전송한다. FPGA에 구현된 IEEE 1149.1 포트로 BIST(Built-In Self Test)를 수행하기 위한 테스트 패턴을 인가하여 그 결과를 Board에 구성된 LCD로 출력한다.

각 FlexRay 노드에서는 NFI를 분석하여 테스트인지 모듈 동작을 하는 것인지 분석은 가능하지만 테스트 패턴에 따른 테스트를 자체적으로 할 수 없기 때문에 테스트 모드일 경우 payload segment에 저장된 테스트 패턴을 분리하여 FPGA에서 테스트를 할 수 있도록 우회적으로 시뮬레이션 하는 것이 핵심이다.

III. Experiment

FlexRay 프로토콜을 이용한 자동차용 SoC 진단 시스템을

구현하기 위해 Freescale사의 MC9S12XF512 칩을 사용하였으며, 이를 위한 통합 개발환경은 Freescale사의 CodeWarrior IDE를 사용하였다. 1149.1 회로를 위한 설계 언어는 Verilog HDL을 사용하였으며, 시뮬레이션 및 타이밍 검증을 위해 Mentor Graphics 사의 Modelsim 10.1b를 사용하였다. IEEE 1149.1를 이용하여 BIST를 수행하기 위한 환경은 HUINS 사의 PXA-255 PRO의 FPGA(Altera Cyclone EP1C6Q240CB)를 사용하였으며, Altera Quarters II 11.0 툴을 이용하여 합성하였다.

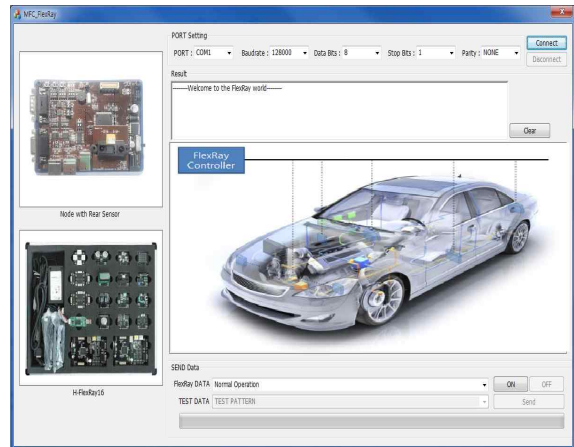


Fig. 10. The software to transmit command for normal or test mode

그림 10은 FlexRay를 이용한 고장 진단 플랫폼을 구동시키기 전에, 정상 또는 테스트 모드를 수행하기 위한 명령을 전달하는 소프트웨어이다. 이는 Host PC에서 구현되며, FMN과 소프트웨어간의 데이터 송수신은 UART(Universal Asynchronous Receiver and Transmitter) 통신으로 이루어진다. 테스트 모드 시, 미리 생성된 테스트 패턴을 전송하여 FMN을 제어할 수 있다.

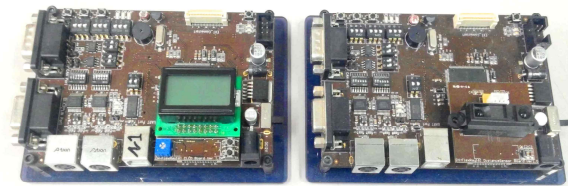


Fig. 11. H-FlexRay16 CPU Board

그림 11는 실험에 사용된 HYBUS 사의 H-FlexRay 16 CPU보드이다. 이 보드에는 Freescale사의 MC9S12XF512 칩이 내장되어 있으며, LIN, CAN, FlexRay 통신과 UART 기능이 있어 PC와의 인터페이스가 가능하다. 또한 다양한 자동차용 네트워크 프로토콜을 지원하기 때문에 네트워크 노드 단말기로 사용할 수 있을 뿐만 아니라 프로토콜을 변환하여 전송하는 게이트웨이로도 활용이 가능하다.

그림 12는 자동차용 칩 고장 진단 플랫폼을 보여준다. FMN과

FSN1간의 통신은 하나의 채널로 연결되며, FSN1으로부터 테스트 패턴을 수신한 PC_2는 BIST를 수행하기 위해 테스트 패턴을 FPGA에 전송하며, 테스트 결과를 PXA-255 PRO의 LCD로 확인할 수 있다.



Fig. 12. The implementation environment for vehicle SoC fault diagnosis platform

Table 1. FlexRay Protocol Parameter

Bit Rate [MBit/s]	10 MBit/s
gNumberOfStaticSlots	60
gNumberOfminislots	22
Channel mode	Dual channel (A,B)
gPayloadLengthStatic	16 two-byte-words
pPayloadLengthDynMax	8 two-byte-words

FlexRay 프로토콜은 표 1과 같이 다양한 파라미터를 설정할 수 있다. 이러한 파라미터는 통신이 시작하기 전에 미리 구성되어 있어야하며 프로토콜이 시작하게 되면 값은 변경되지 않는다. 정적 슬롯의 개수는 60개로 설정하였으며, 테스트 모드 시, 60개의 슬롯 중 테스트 패턴이 포함된 프레임은 10번 슬롯에 적재하여 전송하도록 구성하였다. Dynamic segment의 미니슬롯 개수는 22개로 설정하였으며, 정상 모드 시, 22개의 미니슬롯 중 센서 데이터가 포함된 프레임은 62번 슬롯에 적재하여 전송하도록 구성하였다.

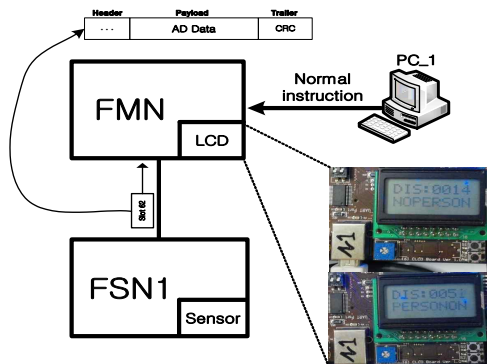


Fig. 13. Distance sensing sensor using FlexRay protocol

그림 13은 적외선 거리감지 센서를 이용한 자동차 내 탑승자 유무를 판별하는 전장 구조이다. FSN1의 적외선 감지 센서 모듈을 통해 생성된 AD 데이터는 62번 슬롯의 payload segment에 저장되어 FMN으로 전송된다. FMN에서는 FSN1으로부터 수신한 AD 데이터에 대해 임계값을 설정하여 자동차 내 탑승자 유무를 판별하여 LCD 모듈로 출력한다. LCD의 DIS는 FSN1으로부터 수신한 AD 데이터를 의미하며, 사물이 FSN1의 Sensor에 인접될수록 DIS값은 증가하게 된다. DIS값이 '50' 이상이 되면 'PERSON' 메시지를 출력한다. 이는 일반적인 FlexRay 프로토콜의 동작, 즉 정상 모드를 의미한다.

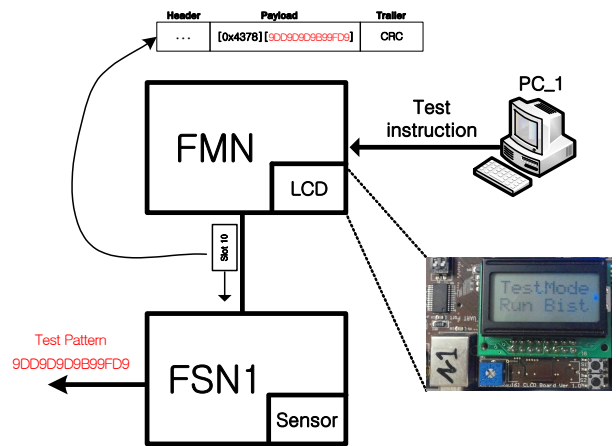


Fig. 14. Test mode mechanism using FlexRay protocol

그림 14는 FlexRay 프로토콜을 이용한 테스트 모드 매커니즘이다. 앞서 설명했듯이, FMN이 Host PC로부터 테스트 명령어와 테스트 패턴을 수신하면 제한한 그림 7의 프레임 변경 기법을 사용하여 변경된 프레임을 10번 슬롯에 저장 후 FSN1로 전송한다. 이 프레임을 수신한 FSN1의 통신 컨트롤러는 프레임의 NFI가 '0'이고 payload segment의 MSB에 특정 식별자가 확인되면, 이를 제외한 나머지 payload segment에 저장된 데이터는 테스트 패턴으로 인식하며, 테스트 패턴만을 분리해 PC_2로 전송한다.

그림 15은 Verilog HDL을 이용하여 4bit의 테스트 패턴에 의해 동작하는 1149.1 TAP Controller의 상태 변화와 RUNBIST 명령어에 의해 BIST 신호의 출력을 보여주는 시뮬레이션이다. 4bit의 TestPattern은 각각 TCK, TMS, TDI, TRST로 인가되며, 이는 그림 12의 PC_2에서 FPGA로 인가되는 TPG(Test Pattern Generator)으로 볼 수 있다.

IEEE 1149.1에서는 3개의 필수적인 명령어(BYPASS, EXTEST, SAMPLE/PRELOAD)이 있다. BIST를 수행하기 위한 명령어인 RUNBIST는 필수적인 명령어가 아니기 때문에 이를 식별하기 위한 명령어가 반드시 필요하다. 이에 따라 RUNBIST 명령어로 '1001'을 사용하였다. 타이밍도의 state가 Shift-IR(a)인 상태에서 TDI는 IR(Instruction Register)의 temp_out_cell로 1bit씩 쉬프트 되며, Update-IR(d) 상태에서

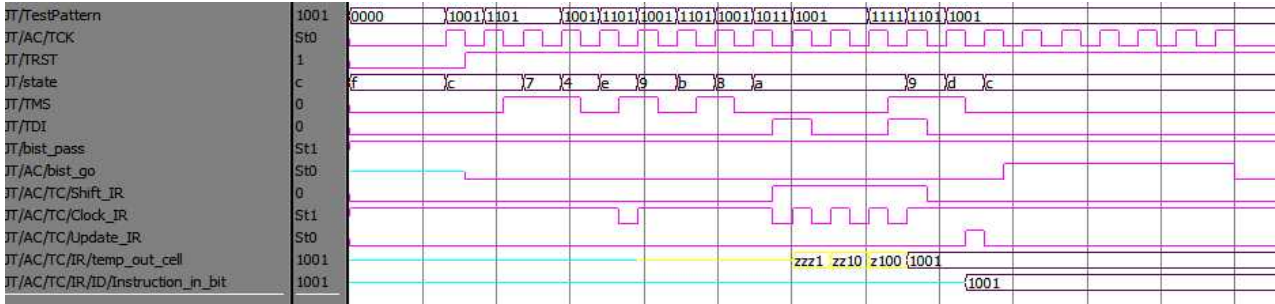
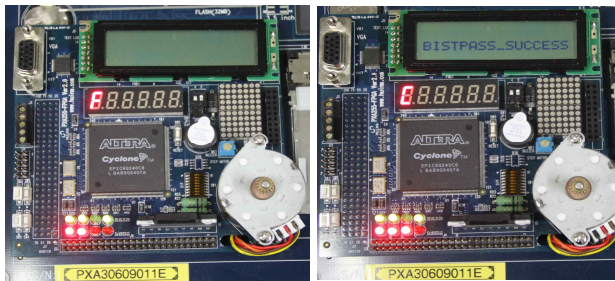


Fig.15. TAP controller operation by the test pattern

쉬프트 완료된 명령어는 ID(Instruction decoder)에 의해 디코딩된다. 이후 bist_go 신호가 '1'이 됨에 따라 BIST 동작을 수행하게 된다. BIST를 수행하기 위한 state는 Run-Test/Idle(c)이 되어야 하며 테스트가 끝날때까지 이 상태를 유지하여야 한다.

기능적 검증의 신뢰성을 보장해줄 수 있는 구조적 테스트가 선행되어야 한다는 것이다. 본 논문에서는 이러한 문제들을 해결하기 위해 자동차 내에 구성된 하드웨어 칩의 고장 진단을 할 수 있는 구조적 테스트 방법을 제안하였다. 이 기술을 통하여 칩의 출고 이후에도 자가 진단 테스트를 실시함으로써 칩의 수명이 끝날 때까지 자동차 안전의 높은 신뢰성을 유지할 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 또한 반도체 회로 설계 및 제작에 사용되는 DFT(Design For Testability) 등의 DFx에 접목시킬 수 있는 발판이 되어 자동차용 SoC의 고장 점검률을 획기적으로 높일 수 있게 될 것이다.



(1) 초기상태 (2) BIST 완료

Fig. 16. The test results performed in FPGA

그림 16은 작성된 Verilog HDL을 합성 후 FPGA에서 실제 테스트 동작을 수행하는 모습이다. PC_2와 FPGA간에 통신은UART으로 이루어지며, 테스트 패턴(9DD9D9D9B99FD9)을 인가하여 테스트를 수행하게 된다. Hex 데이터로 된 테스트 패턴은 TAP Signal(TCK, TMS, TDI, TRST)에 대한 정보가 포함되어 있다.

테스트 패턴을 각각 4bit로 변환하여 TAP Signal에 병렬로 전송된다. 그림 5의 (1)에서는 테스트를 수행하기 위한 TAP Controller의 초기 상태(Test-Logic-Reset : F)를 나타내고 있으며, (2)에서는 테스트 패턴을 인가하여 BIST를 수행한 결과(Run-Test-Idle : C)를 나타내고 있다.

IV. Conclusions

자동차의 발전에 따라 점차 기계 부분에 의한 사고에서 고도화되어가는 전자시스템에 의한 사고로 옮겨가고 있는 추세이며, 이에 따라 각 자동차 업체에서는 많은 안전장치와 기능 검증을 위한 시스템들을 내어 놓고 있지만 여전히 급발진 같은 치명적인 사고가 빈번히 발생하고 있다. 또한 신뢰성과 안전성을 요구하는 자동차 업체에서는 이에 대비하여 많은 안전장치와 기능 검증을 위한 시스템들이 개발되고 있지만 여전히 예기치 못한 사고는 지속적으로 발생하고 있다. 기능적 테스트를 실시하기 전에 기본적으로

향후 미래에는 자동차용 전장 시스템의 발전으로 인하여 ECU의 기능 및 높은 성능을 요구하게 될 것이다. 따라서 ECU의 개수도 급격히 증가하게 될 것이며, 점점 더 복잡해질 것으로 전망된다. 이러한 변화로 인하여 자동차를 제어하는 반도체 칩의 구조적 테스트는 더욱 큰 이슈로 떠오르게 될 것이다.

REFERENCES

- [1] K. H. Kim, "Issue in Focus : Automotive Semiconductors", Journal of the Korea Society of Automotive Engineers, Vol. 33, No. 8, pp. 93-97, Aug. 2011.
- [2] S. Y. Kang, J. H. Jung, "Automobile Reliability Improvement Technique Using FlexRay Protocol", The Institute of Electronics Engineers of Korea Conference Fall, Vol. 2013, No. 11, pp. 697-700, Nov. 2013.
- [3] J. H. Cho, Y. Jungm, "An Implementation of automotive development methodology based on ISO 26262," The Korean Society of Automotive Engineers Conference, Vol. 2010, No. 11, pp. 2052-2059, Nov. 2010.
- [4] IEC 61508, "Functional safety of electrical / electronic / programmable Electronic safety-related systems", Part 1 ~ Part 6 IEC, 1998
- [5] ISO 26262 1st Ed., Part 1-9, Nov. 2011.
- [6] E.B. Eichelberger and T.W. Williams, "A Logic Design Structure for Testability", Proceedings, DAC, 1977, pp 462-468
- [7] T. Herpel, B. Kloiber, R. German and S. Fey, "Routing

of Safety-Relevant Messages in Automotive ECU Networks" IEEE 70th Vehicular Technology Conference Fall, pp.1-5, Sept 2009.

- [8] Hybus, "16bit Freescale S12XF-based Microcontroller Design and Application", Apr. 2010.
- [9] Mathias Rausch, "Flexray : Grundlagen, Funktionsweise, Anwendung", Tans. Kun-Yong Lee and Jin-Woo Lee, Smart&Company. Ltd, Jan. 2013.
- [10] FlexRay Consortium, "FlexRay Communications System Protocol Specification Version 2.1 Revision A", Apr. 2005.
- [11] Sato Michio, Doo-Hee Lee, "Automobile Network System (Korean edition)", Trans, Do-Hee Lee, SungAnDang Co., Jan. 2010.
- [12] IEEE Standard Association Home Page. IEEE Std. 1149.1(IEEE Standard Test Access Port and Boundary Scan Architecture).



Sung-Ju Park received the B.S. degree in electronics from Hanyang University, South Korea, in 1983 and the M.S and Ph.D. degrees in electrical and computer engineering from the University of Massachusetts at Amherst in 1988 and 1992, respectively. From 1983 to 1986, he was with the Gold Star Company in South Korea. From 1992 to 1995, he worked for IBM Microelectronics, Endicott, NY as a Development Staff in charge of boundary scan and LSSD scan design. Since then, he has been a Professor in the department of computer science and engineering in Hanyang University, South Korea. His research interests lie in the area of VLSI testing including scan design, built-in self test, test pattern generation, fault simulation, and synthesis of test. Additional interests include graph theory and design verification. Prof. Park is a member of the Institute of Electronics Engineers of Korea, the Korea Information Science Society, and the Institute of Electronics and Information and Communication Engineers.

Authors



Seung-Yeop Kang received the B.S. and M.S. in computer science and engineering from Hanyang University, South Korea in 2013 and 2015, respectively.

His interests include design for testability, memory test and vehicle SoC test.



Ji-Hun Jung received the B.S. in computer science and engineering from Hanyang University, South Korea in 2010. Since 2010 he has been working toward the integrated degree of M.S.

and Ph.D. in computer science and engineering at the same University. His interests include design for testability, memory test, memory ECC, 3D-IC testing, on-line test and aging monitoring.