

데이터 평면 프로그래밍을 위한 언어의 독립성 비교

한솔, 백호성, 장석원, 김영호, 백상현, 임용재
고려대학교 전기전자공학과

e-mail : { hs1087, gh1emd, imsoboy2, drkim05, shpack }@korea.ac.kr, yongjae.rim@gmail.com

Comparison of Independency of Language for Data Plane Programming

Sol Han, Hosung Baek, Seokwon Jang, Youngho Kim, Sangheon Pack, Yongjae Rim
School of Electrical Engineering, Korea University

요 약

최근 소프트웨어 정의 네트워킹 기술에 대한 연구가 활발히 진행되면서 제어 평면에 대한 많은 발전이 있었으나 여전히 데이터 평면의 하드웨어와 프로토콜에 대해 종속적이다. 이 문제를 해결하기 위해 데이터 평면을 프로그래밍할 수 있게 하여 white box 형태로 만드는 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 하드웨어와 프로토콜에 독립적이기 위한 데이터 평면 프로그래밍 언어와 언어들의 독립성에 대해 살펴본다.

1. 서론

최근 소프트웨어 정의 네트워킹(SDN: Software defined-networking) 기술은 OpenDaylight[1]나 ONOS[2]와 같이 오픈 소스 프로젝트 형태로 연구가 활발히 진행되면서 제어 평면에 대한 많은 발전이 있었으나 여전히 데이터 평면의 하드웨어 의존도가 높다. 예를 들어, 현재 SDN 패러다임에서 사용하고 있는 OpenFlow 프로토콜은 이를 지원하는 디바이스 위에서만 동작할 수 있기 때문에, 새로운 기능의 추가되면 기존 디바이스는 새로운 OpenFlow 버전에 맞게 소프트웨어가 업데이트 되거나 버전에 맞는 디바이스로 교체해야 한다. 하지만 네트워크 상의 모든 디바이스를 업데이트하거나 교체하는 것은 비용과 시간 측면에서 매우 비효율적이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 데이터 평면을 프로그래밍할 수 있게 하여 데이터 평면 디바이스를 white box 형태로 독립성을 얻고자 하는 연구들이 진행되고 있다. 대표적으로 Programming Protocol-Independent Packet Processors(P4)[3]와 Domino[4]가 있다. 해당 프로젝트는 하드웨어 장비와 프로토콜에 독립적으로 동작하는 플랫폼을 구성하고 프로그래밍 가능한 언어를 개발하는 것을 목표로 한다. 따라서 본 논문에서는 데이터 평면의 하드웨어 의존도를 줄이고 프로토콜에 대해 독립적일 수 있도록 하는 위 두가지 언어에 대해 살펴보고 독립성에 대해 분석하도록 한다.

본 논문은 프로그래밍 가능한 데이터 평면을 위한 언어를 소개하고 언어들의 독립성에 대해 살펴본다. 2장에서는 프로그래밍 가능한 데이터 평면을 위한 언어인 P4와 Domino에 대해 살펴본다. 3장에서는 각

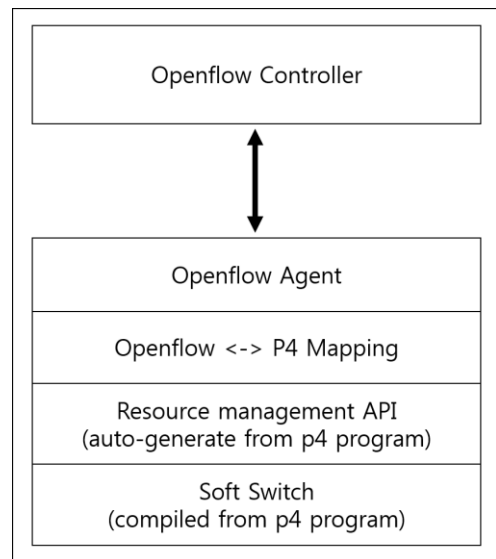


그림 1. OpenFlow의 P4 매핑 예시

언어의 독립성에 대해 살펴보고 4장에서 결론을 맺는다.

2. 데이터 평면 프로그래밍을 위한 언어

본 장에서는 데이터 평면 프로그래밍을 위한 언어인 P4와 Domino에 대해 살펴본다.

1) P4

P4는 구글, 마이크로소프트, 인텔 등 다양한 단체가 참여하고 있는 프로젝트이고, 현재 데이터 평면 프로그래밍을 위한 프로젝트 중 가장 활발하게 연구가 진행되고 있다. P4는 기본적으로 파서를 프로그래

밍 하는 방식으로 동작한다. 프로그래밍한 패킷 파서를 스위치에서 컴파일하여 P4 로 프로그래밍한 프로토콜의 패킷 헤더를 처리한다. 예를 들어, 기존의 OpenFlow 프로토콜의 패킷은 그림 1 과 같이 P4 언어로 매핑되어 처리할 수 있고, P4 를 사용하여 프로그래밍된 OpenFlow 는 컴파일러를 통해 파싱되고, 파싱된 결과를 match/action 테이블을 사용하여 처리할 수 있다.

2) Domino

Domino 는 MIT 와 Barefoot 등 단체에서 match/action 기반 P4 언어의 알고리즘 표현력의 부족을 극복하기 위해 발표한 언어이고, C-like syntax 를 사용하는 언어이다. match/action 기반의 P4 언어는 큐를 관리하거나 수학적 알고리즘을 프로그래밍하기 힘들기 때문에 프로세싱 유닛인 atom 을 적용하여 해당 알고리즘을 구현할 수 있도록 하였다. P4 언어는 파서에 대한 프로그래밍을 제공하지만 Domino 와 같은 경우 파서를 제외한 Ingress/Egress pipeline 에 대한 프로그래밍을 제공한다.

3. 데이터 평면 프로그래밍을 위한 언어의 독립성

본 장에서는 프로그래밍 가능한 데이터 평면을 구축하기 위한 언어의 목적인 프로토콜과 target 에 대한 독립성에 대해 P4 와 Domino 측면에서 살펴보도록 한다.

1) 프로토콜에 대한 독립성

앞서 언급했듯이, 데이터 평면을 프로그래밍하는 기술이 다시 대두되기 시작한 이유는 프로토콜의 독립성을 얻기 위함이다. 기존 데이터 평면의 비효율성을 해결하기 위해 데이터 평면을 프로그래밍 가능하게 하여 프로토콜에 독립적일 수 있도록 구성하는 것을 목표로 한다. 데이터 평면이 프로토콜에 독립성을 갖게 되면 새로운 프로토콜이나 기존의 프로토콜에 새로운 기능을 추가할 시 디바이스에 무관하게 해당 기능을 구현할 수 있다. 하지만 현재 프로그래밍 언어의 표현력이 제한적이기 때문에 구현하지 못하는 기능들이 존재한다. P4 의 경우, 언어의 특성상 수학적 알고리즘을 P4 언어로 구현하기 힘들다. 따라서 active queue management 나 packet scheduling 같은 기능은 구현이 제한된다. Domino 의 경우, stateful 한 알고리즘이 구현 가능하지만 packet header 의 크기가 큰 경우나 복잡한 연산이 필요한 알고리즘은 모델의 특성상 구현이 제한된다.

2) Target 에 대한 독립성

프로그래밍 가능한 데이터 평면을 구성하는 것의 다른 목표는 target 에 독립적일 수 있도록 하는 것이다. 디바이스에 무관하게 데이터 평면을 프로그래밍할 수 있어야 하지만 현재 가능한 프로그래밍 언어는 아직까지 target 에 독립적인 기능을 수행하고 있지 않다. 앞에서 언급된 언어들은 각 언어에 맞는 하드웨어 모델을 target 으로 하여 소프트웨어-하드웨어 매핑이 가능한 디바이스만 적용 가능하고, 범용적인 디바이스에서는 데이터 평면을 프로그래밍 할 수 없다. P4 의 경우, target 이 되는 모델은 Protocol Independent

System Architecture(PISA)이고 대표적인 칩으로는 barefoot 사의 Tofino 칩이 있다. 최근, P4 언어 개발이 활발히 진행되며 Netronome 사의 NFP 시리즈 등 P4 언어를 지원하는 칩이 개발되고 있다. Domino 의 경우, target 이 되는 모델은 Banzai[4] 이고, Domino 언어를 지원하는 Banzai 모델 위에서만 동작하고 P4 의 단점을 보강하기 위한 후발 언어로 P4 에 비해 연구가 더 필요하다. 앞서 언급했듯이, P4 는 P4 를 사용하기 위한 하드웨어 칩셋이 존재하지만 Domino 는 현재 적용 가능한 하드웨어 칩셋은 존재하지 않고, banzai 모델을 올린 가상 스위치에서만 적용 가능하다. 또한 P4 와 마찬가지로, 범용적인 디바이스에서는 사용할 수 없다.

4. 결론

본 논문에서는 데이터 평면의 동작이 하드웨어와 프로토콜에 독립적이기 위한 프로그래밍 언어들을 살펴보고, 현재 어느정도 독립성을 확보하였는지 비교 분석하였다. 프로토콜에 대해서는 언어의 표현력에 따라 구현할 수 있는 프로토콜이 제한적이기 때문에 모든 프로토콜을 구현할 수 있도록 하는 언어의 연구가 필요하고, target 에 대한 독립성 측면에서는 프로그래밍 언어를 적용하기 위한 머신 모델이 존재하고, 그 모델 위에서만 각 언어를 적용할 수 있다. 즉, SDN 같은 경우 범용 디바이스에서 동작이 가능한 것 달리 범용적인 디바이스 위에서는 프로그래밍 가능한 데이터 평면을 위한 언어가 동작하지 않는다. 이처럼 현재 프로그래밍 가능한 데이터 평면을 위한 언어는 하드웨어와 프로토콜에 제한적인 독립성을 가진다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구원진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [B0101-16-0233, 스마트 네트워킹 핵심 기술 개발]

참고문헌

- [1] OpenDaylight controller, <https://wiki.opendaylight.org>
- [2] ONOS controller, <http://onosproject.org>
- [3] P. Bosshart et al., "P4: Programming Protocol-Independent Packet Processors," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol.44, No. 3, pp.87-95, July 2014.
- [4] A. Sivaraman et al., "Packet transactions: High-level programming for line-rate switches," in *Proc. SIGCOMM 2016*, to appear.