

テレコムキャリア網を前提に 考えていたSDNのあれこれ

堀場 勝広

Agenda

テレコムキャリア網で「広義のSDN」を使いたかった理由

広義のSDNを構成する3要素 (ID、**Policy**、**Topology**)

広義のSDNにおける「宣言型のネットワーク運用」の関係性

広義のSDNにおいて宣言する「Policyの一貫性」の重要性

Policyの一貫性を担保するための「理論: Promise Theory」

Policyの一貫性を担保するための「実践: Group Based Policy」

2009年ごろ、はじめてOpenFlowを見て思ったこと

「コレを運用するの怖くない？」

コントローラとスイッチの間が切れたらどうなるの？

- 切れること自体が問題ではなく、その間にトポロジが変わった場合の問題？

OAMとか生存確認ってどうするの？

- NMSがあるシステムはIn-band OAMを持っているが、まさかEtherOAMとか？

それらがあるとして、ルーティングのアルゴリズムで保証されてることはどう担保するの？

- 理論的にはループフリーであること、一定時間で代替経路に収束すること等
- 自分で一から書くってわけじゃないよね？(まず「ルータとは何か」から紐解くこと[1])

[1] TremaでOpenFlowプログラミング # 12 ルータ (前編)

https://yasuhito.github.io/trema-book/#router_part1

テレコムキャリア網の特徴

(Enterprise/DCネットワークと比較して)

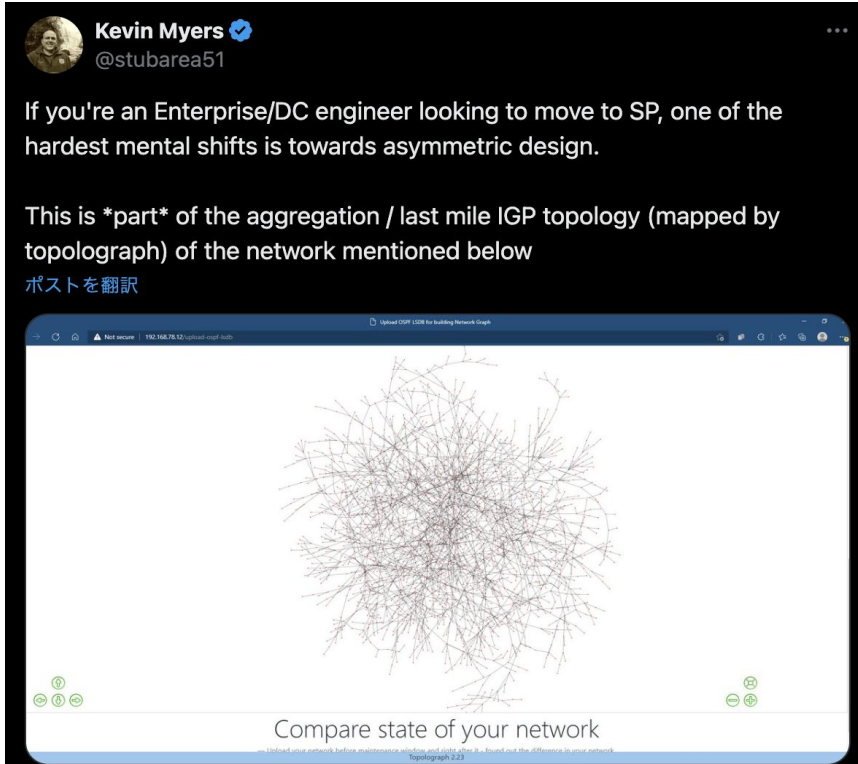
- 物理的・地理的に広く分散した拠点
- 複雑なトポロジ(非対称な形)
- 尋常ではないノード数(数千~万)
- Out-of-Band接続を持ちにくい
- 駆けつけメンテナンスが超大変


最も困るのは物理的に繋がってのに通信断

人間の頭でパッと代替経路が想像しにくい

→ 多少の非最適経路があっても到達性が命

→ 自律分散協調型の「広義な SDN」が適当

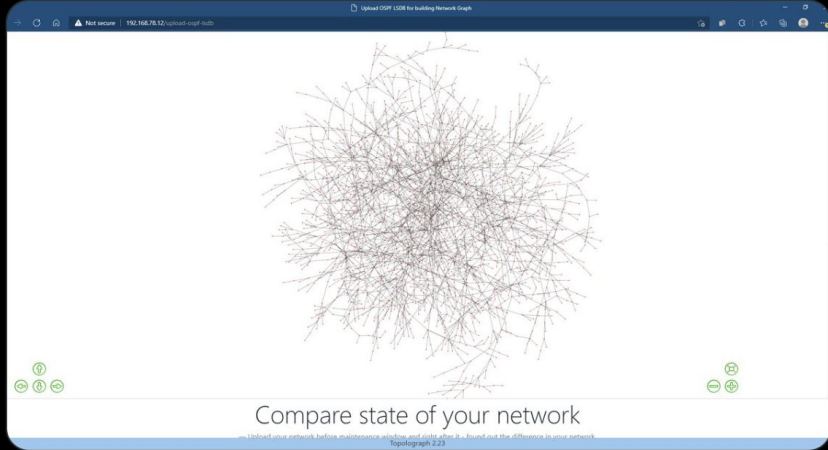


Kevin Myers 
@stubarea51

If you're an Enterprise/DC engineer looking to move to SP, one of the hardest mental shifts is towards asymmetric design.

This is *part* of the aggregation / last mile IGP topology (mapped by topolograph) of the network mentioned below

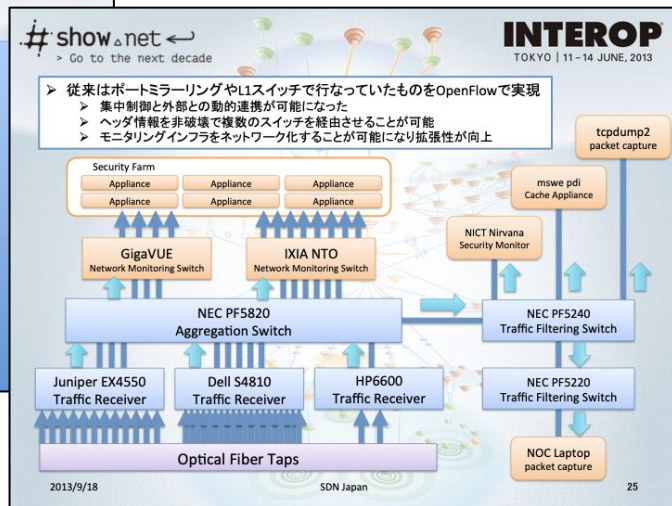
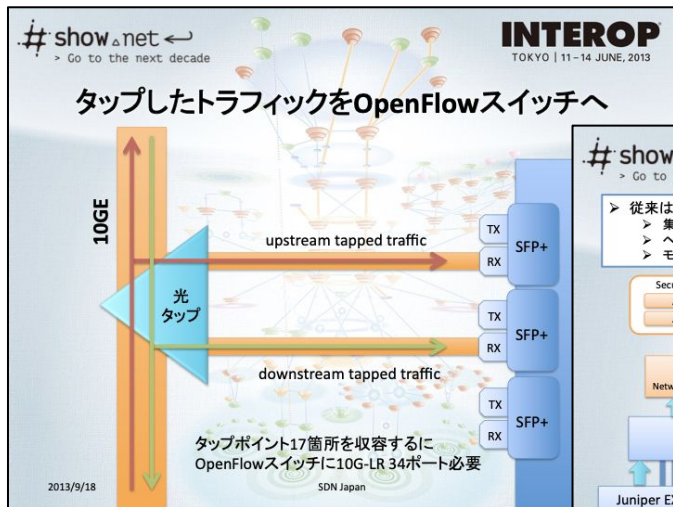
ポストを翻訳



Compare state of your network

今なら分かるOpenFlowの面白さ

回線交換的なドメインを選べば便利なものである

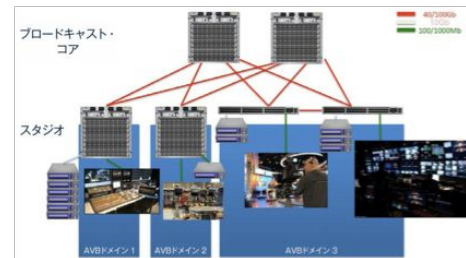


スタジオコントロールシステムは、ソース間でクリーン・スイッチが必要となる正確な時間を把握します。ブロードキャスト・デバイスは、Arista eAPIを利用してスイッチに DirectFlow 構成を直接書き込みます。DirectFlow と eAPI により、スタジオコントロール・システムからアリストア・スイッチに直接フローするようにフロー・ロジックを自動化できるため、スタジオコントロール・システム・プラットフォームで OpenFlow をサポートする必要はありません。

オーディオ・ビデオ・ブリッジング (AVB)

AVB は、いくつかの IEEE 規格で構成されており、非圧縮オーディオ、ビデオ、コントロール信号データなど、イーサネット・ネットワーク上で実行される時間依存ワークロードの、保証された番号フォーマットを達成できるようにネットワークを準備します。AVB は、ネットワークの各要素を AV 要件に合わせて構成して構築される際の膨大な管理オーバーヘッドを軽減するプラグアンドプレイ・ソリューションを提供します。

AVB は多くの業界で使用されていますが、AVB の一般的なユースケースは、ブロードキャスト・スタジオ内です。AV ミキサー、ストレージ、オーディオ・コンソールなどすべての装置が、ブロードキャスト・インフラを横断するコントロール信号を遮断せずに、非圧縮オーディオおよびビデオ・ストリームを受信する必要があります。AVB がなければ、これらすべての装置は、各フィードのすべてのエンドポイントとエンド間接続された AV ルーターを使用して接続されます。これに対し、AVB 対応イーサネット・インターフェイスに接続されたエンドポイントは、1 対 1、1 対多、多対多の通信を提供できます。



AVB プロトコルは、イーサネット・ネットワークに、エンド間帯域幅割り当て、時間同期、トラフィック・シェーピング、予測可能な遅延レテンションを提供します。これらは、きわめて重要なブロードキャスト・コンテンツを確実に伝送するために必要な概念です。低レイテンシー・インフラでのトラフィック・シェーピング、帯域幅割り当て、時間同期の概念は、COTS ネットワーク設備にとって新しいことではありません。

Stream Reservation Protocol (SRP) は、イーサネット・ネットワーク上でストリームを確立できるようになる前に、各ストリームのソースから destinেশョンまで、使用可能なネットワーク帯域幅をチェックします。SRP に加えて、強化されたネットワーク・サービス品質 (QoS) も実装されており、AV ストリームは優先順位を付けて転送されます。SRP と QoS を併用することで、「通常の」IP トラフィックの影響を受けることなく、AVB ストリーム・データ・パケットを destinেশョンに確実に届ける、堅牢なネットワーク基盤を提供します。

AVB 対応デバイスの基準クロックの時間同期は、汎用化された Precision Time Protocol (gPTP) によって達成されます。エンドポイントとネットワーク・スイッチは gPTP に参加して、ソースと複数の destinেশョン間の距離とは無関係に、同じ相対時間で AVB エンドポイントに到達する AV ストリームのプレゼンテーション時間に対応する必要があります。

今なら分かるOpenFlowの面白さ (Cont'd)

光伝送の人にはドンピシャな技術だった？ (TL-1の置き換えのようにも見えた)

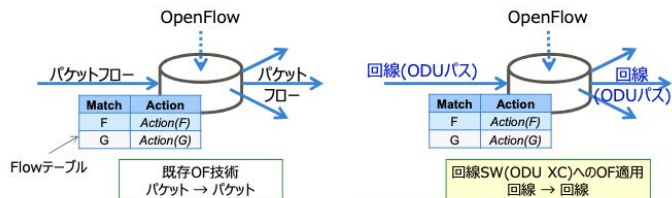
OpenFlowプロトコル拡張

FUJITSU

OpenFlow (OF) プロトコルをITU-T G.709 OTN IF勧告 ODUインタフェース (パス) の制御を行うために拡張

ONFにて、Optical Transport Protocol Extensions Version 1.0として文書化

<https://www.opennetworking.org/technical-communities/areas/specification/1931-optical-transport>



■ スイッチの動作を定義するMatch & ActionへOTNに必要なパラメータを追加・拡張

■ Match Fieldの拡張:

① 信号速度, ② 信号の時分割多重時の時間スロット番号, ③ ポート番号 (TPN) (ODU Type) (TS: Tributary Slot) (Tributary Port Number)

■ Action Typeの追加:

① Set ODU Type, ② Set TS, ③ Set TPN

21

Copyright 2015 FUJITSU LIMITED

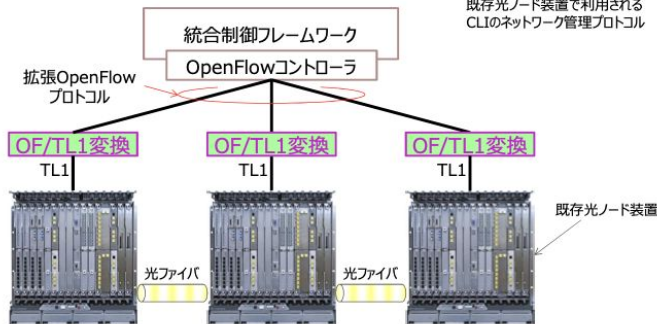
制御インタフェース変換技術

FUJITSU

拡張OpenFlowプロトコルを使った既存光コアノード装置の制御をサポートし、既存光コアネットワークをSDN対応化する技術

- 拡張OpenFlowプロトコルからTL1(*)へ変換して光ノード装置を制御
- 既存光ノード装置に手を加えることなく、SDN制御フレームワーク中に統合可能

(*)TL1: Transaction Language 1
既存光ノード装置で利用される
CLIのネットワーク管理プロトコル



23

Copyright 2015 FUJITSU LIMITED

偉大な先人の教え(1)

ONIC 2019 Day2

Software Defined Networkへの道のり(SoftBank 松嶋さん)

https://www.onic.jp/archives/2019/slide/onic2019_matsushima.pdf

Software Defined Network への道のり

松嶋 聡
テクニカルマイスター
ソフトバンク



私について

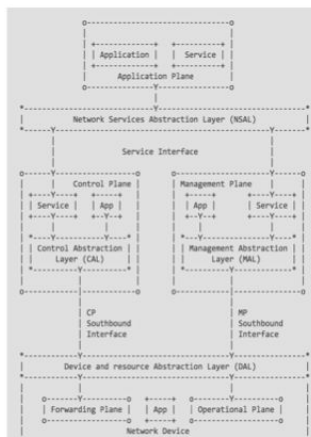
- 199x^{*}: サイトオペレーション
(鉄道電話、専用線故障窓口、PDH/SDH、D60/70、ATM/FR、etc.)
- 1999^{*}: BGP/MPLS-VPNs, Traffic Engineering
MPLS-IX (mplsASSOCIO)
- 2007^{*}: NGN
モバイルバックホール
- 2010^{*}: IPv4/IPv6 共存
- 2013^{*}: コントロール/データプレーン 分離
SDN
- 2016^{*}: 5G, SRv6

(広義の)SDNを構成する3大要素

IETFの定義する(広義の)SDNではControl PlaneとManagement Planeが併設

- そこで交換される重要な要素はTopology、Policy、IDの3つである
- このプレゼンテーションでは「ID」に注目

Software Defined Network*



*: RFC7426

Key Concepts of Software Defining Work

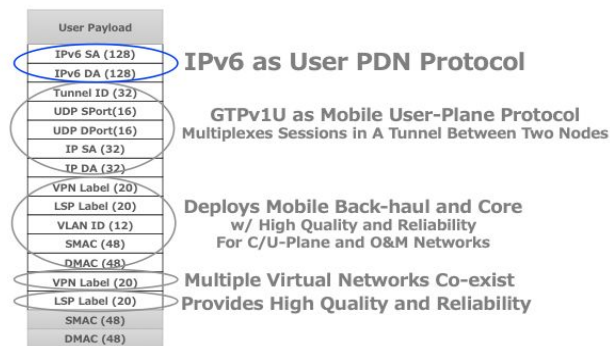


IDが乱立してると何が起こるのか

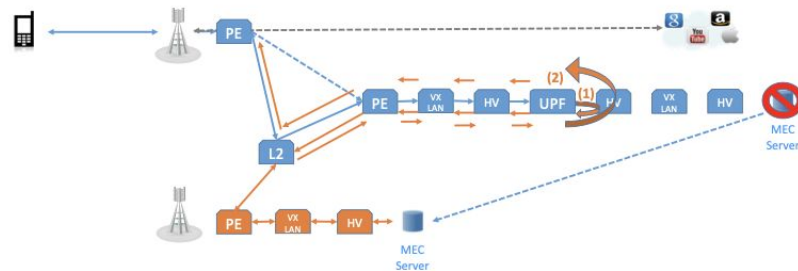
テレコムキャリア網が長く抱える悩みの源泉

- NNIにおける多段オーバーレイネットワークの最適化という地獄への入り口
- UNI接続における回線の縫い合わせを静的に管理するエクセルの無限地獄

Network Stack of the Current Data Plane



Use Case Study: Multi-Access Edge Computing

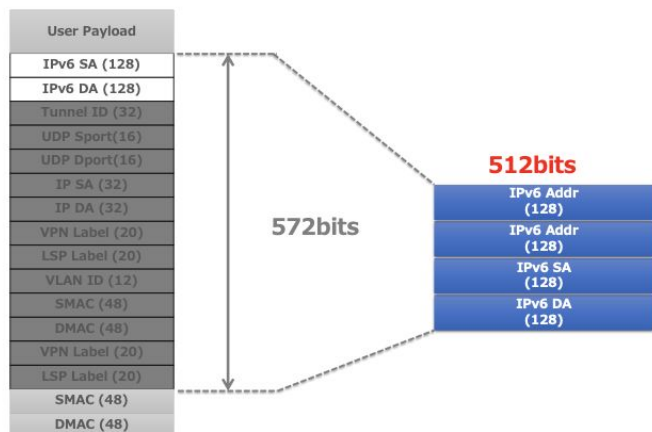


IDを統一するということの重要性

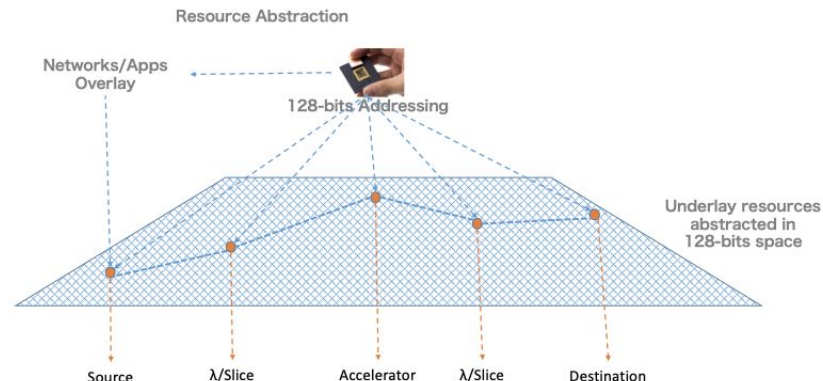
一枚のID空間の中でドメイン内のパス(経路の集合)、アクションを表現しきる

- SRv6とNetwork Programmingに至った気持ちがよく分かる話
- Ingress-Egress(Locator)間トラフィック制御、EgressにおけるD-Plane(ID)処理

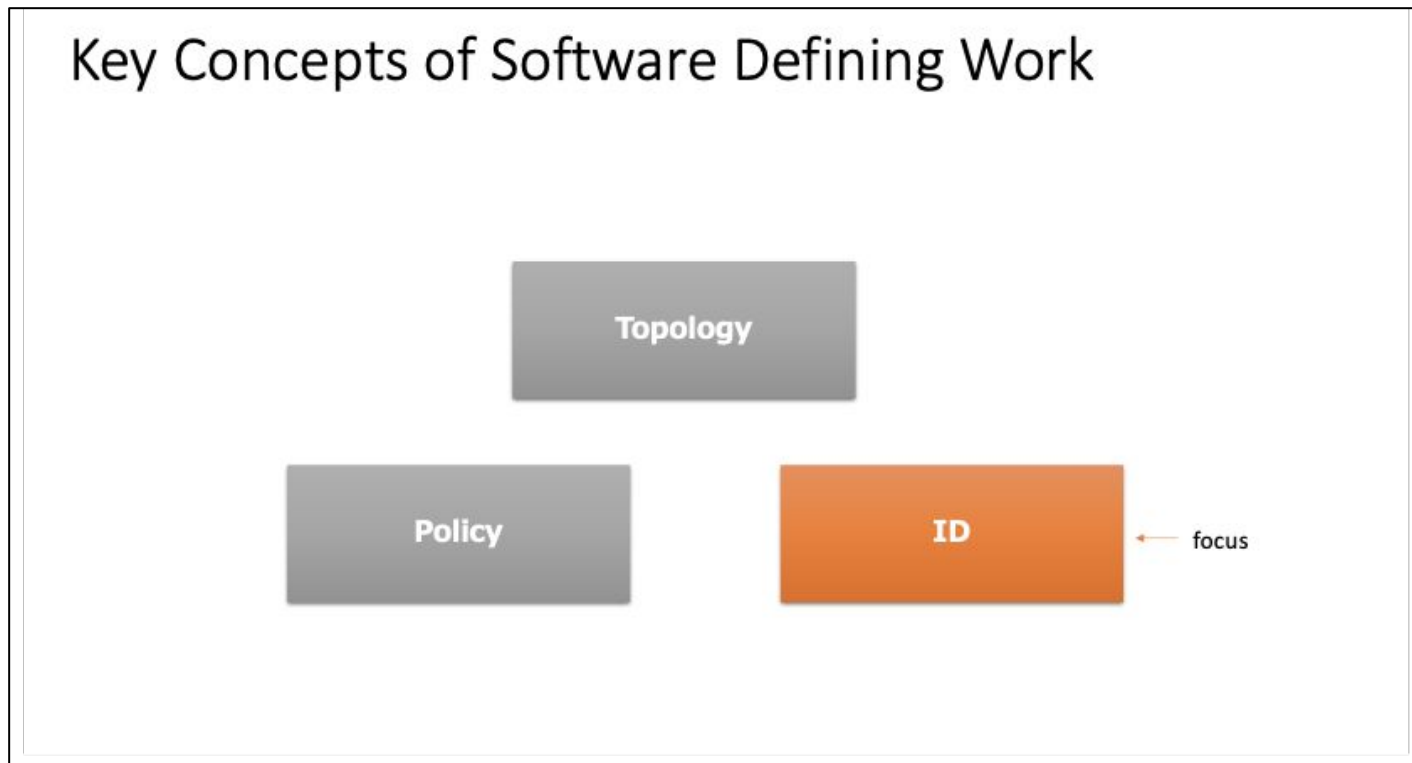
How to Integrate Complicated Stack? Simplify!



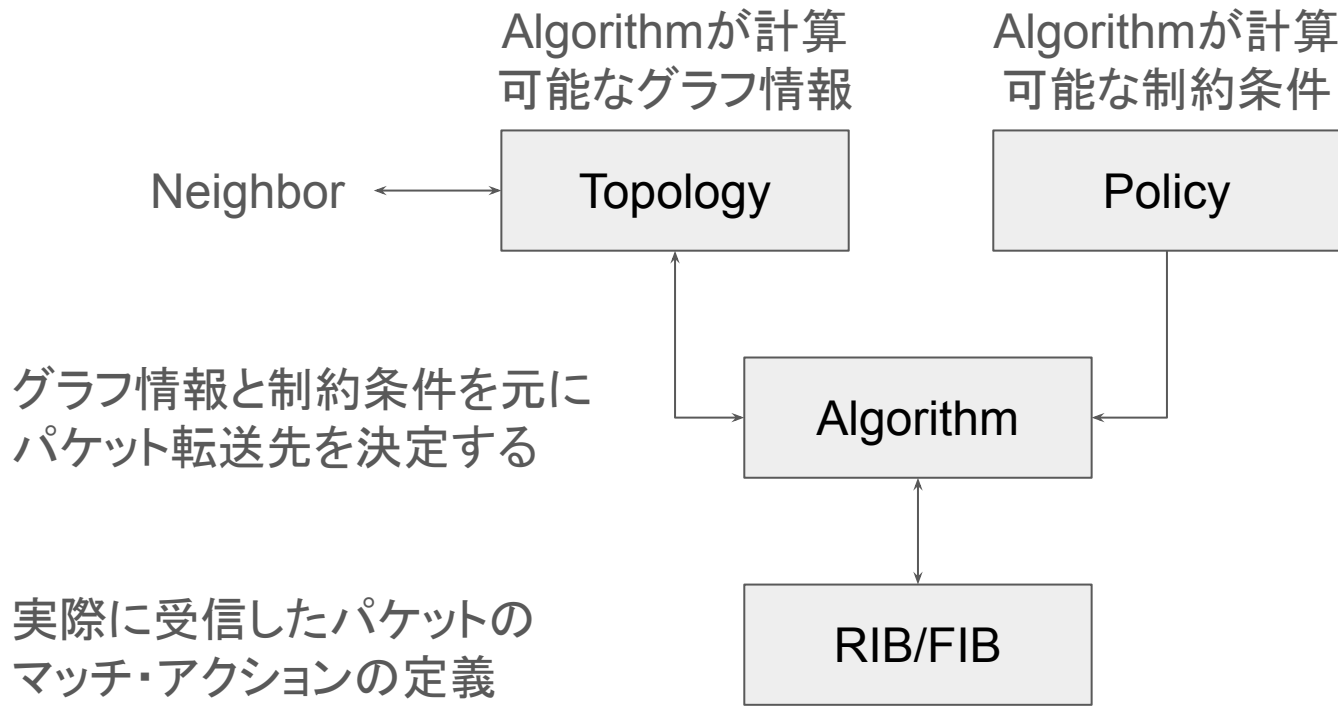
128-bits Resource Abstraction for Underlay/Overlay Integration



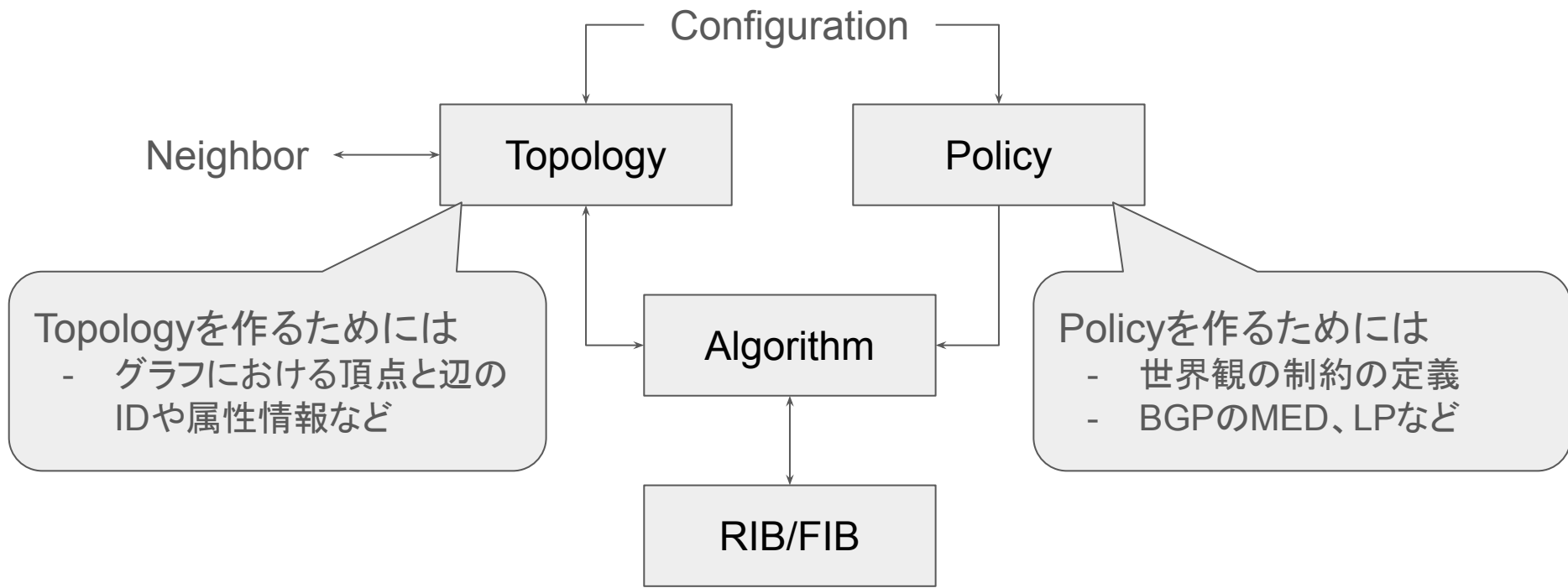
さて、残りの2つ (TopologyとPolicy) について



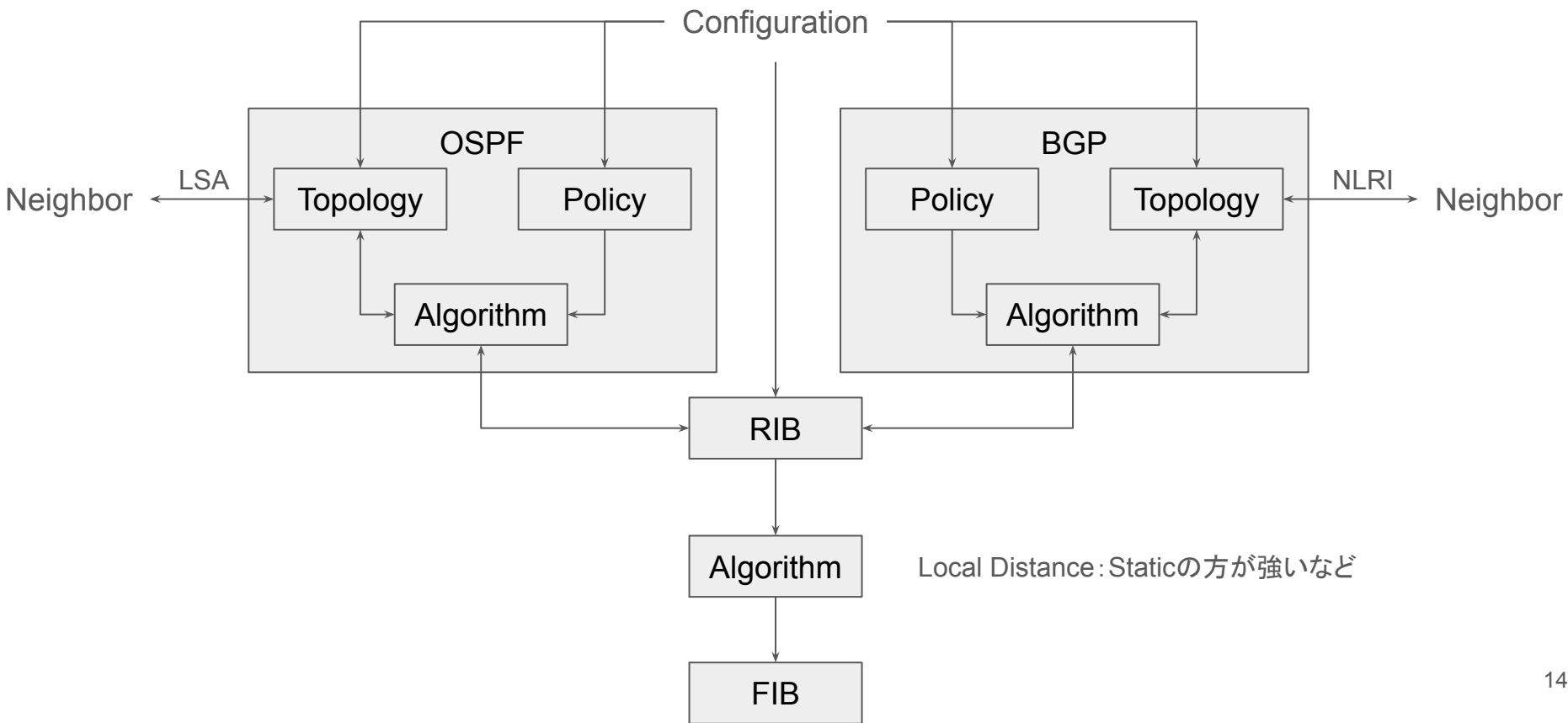
広義のSDNにおける自律ノードの中で起こっていること



広義のSDNにおける静的なConfigurationの役割



(余談) 実際にはRouting Protocolの世界はもう少し複雑



偉大な先人の教え(2)

JANOG 47 Day2

走りながら作るネットワークテンプレートシステム (Mixi 小島さん)

<https://www.janog.gr.jp/meeting/janog47/template/>



走りながら作る ネットワークテンプレートシステム

株式会社ミクシィ
小島 慎太郎

自己紹介

mixi GROUP



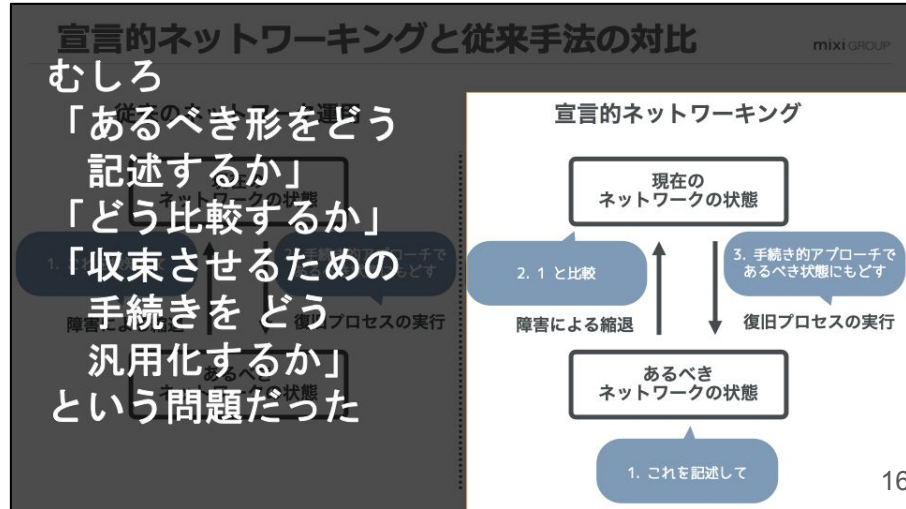
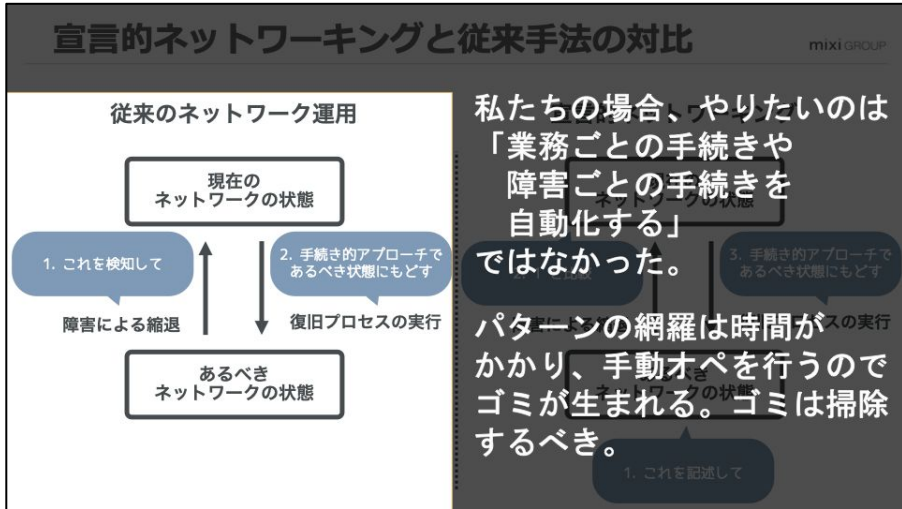
小島 慎太郎

- **codeout** (GitHub / Twitter)
- <https://about.me/codeout>
- 株式会社ミクシィ 開発本部 インフラ室
- やっていること: ネットワーク設計・運用
- 業務委託メンバー
 - 本籍: 株式会社コーダンス

手続き型から宣言型のネットワーク運用へ

運用の自動化、Closed Loopを実現したいと思った時

手続き(手順)を自動化よりも**あるべき形の記述 + 収束に向けた手続きの汎用化**



宣言型のネットワーク運用とは？

(広義のSDNの場合)「あるべき形の宣言 = 装置の設定」と考えて良いかも

装置にプロトコルの設定をすると、その形に収束しようとする

ただし・・・規定されたプロトコル内で表現できることしかできない

宣言の抽象度・粒度の問題

mixi GROUP

簡単なレベルでよければ、
あるべき形の宣言 = ネットワーク装置の設定 なのでは？

- ネットワーク装置を設定すると その形に収束しようとする。ただし宣言として使うために条件がある
 - candidate config を、atomic に commit できること
 - 存在しない設定は (no / delete しなくても) 消えること
- 本当に求めているものではない。プロトコルが想定する「あるべき形」は本来のビジネス要件に合わない
 - Keepalive PDU が Nコ連続で落ちない
 - Packet loss < N%
 - キャパシティの N% までトラフィックを乗せる

宣言の抽象度・粒度の問題

mixi GROUP

- あるべき形をどう記述するか
- どう比較するか
- 収束させるための手続きをどう汎用化するか

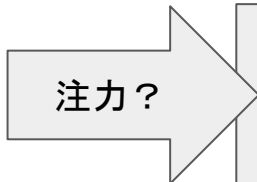
ネットワーク装置を設定すると その形に収束しようとする。ただし宣言として使うために条件がある
という問題は、あるべき形の宣言粒度を
candidate config を、atomic に commit できること
存在しない設定は (no / delete しなくても) 消えること
プロトコルに合わせることで、「ネットワーク
機器の設定をどうモデル化するか」形
本来のビジネス要件に合わない
Keepalive PDU が Nコ連続で落ちない
(私たちは初手として、それでOK)

- キャパシティの N% までトラフィックを乗せる

広義のSDNで注力すべき場所は「宣言的なPolicyの定義」

狭義のSDN (OpenFlow等)

宣言的な Policy の定義?
実装次第ではあるかも?
アルゴリズムの実装者のみぞ知る



僕の考えた最強のアルゴリズム
標準化されていない独自の世界観

OpenFlow D-Plane
5 Tupleベースの packets 転送

D-Plane Programming Language
何でも記述可能な FIB 直接編集する言語 (P4とか ASIC の命令セット)

広義のSDN (経路制御込み)

宣言的な Policy の定義
世界観の中でのあるべき姿を定義
DSLの中で Desired State を記述



Standardized C-Plane
標準化された Routing Protocol
決まった世界観の DSL (SR等)

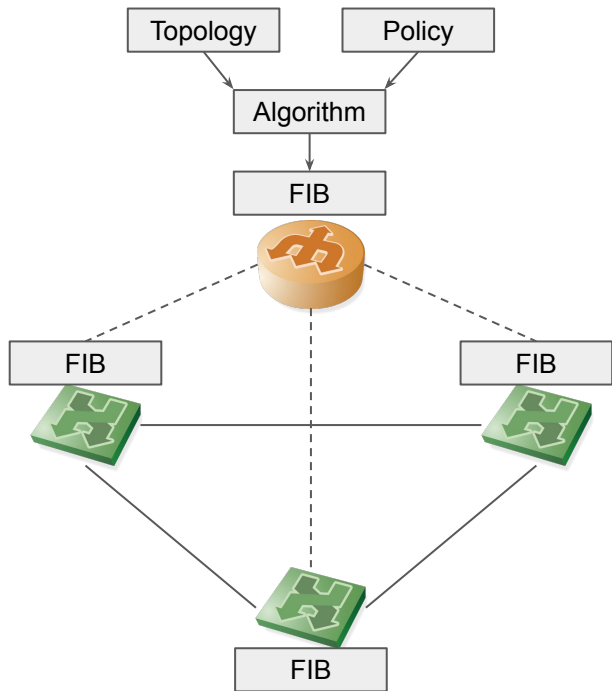
Standardized D-Plane
Ether, IP, MPLS

} 必要なら
標準化

狭義のSDNと広義のSDNにおけるPolicyの取り扱い

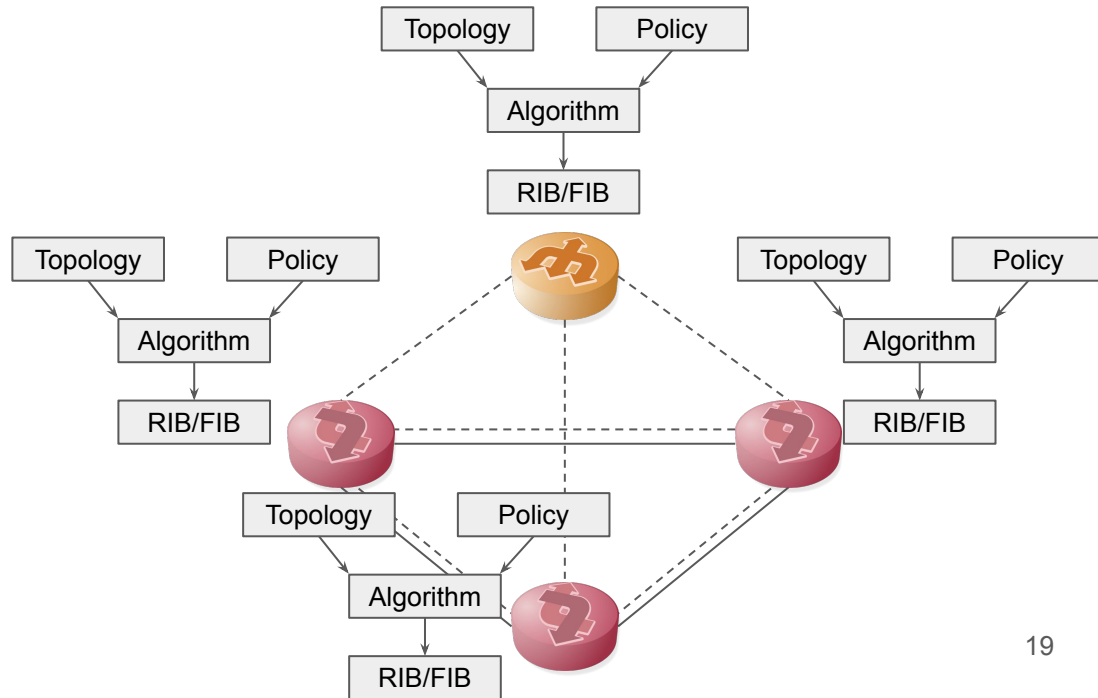
狭義のSDN(中央集権システム)

代表者がTopologyとPolicyから全員のFIBを生成
ノードは配布されたFIBを適用するのみ



広義のSDN(自律分散+コントローラ)

自律ノードは共通のAlgorithmを持ちTopologyを交換
個々が持つPolicyを掛け合わせてRIB/FIBを生成



自律分散システムでは「Policyの一貫性」が超重要！

狭義のSDN コントローラがTopologyの変化とAlgorithmを一元管理

コントローラとノード群のTopologyの一貫性が保てないとFIBに不整合

広義のSDN 自律ノード間でTopologyの変化とAlgorithmを共有

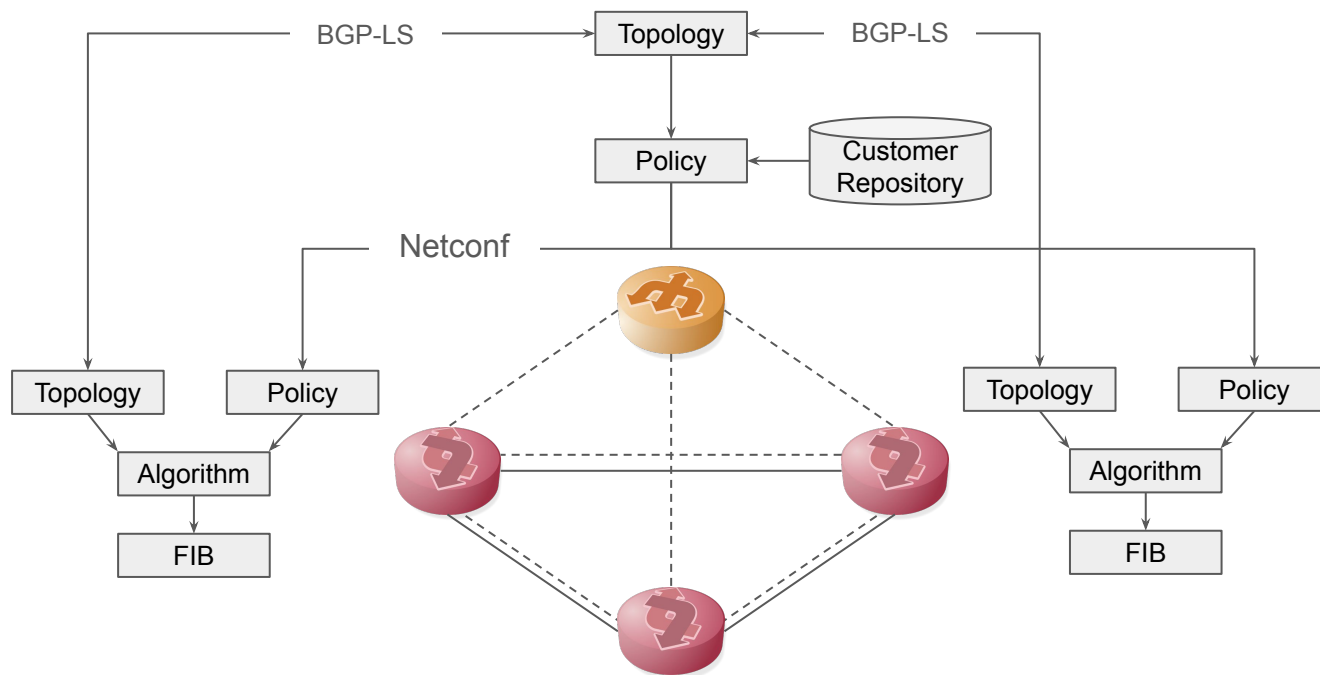
自律ノード間でPolicyの一貫性が保てないとFIBに不整合

極端な話コントローラは一貫性のあるPolicyを配り終えたら不要

	狭義のSDN(中央集権システム)	広義のSDN(自律分散+コントローラ)
得意	コントローラにおける正しいTopologyを前提としたFIBの一貫性	自律ノード間で交換されるTopologyとAlgorithmの一貫性
苦手	(障害発生時の)コントローラとノード群におけるTopologyの一貫性	自律ノード間でのPolicyの一貫性 (に紐づくFIBの整合性)

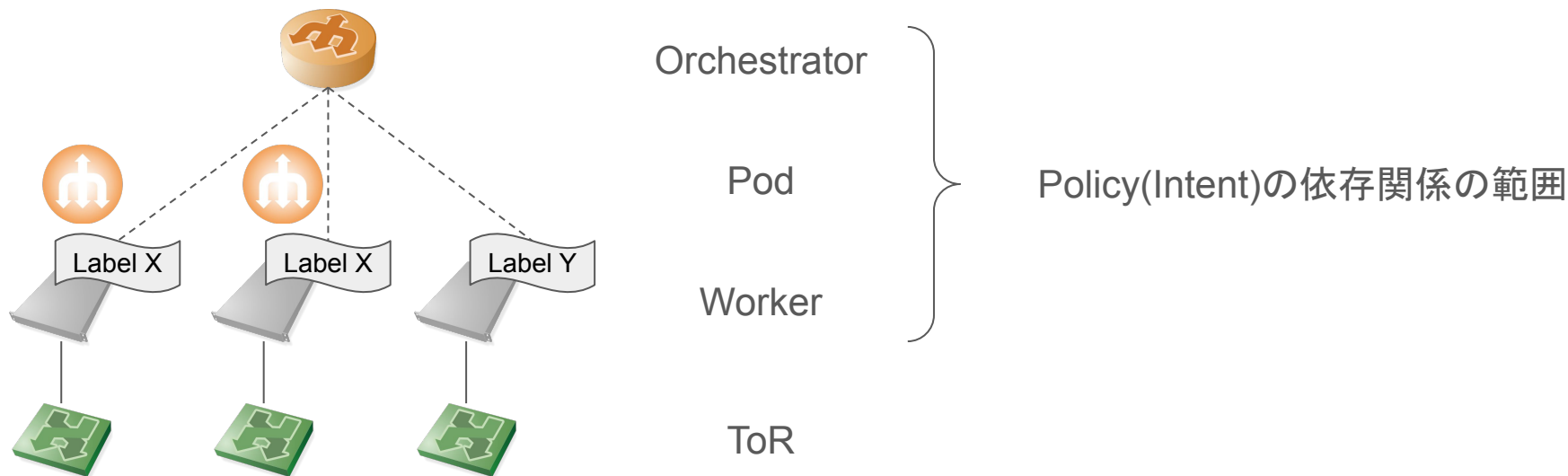
中央集権型のPolicy「一貫性」と自律分散型の経路制御

Topologyの交換とFIBの生成は自律ノードが共通アルゴリズムで実施する
一貫したPolicyを配り終えてしまえば後は自律ノードが何とかするはず



(閑話休題) Kubernetesの宣言型が普通に動く理由？

Topology = Workerであり、Podをホストする先をLabelで決める
ネットワーク的に他者のPolicyとの一貫性を考慮しなくて良い



～ようやく本題～
Policyの一貫性を
担保するには！？

そもそもPolicyって何でしょう？

語源: ギリシャ語「πόλις(ポリス、都市国家)」

ラテン語「politia(政体、政治、公共秩序)」

英語「policy」(政策、方針、施策)

本質: 意思決定や行動のルールやガイドライン

目的: 皆がガイドラインに従って自律的に行動することで目標を達成する

用法: ネットワーク、セキュリティ、プライバシー

Policyの構成要素

何を条件にして、どんな行動を取れば、全体系の目的が達成できるのだろうか？

目的	Objective	達成したいゴールは何か？
条件	Condition	Policyが適用される条件
行動	Action	条件が満たされた時取る行動
優先順位	Priority	複数のPolicyが同時に適用された場合の優先順位
適用範囲	Scope	Policyが適用される対象の明確化
柔軟性	Flexibility	状況変化への対応(条件が変わると目的達成のための行動も変わる)
規律	Compliance	目的達成に向けて起こす行動に対する制約
観測	Observation	起こした行動が目的を達成しているかの評価

偉大な先人の教え(3)

DEMATSIGNTERS'22 Tokyo

Design for trust: Applying Promise Theory to collaborate effectively with your remote teams (YUMEMI 本村さん)

<https://speakerdeck.com/akiramotomura/designing-for-trust-applying-promise-theory-to-collaborate-effectively-with-your-remote-teams>

2022.05.14-15 | Design Matters Tokyo 2022

Designing for trust:

Applying Promise Theory
to collaborate effectively with your remote teams

Akira Motomura @ YUMEMI

Introduction



Akira Motomura

Board Member / Service Designer

Promise Theory

Promise Theory by Mark Burgess in 2004

- 自律エージェント間での協力的な行動を記述する情報のモデリング言語
- コロナ禍の協調作業に応用してる話だが・・・さておき理論の説明を引用

The basics of Promise Theory and its applications

Promise Theory

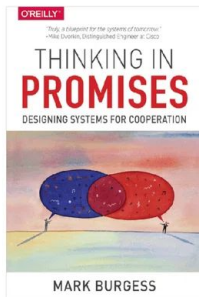
A modeling language of information to describe and discuss cooperative behavior among different agents or actors, proposed by Mark Burgess, an independent theorist and practitioner in the field of information science, in 2004.

It has the capability to visualize, analyze, and solve any problems and bottle-necks of how people communicate and collaborate with each other in a formalized way.

Also, it offers a completely new way to understand the word around us.

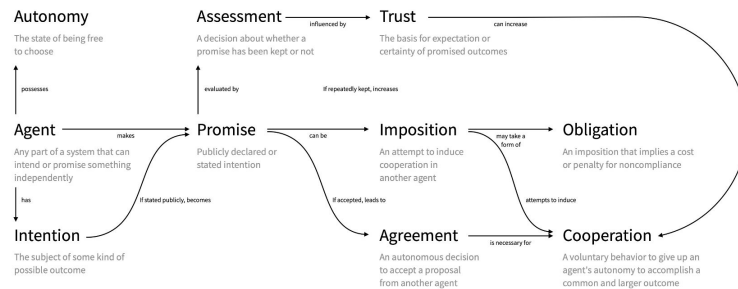


https://www.amazon.com/gp/product/B01092PVG8/ref=db_a_def_rwt_bibl_vppi_l1



The basics of Promise Theory and its applications

A concept map of Promise Theory

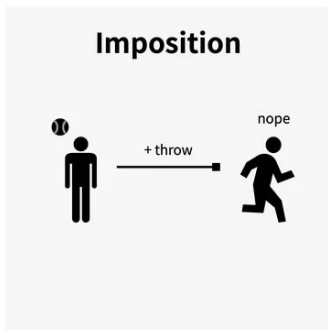


Imposition (押し付け)

自律エージェント間では、手続きを相手に強要したとしても、何かしら義務(コストやペナルティ)を課さねば成立しない

The basics of Promise Theory and its applications

An imposition:
Throwing a ball without warning



YUMEMI

44

ボールを投げる時に相手が
キャッチすることを強要しても
義務がなければ何もしない

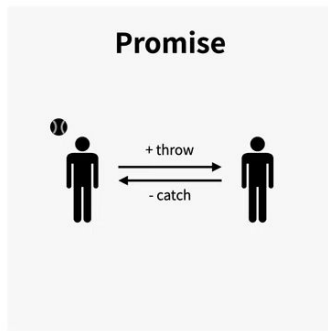
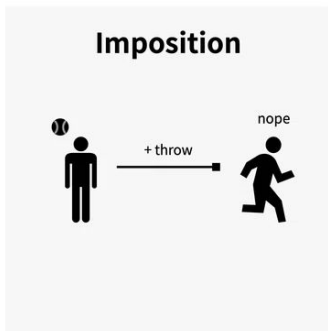
Promise (約束)

自律エージェントが個々に「約束」を宣言しておけば、
「約束」しているエージェントには「要求」を投げ込んでも成立する

The basics of Promise Theory and its applications

A promise:

Throwing a ball and accepting to catch the ball

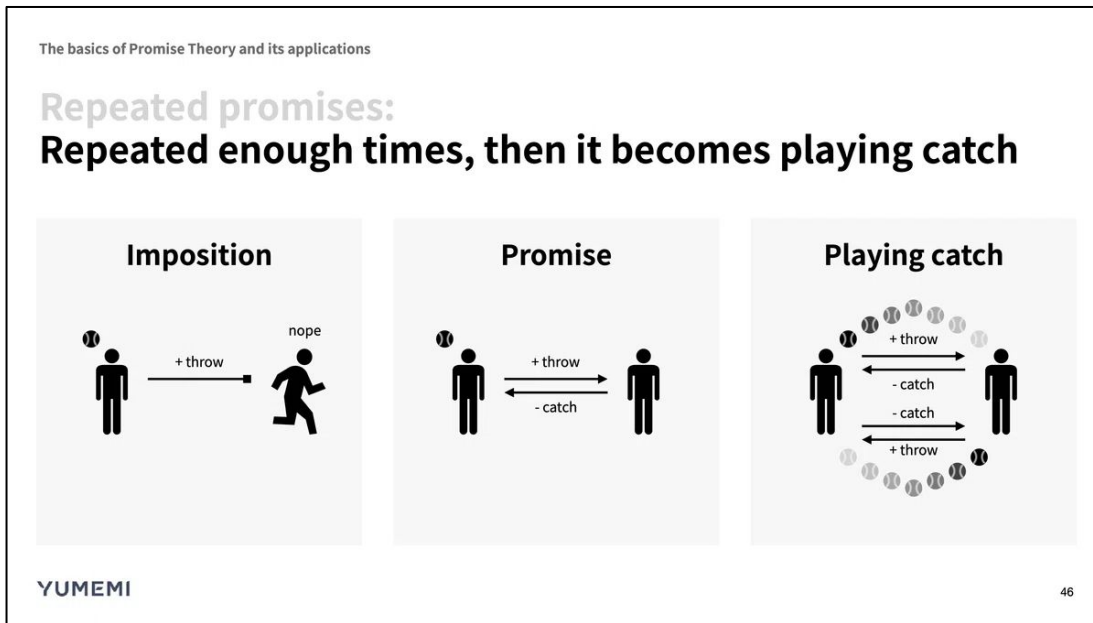


ボールをキャッチすることを
約束している相手がいるならば
安心して投げ込んでも成立する

Cooperation (協調)

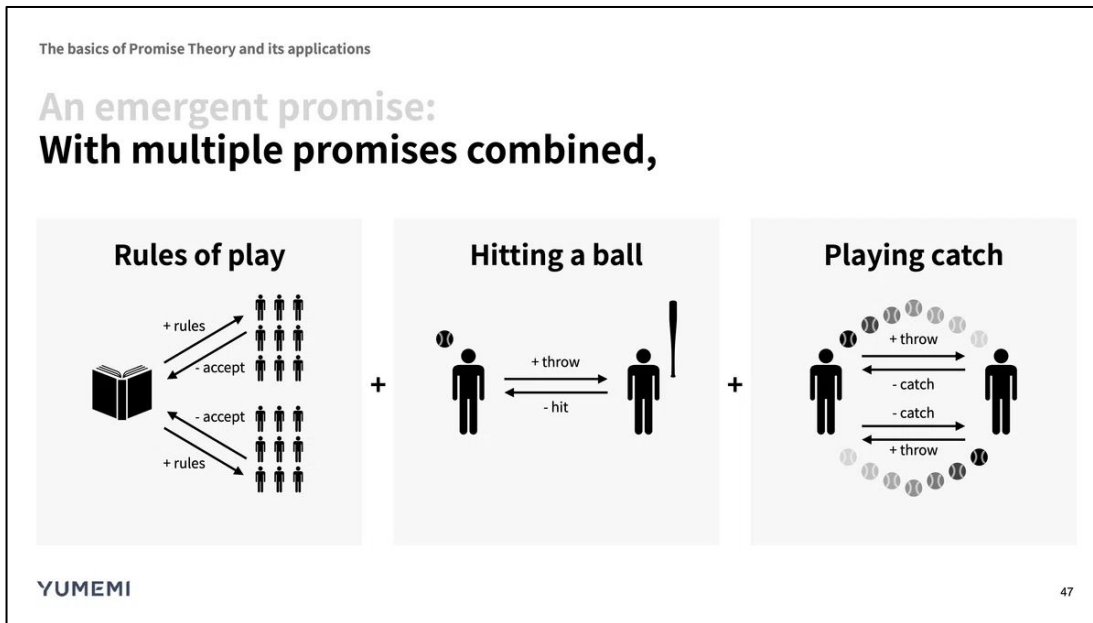
複数の約束と要求が一致することで成り立つ相互作用

一定の合意事項としての役割を果たす(キャッチボールするなど)



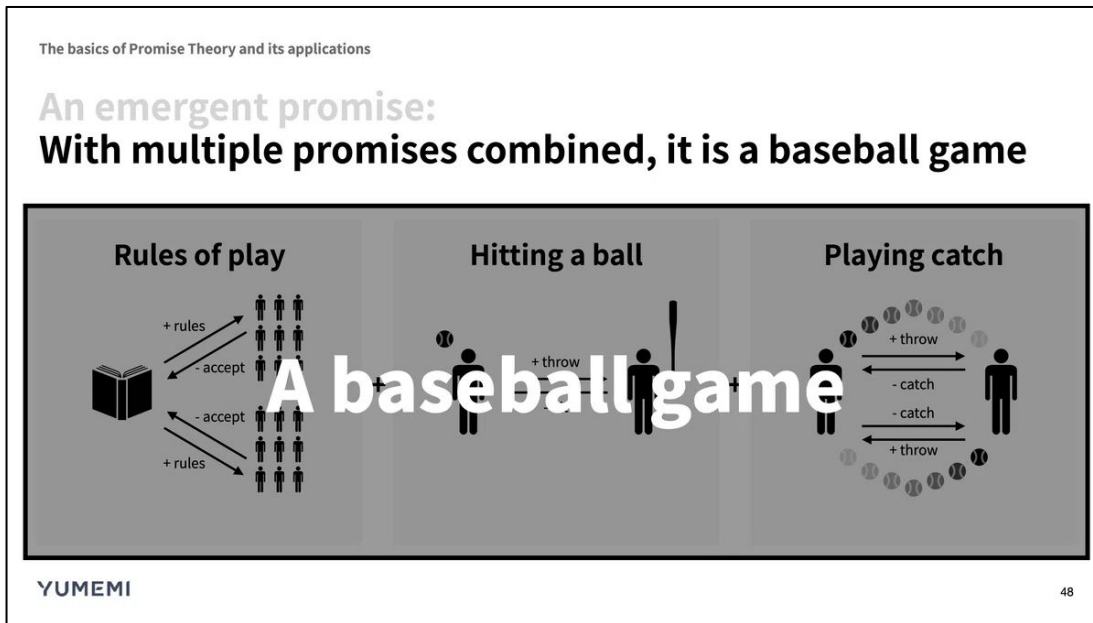
約束の連鎖による複雑な協調

要求と約束のペアが積み重なると、複雑だが一貫性のあるルールが実現する



目標の達成 = 約束の連鎖

要求と約束のペアが積み重なると、複雑だが一貫性のあるルールが実現する
キャッチボール、ピッチャーとバッター、その他ルールが連鎖して野球が成立



Promise Theoryで大事なこと

要求

- Aをやって欲しい

約束を信頼し条件に従った行動

- 10円玉を10枚持って
- 7時50分に集合場所へ

お客

約束を履行するための条件

Aを履行するには

- 日本円の現金で100円払うこと
- 朝8時に集合場所に来ること

約束

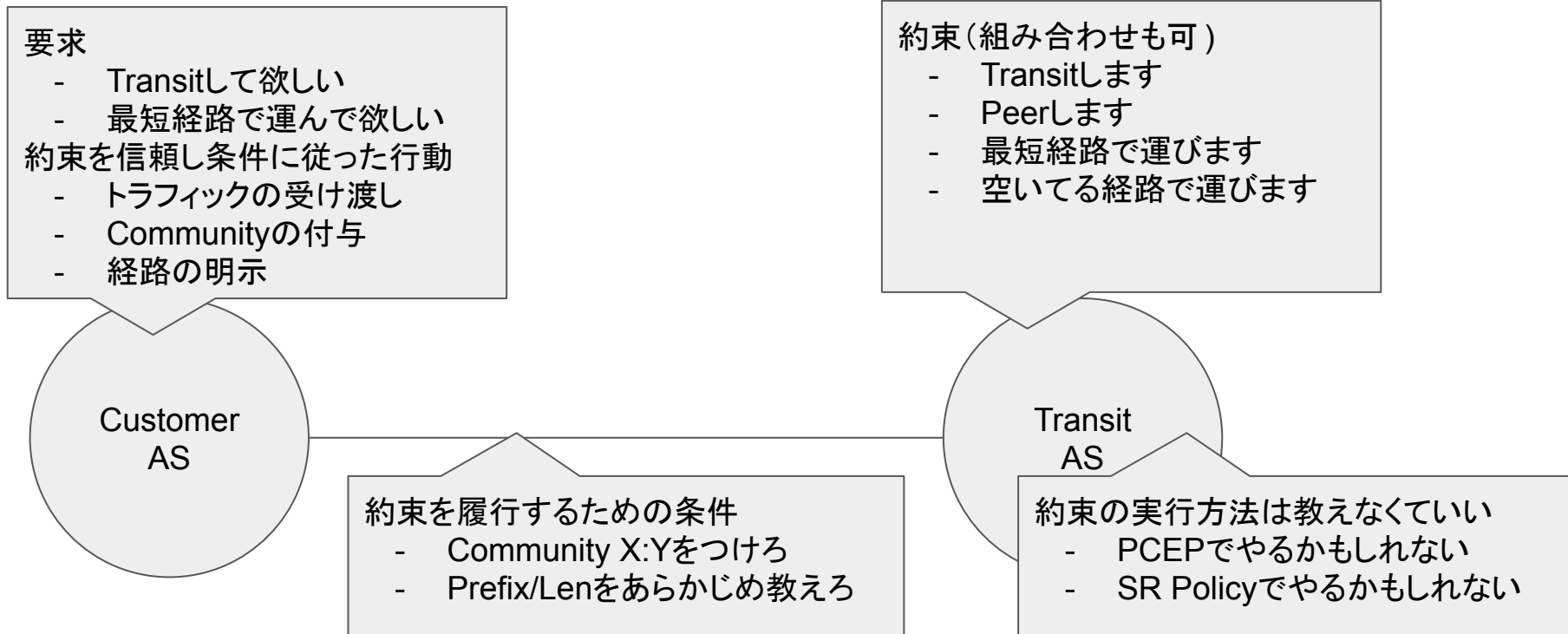
- Aの履行(人をある駅に送る)
- Bの履行(荷物を宛先に届ける)
- Cの履行(手紙を宛先に届ける)

運び屋

約束の実行方法は教えなくていい

- 車でも自転車でも籠でもいい
- 別エージェントに仲介もあり

Promise TheoryっぽくeBGPを考えてみる



Promise Theoryとネットワークング

A Promise Theory Perspective on Data Networks

Paul Borrill
EARTH Computing, Inc
Palo Alto, CA 94306
paul@borrill.com

Mark Burgess
CFEngine, Inc.
Mountain View, CA 94040
mark.burgess@cfengine.com

Todd Craw
Cumulus Networks
Mountain View, CA 94041
todd@cumulusnetworks.com

Mike Dvorkin
Cisco Inc.
San Jose, CA
Mike.Dvorkin@cisco.com

Abstract—Networking is undergoing a transformation throughout our industry. The need for scalable network control and automation shifts the focus from hardware driven products with ad hoc control to Software Defined Networks. This process is now well underway. In this paper, we adopt the perspective of the Promise Theory to examine the current and future states of networking technologies. The goal is to see beyond specific technologies, topologies and approaches and define principles. Promise Theory bottom-up modeling has been applied to server management for many years and lends itself to principles of self-healing, scalability and robustness.

I. INTRODUCTION

As networks grow in scale and complexity, some argue for a return to centralized and imperative management [1]. Network design revolves around legacy data structures and protocols rather than the business functionality required from the network. A modern approach to network design emphasizing simplicity and relevant abstraction seems overdue. Such an approach could reduce the cost and brittleness of network design.

The 'Promise Theory', was introduced in 2005 as a way to model distributed systems with complete decentralization [2]. Coupled with abstraction, it offers a looking glass onto the design and management of networks. If we define what a user or application needs from the network we can begin to get away from imperatively controlling the 'how' the network functions and instead focus on declaratively describing "what" is required from it. In Promise Theory, network elements act as autonomous agents and collaborate to find the best way to deliver the required function.

In this paper we apply Promise Theory as a measuring stick for the current state of networking to cast a critical eye over current practice and future directions. We show that there are simple unifying principles for networking that are independent of scaling arguments, and that there is no need to base future networking on centralized control.

II. PROMISE THEORY

Promise theory is about what can happen in a collection of components that work together [2], [3]. It is not a network protocol, but a descriptive algebra. One begins with the idea of completely autonomous agents that interact through the promises they make to one another. It is well-suited to modeling networks [4]. Although we cannot force autonomous agents to work together, we can observe when there are sufficient promises made to conclude that they are indeed cooperating voluntarily. Our challenge in this paper, is to translate this bottom-up view into top-down, human managed requirements.

Agents is the term used for the fundamental entities in Promise Theory. Agents are not necessarily like 'software agents', they can be any active entities like an interface that keeps promises. Actions taken by agents are not in the scope of Promise Theory. We assume that appropriate actions are taken to keep the promises. In that way, we focus on declarative intent, rather than imperative procedures.

A. Formalism

The promise formalism has a number of features, described in [5]. We refer readers to this reference for details.

A *promise* is an intention that has been 'voluntarily' adopted by an agent (usually channeling a human owner, or perhaps an agreed standardization). An agent that only promises to do as it's told is *dependent* or *voluntarily subordinated*. It has some of the characteristics of a service: an agent makes its intended behavior known to other agents (e.g. I will serve files on demand, or forward packets when I receive them). An *imposition* is an attempt to induce the cooperation of another agent by imposing upon it (e.g. give me the file, take this packet).

We write a promise from Promiser to Promisee, with body b as follows:

Promiser $\xrightarrow{+}$ Promisee.

and we denote an imposition by

Imposer $\xrightarrow{-}$ Imposée.

Promises and impositions fall into two polarities, denoted by \pm . A promise to give or provide a behavior b is denoted by a body $+b$, a promise to accept something is denoted $-b$ (or sometimes $U(b)$, meaning use- b). Similarly, an imposition on an agent to give something would have body $+b$, while an imposition to accept something has a body $-b$.

Although promises are not a network protocol, agents can exchange data. To complete any kind of exchange, we need a match an imposition (+) with a promise to use (-). To form a binding (as part of a contract), we need to match a promise to give (+) with a promise to use (-). This rule forces one to document necessary and sufficient conditions for cooperative behaviour.

A promise model thus consists of a graph of nodes (*agents*), and edges (either *promises* or *impositions*) used to communicate intention. Whatever promises might be used to communicate promises is not defined (and shouldn't be). Agents publish their intentions and other agents may or may

A Promise Theory Perspective on Data Networks <https://arxiv.org/pdf/1405.2627>

ネットワークの世界にPromise Theoryの応用を検討

- エージェント = 自律ノード、ソフトウェア
- やれることを約束する
 - HTTPのトラフィックを受け取り処理する
 - IPのトラフィックを受け取り宛先に応じて転送する

ネットワークに適用するには課題の検討・解決

- トポロジとのマッピング方法
- スケーラビリティ
- 様々な表現 (サービス志向、プロキシなど)

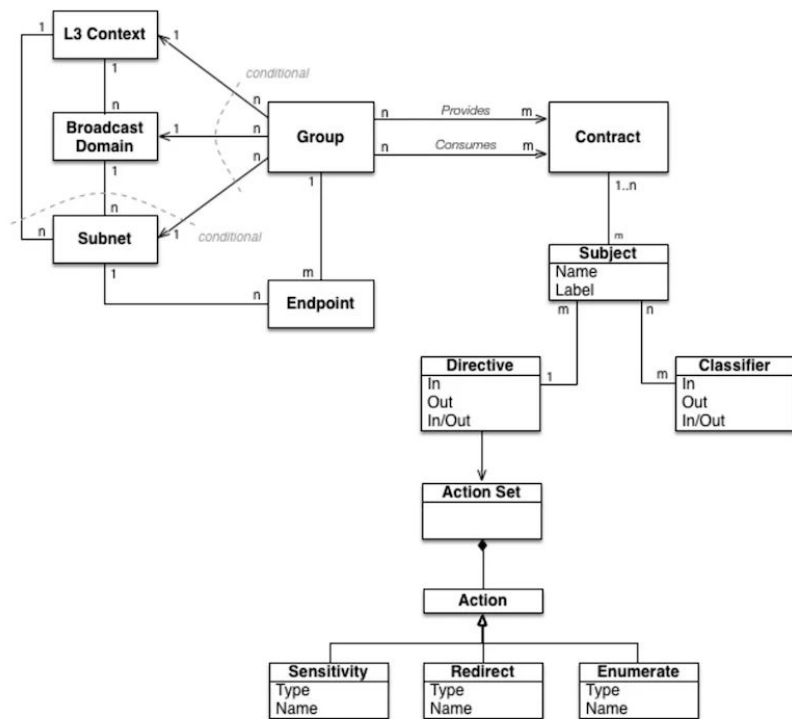
Group Based Policy (GBP)

Promise Theoryを元にネットワークのポリシーを記述するフレームワーク

様々な実装で活用されている

- Cisco ACI
- Juniper Apstra
- OpenStack
- etc...

が、実際には実装技術に非依存にポリシーが表現できる汎用的な仕組み



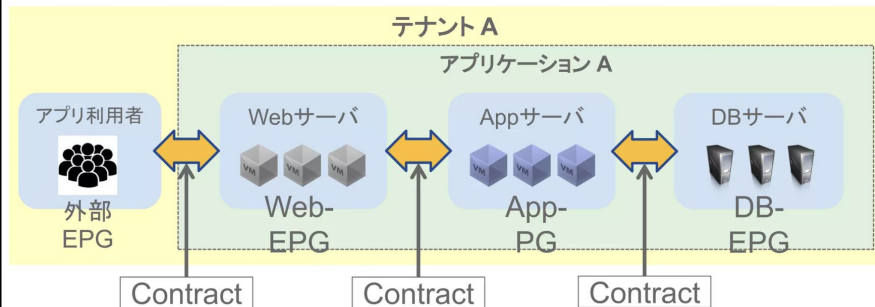
Group Based Policyの代表例 (Cisco ACI)

Web / App / DBの三層構造のフィルタを上手に表現している
例えばAWSのVPCにおけるACL設定の一貫性を担保するのに利用できる

ただGBP自体は「セキュリティポリシー」を超えて汎用的にポリシー記述できる

Cisco ACI とは？ : アプリケーション視点のデザイン

- EPG (End Point Group) と Contract



Contract とは

- Contract は、Cisco ACI の抽象化された EPG 間の接続ルールを定義するもの
- レイヤ2 からレイヤ4 までの情報で通信制御を行うことが可能
- つまり、Contract = フィルタ + アクション の集合体
- アクションは以下が可能:

Permit
Deny
Log
Mark
Redirect
Copy



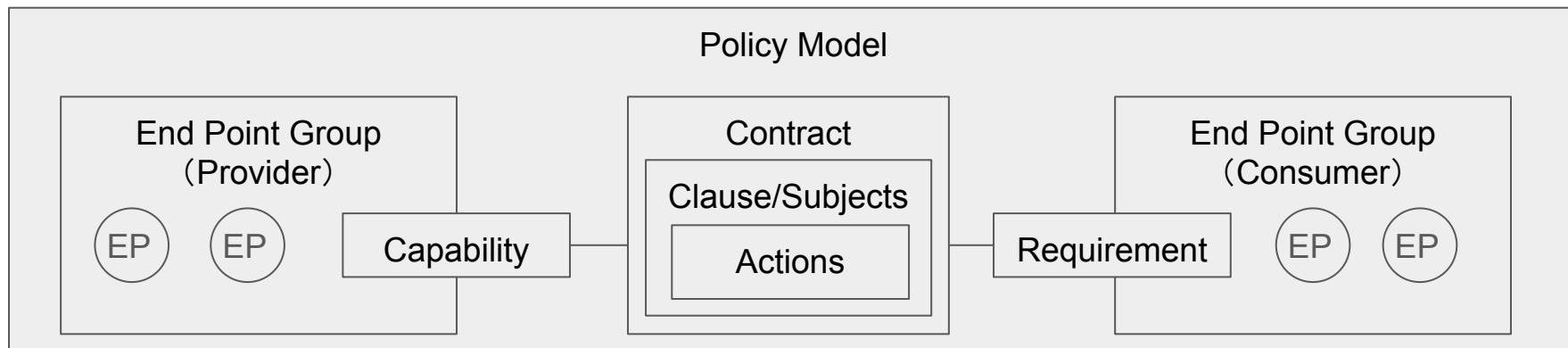
アプリケーション構成要素の識別
L4 ポート
TCP オプション
など

適用するアクション
許可
拒否
マーキング
Log
サービスグラフヘリダイレクト
など

【Cisco Data Center Forum 2015】Cisco ACI 活用例

<https://www.slideshare.net/slideshow/ldata-cisco-aci/47326117>

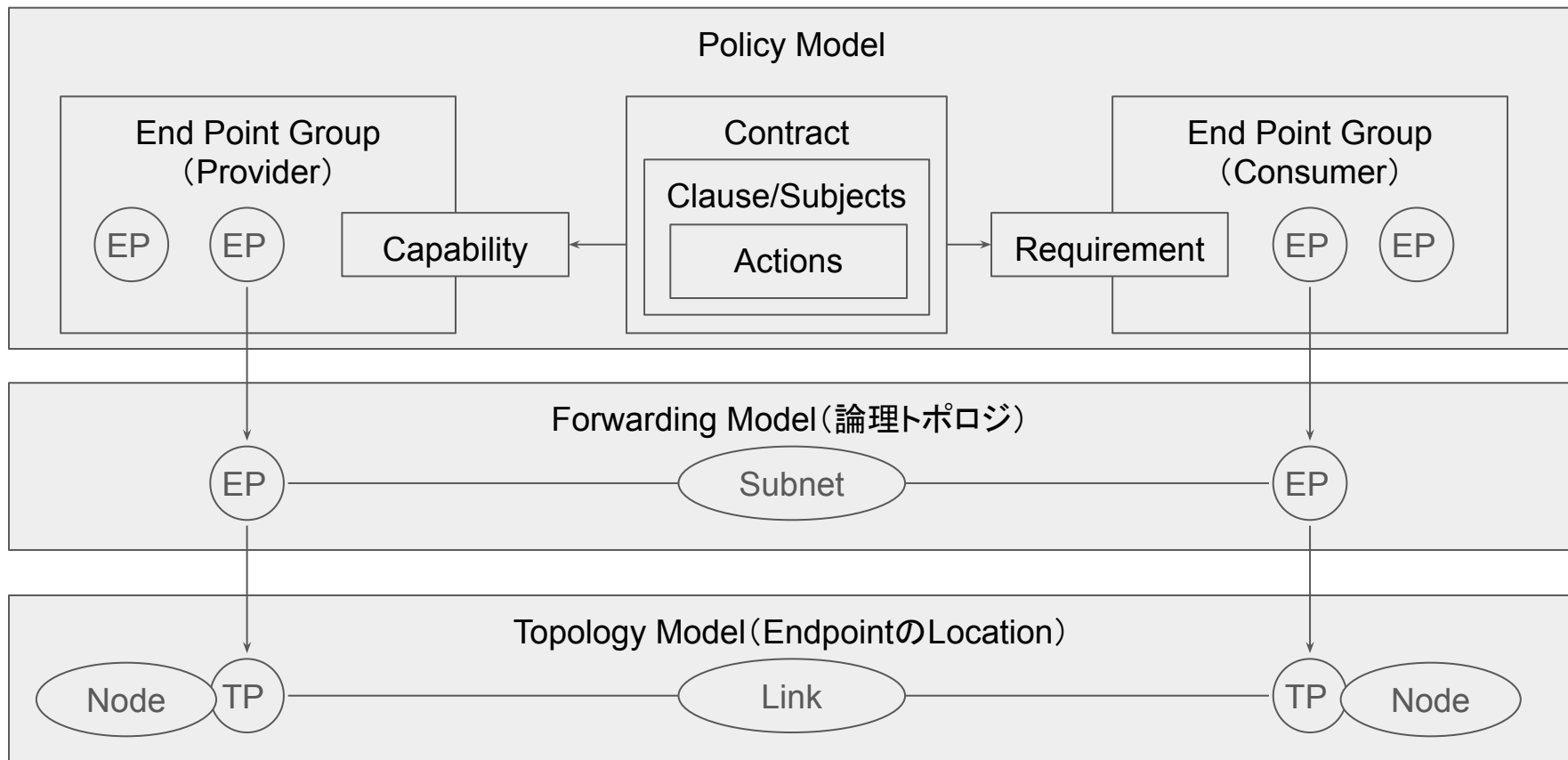
GBPにおけるInformation Model (Policy)



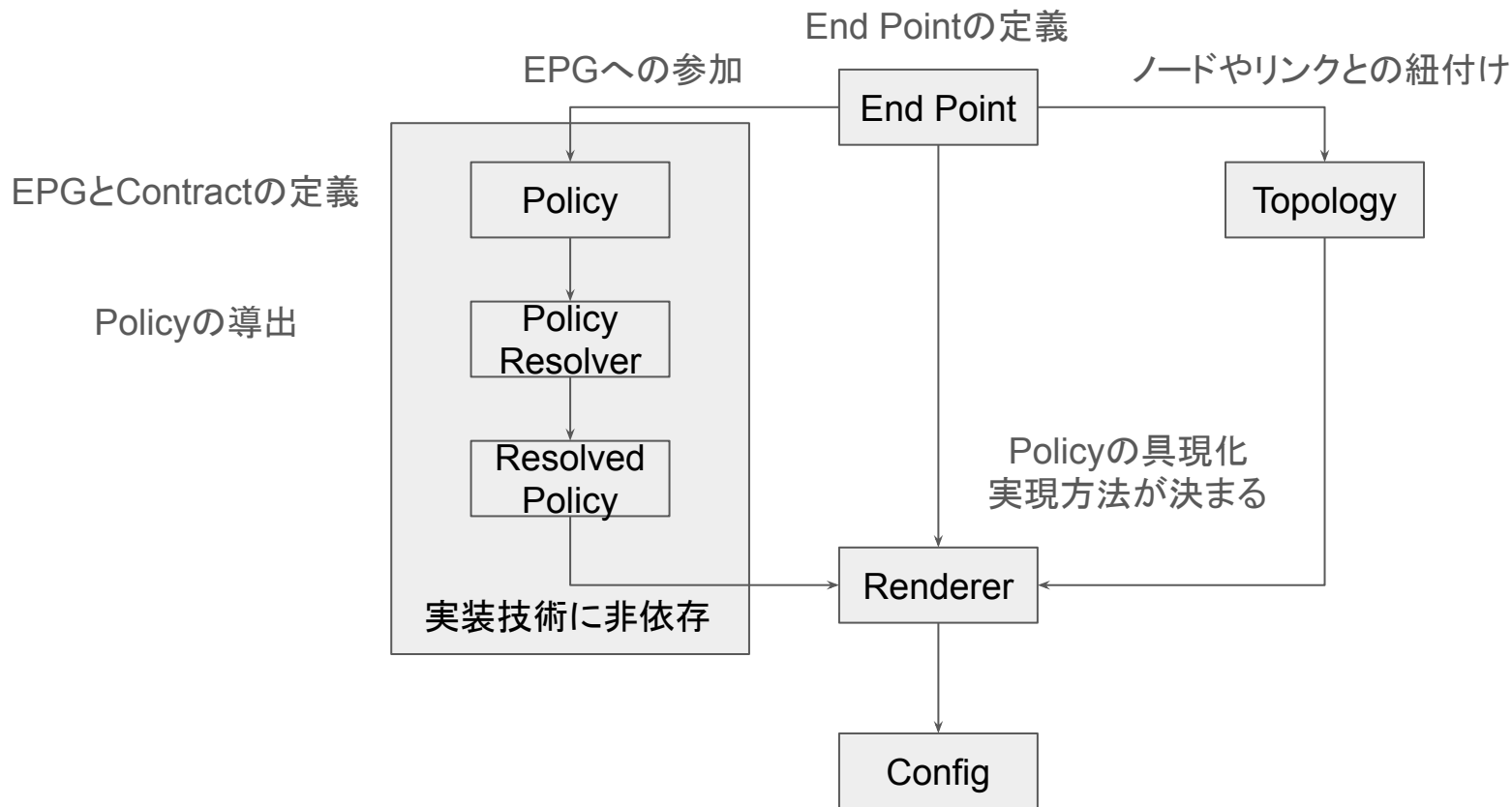
End Point (EP)	対象ネットワークにおけるエンドポイントの単位
End Point Group (EPG)	Agentだと思って良い、EPをグルーピングする
Capability / Requirement	Agentの約束と要求、EPGに設定する
Clause / Subject / Action	約束と要求の条件と履行する具体的な行動の束 (契約)

これらを設定すると、一貫性のあるPolicyが組み上がる (Policy Resolution)
だがしかし・・・これだけだとEPが属するノード (設定先ルータ) 等が未解決

GBPにおけるInformation Model (Forwarding&Topology)



Group Based PolicyにおけるConfigの生成 (Rendering)



ユースケースに応じた拡張性

YANGのAugmentが全てを解決する

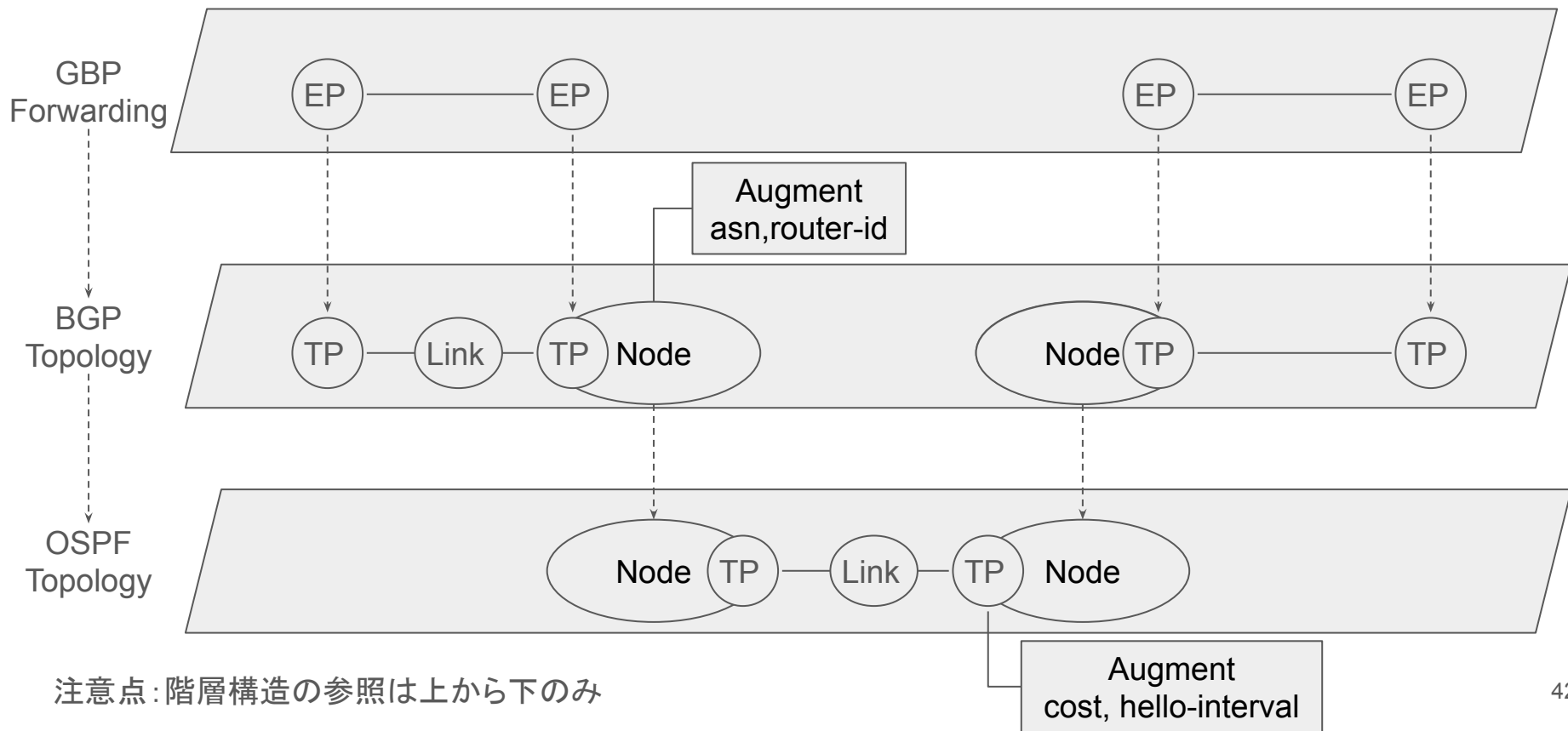
Renderer: Resolved Policyの解釈方法を自由に設計すれば良い
一貫性あるPolicyはConfigして初めて意味を持つ

When I use a word, it means what I choose it to mean – neither more nor less.

Endpoint: L2とL3の情報しか持っていない
ただし、Endpoint-Locationを書ける(instance-identifier)

Topology: Endpoint-Locationの参照先
ietf-network-topology(Node, Link, Termination-Point)の定義を基に
YANGをAugmentすることで拡張可能
例) ospf-topologyならTPにcostやhello-intervalを加える

Topologyの階層構造の表現とAugment



注意点:階層構造の参照は上から下のみ

Promise Theory/GBPの参考文献

A promise theory perspective on data networks

<https://arxiv.org/pdf/1405.2627>

Intent-based networking for the enterprise: a modern network architecture

<https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3538513>

Promise Theory—What Is It?

<https://dl.acm.org/doi/fullHtml/10.5555/2666018.2666021>

Promise Theory and Applications

<https://www.youtube.com/@PromiseTheoryandApplications>

Virtual Network Configuration with Group-based Policy using OpenDaylight

<https://www.slideshare.net/slideshow/virtual-network-configuration-with-groupbased-policy-using-odaylight/56162781>

Group Based Policy: Open Source Policy in OpenDaylight and OpenStack Neutron

<https://www.slideshare.net/slideshow/group-based-policy-open-source-policy-in-odaylight-and-openstack-neutron/38330932>

Cisco ACI and OpenStack - Group-based Policy (GBP) & OpFlex

<https://www.slideshare.net/slideshow/cisco-aci-and-openstack-groupbased-policy-gbp-opflex/51093210>

まとめ

テレコムキャリア網には「広義の」SDNが適当

広義のSDNにおいては「Policyの一貫性」が肝である

経路制御プロトコル下でPolicyの一貫性を保つには「Promise Theory」が有効

Promise Theoryを実現する「Group Based Policy」はSDNの重要なピース