

# IP網トラヒックエンジニアリング における最適化技術

日本電信電話株式会社  
サービスインテグレーション基盤研究所

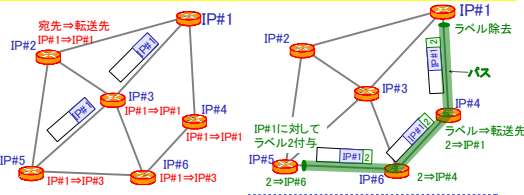
辻野 雅之

## IP網の特徴

- ・ (本資料での)IP網とは？
  - インターネット技術を適用して通信サービスを提供する目的で、通信事業者が構築する通信ネットワーク
    - ・ IP : Internet Protocol
- ・ 通信事業者が、円滑かつ効率的に通信サービスを提供するため、設備構築・管理運用に対する責任を持つ。
- ・ 具体例
  - ISP(Internet Service Provider)ネットワーク
  - IP専用線のキャリアネットワーク
  - MPLS(Multi-Protocol Label Switching)技術により構築するキャリアバックボーンネットワーク

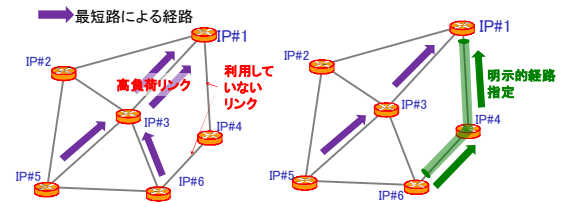
## MPLSフォワーディング技術

- ・ 宛先IPアドレスによりパケット(データの転送単位)の転送先を決定するIPルーティングとは異なりパケットに付与されたラベルに基づき転送先を決定する技術
  - ラベルにより決定される経路はパス(Label Switched Path [LSP])を構成する。
  - パスは、パケット転送に先駆けて構築される。



	IPルーティング	MPLSフォワーディング
経路柔軟性	宛先による経路(通常、最短路)に固定【△】	識別単位毎に柔軟に経路を決定可能【○】
装置負荷	IPルーティングの負荷【○】	(IPの負荷に加え)パス構築・転送の負荷【△】
管理運用容易性	パスを取り扱わないので、管理運用が単純【○】	パスを取り扱うため、管理運用が複雑(特に、パス取扱いによる利点を享受する場合)【△】

## (MPLS)トラヒックエンジニアリング～ターゲット～



トラヒックの偏りがリソースの不足を引き起こす → パスの経路を明示的に指定することで混雑を回避する

**課題**  
①様々な目的に応じパスの経路をどのように選定するか？【パス制御】  
②トラヒックエンジニアリングを効率的に活用するため、どのように設備を構築するか？【網設計】

## 課題⇒問題(例)～① パス制御～

### ① パス制御

1. 複数の対地間に発生する各需要に対して、与えられたリンク容量(帯域)より、現用パス(通常時に利用するパス)、迂回パス(障害等により現用パスが使えなくなったときに利用するパス)の組を決定する
  - ・ 帯域リソースを効率的に使用することを目的とする
    - ⇒ **利用する帯域リソースを最小化する最適化問題**
  - ・ パスで利用するリンクの帯域は、リンク容量を超えない
  - ・ 現用/迂回パスはノードまたはリンクを共用しない(node/link disjoint)【オプション】
  - ・ 同時に利用することがない迂回パスについては、帯域リソースを共有する(shared protection)【オプション】
  - ・ 障害に先駆けて事前に現用パス・迂回パスのパス経路を計算(Protection)
2. 複数の対地間に発生する各需要に対して、与えられたリンク容量(帯域)より、迂回パスを決定する
  - ・ 帯域リソースを効率的に使用することを目的とする
    - ⇒ **利用する帯域リソースを最小化する最適化問題**、または、
  - ・ リンク容量を満足する経路を素早く見つけることを目的とする
    - ⇒ **リンク容量を満足する実行可能解を見つける問題**
  - ・ パスで利用するリンクの帯域は、リンク容量を超えない
  - ・ 障害発生後に障害の状況に応じて、迂回パスのパス経路を計算(restoration)

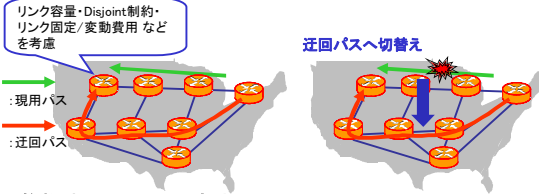
## 課題⇒問題(例)～② 網設計～

### ② 網設計

1. 複数の対地間に発生する各需要に対して、現用パス(通常時に利用するパス)、迂回パス(障害等により現用パスが使えなくなったときに利用するパス)の組を決定する
  - ・ 必要な帯域リソース(設備構築費用)を少なくすることを目的とする
    - ⇒ **利用する帯域リソースを最小化する最適化問題**
  - ・ リンクの帯域リソース使用に伴う固定費を考慮する【オプション】
  - ・ 既存の帯域リソースが活用できることを考慮する【オプション】
  - ・ 現用/迂回パスはノードまたはリンクを共用しない(node/link disjoint)【オプション】
  - ・ 同時に利用されることがない迂回パスについては、帯域リソースを共有する(shared protection)【オプション】
2. 複数の対地間に発生する各需要による現用パス(経路は所与)を流れるトラヒックがリンク上で測定されている(現用パスを流れるトラヒックは未知)とし、迂回パス(経路は所与)に対して必要な帯域リソースを決定する(結果、現用パス、迂回パスで必要とする帯域リソースが決定)
  - ・ 網の各リンクに対して迂回パスが選択されることで流れるトラヒックの上限を求める
    - ⇒ **迂回パスを流れるトラヒックを最大化する最適化問題**
  - ・ 現用パスを流れるトラヒックを変数とし、リンクで測定されるトラヒックとの関係を制約条件とする。
  - ・ 実際に発生するトラヒックに基づく設備構築が可能の場合への利用が想定できる

## ②-1 パス設計(現用/迂回)問題のイメージ

リンク容量・Node/Link Disjoint制約・リンク固定/変動費用を考慮し、複数対地間でのトラヒック需要を満たすような最小費用のパス組(現用/迂回パス[Shared Protection])を設定する

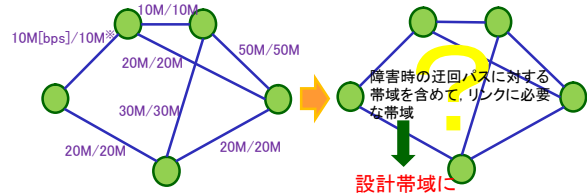


### 整数計画問題として定式化

網規模の増大に伴い考慮すべきパス候補の数が指数オーダーで増大すること等から、既存の整数計画法の解法を単純に適用するだけでは高速かつ高精度の解は得られない

## ②-2 迂回パス帯域決定問題のイメージ

測定しているトラヒック量に関する情報より、現用パス/迂回パスに対して必要な帯域を計算することを考える。  
= 障害時の迂回パスに対する必要な帯域の計算



※ 有向リンクの各方向で測定されたトラヒック量(現用パスによるトラヒック)を表す

### 線形計画問題として定式化

## 解法としての最適化技術に対する要件

- ・ 高速での計算が可能であること
  - 特に、パス制御の問題(Restoration)は、計算時間がネットワークサービスのAvailabilityに直に作用する
  - ネットワーク統合の流れにより、取り扱い対象の問題がより大きく複雑になることが想定される。
- ・ 評価可能であること
  - 発見的手法を用いて準最適解を導出した場合、実際の最適解からの乖離が保証されていること、または、乖離を評価できることが望ましい。
  - 最適化技術に依らない実務のノウハウから導く手法に対する評価手法としての最適化技術に対する期待も大きい。
- ・ モデルの柔軟性が高いこと
  - 事前に考慮が必要な要因を全て洗い出すことは難しい、実務において新たに発生する要因を容易に考慮可能なモデルであることが望ましい。