

複数パス間の要件を満たすパス計算ツールの開発

竹中 幹, 門脇 伸明

NTTコミュニケーションズ

m.takenaka@ntt.com, n.kadowaki@ntt.com

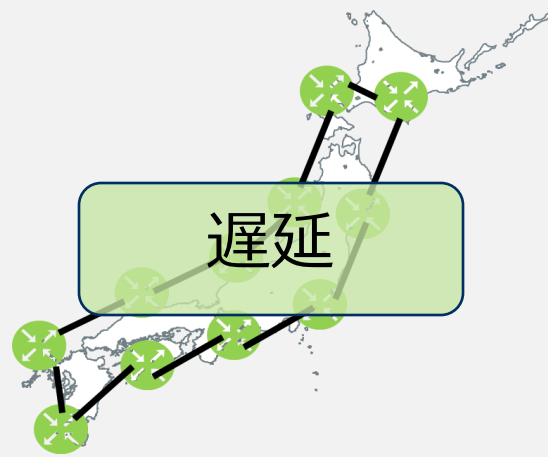
2024/10/28 MPLS JAPAN 2024 (東京大学 本郷キャンパス)

全国規模のネットワークサービスの開発

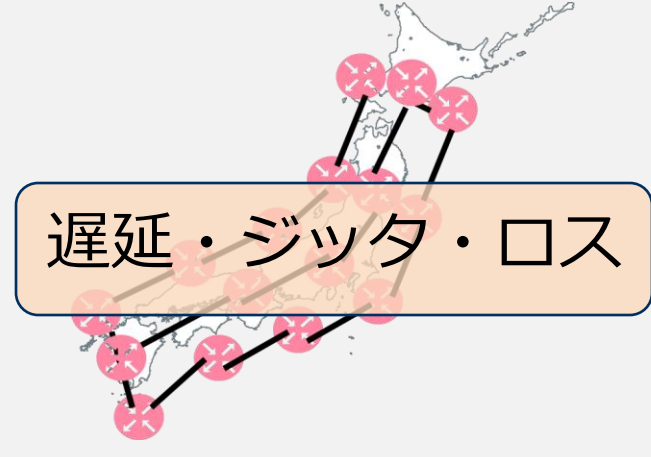
多様なニーズや通信特性に合わせて、様々な用途に特化した
閉域のネットワークサービスを全国規模で開発・提供



ネットワーク
サービスA



ネットワーク
サービスB

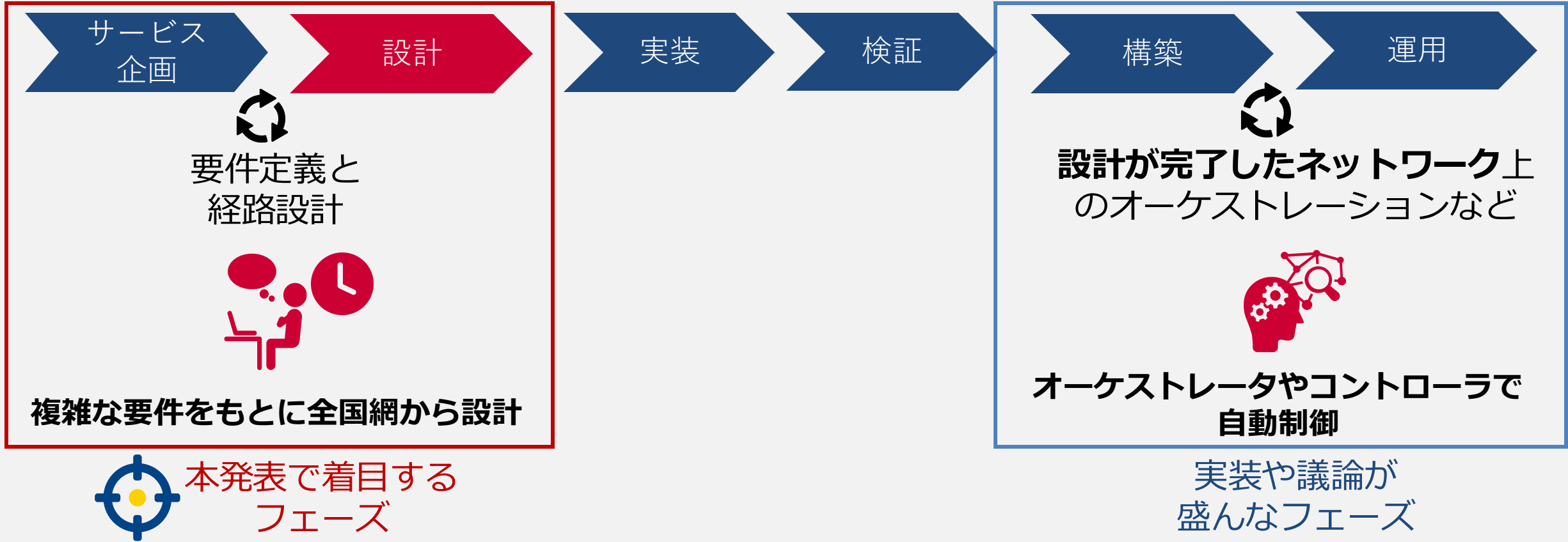


ネットワーク
サービスC

...

顧客・マーケットニーズの激しい変化に合わせた
迅速な企画・開発が求められる

ネットワークサービス提供までのフロー

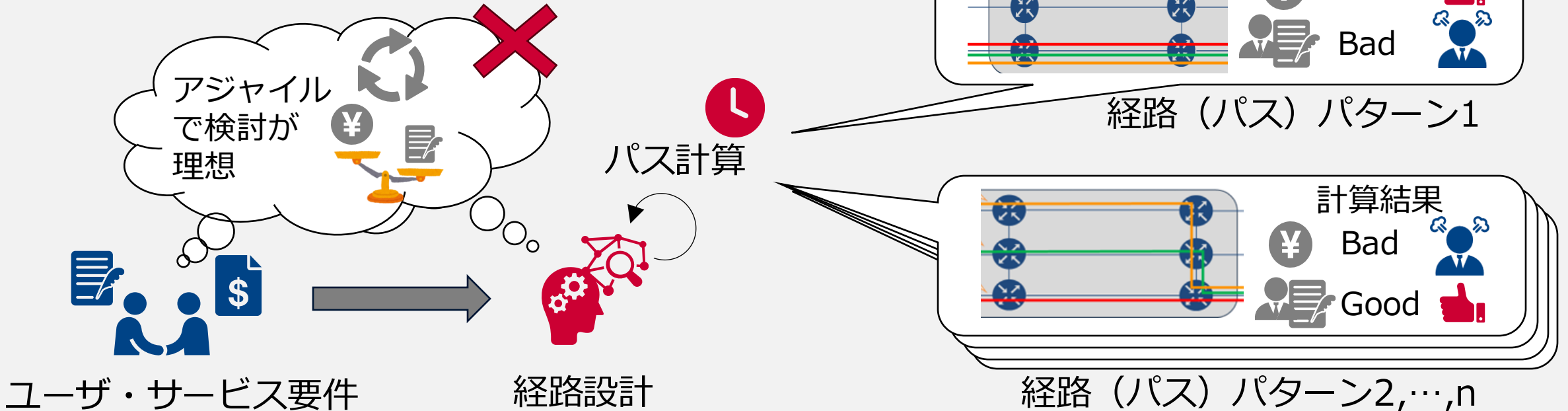


迅速な企画・開発において、
設計フェーズの効率には改善の余地がある

ネットワークサービスの設計フェーズにおける課題



- 全国網でサービス要件を満たす経路の設計
- サービス要件レベルと価格感のバランス検討



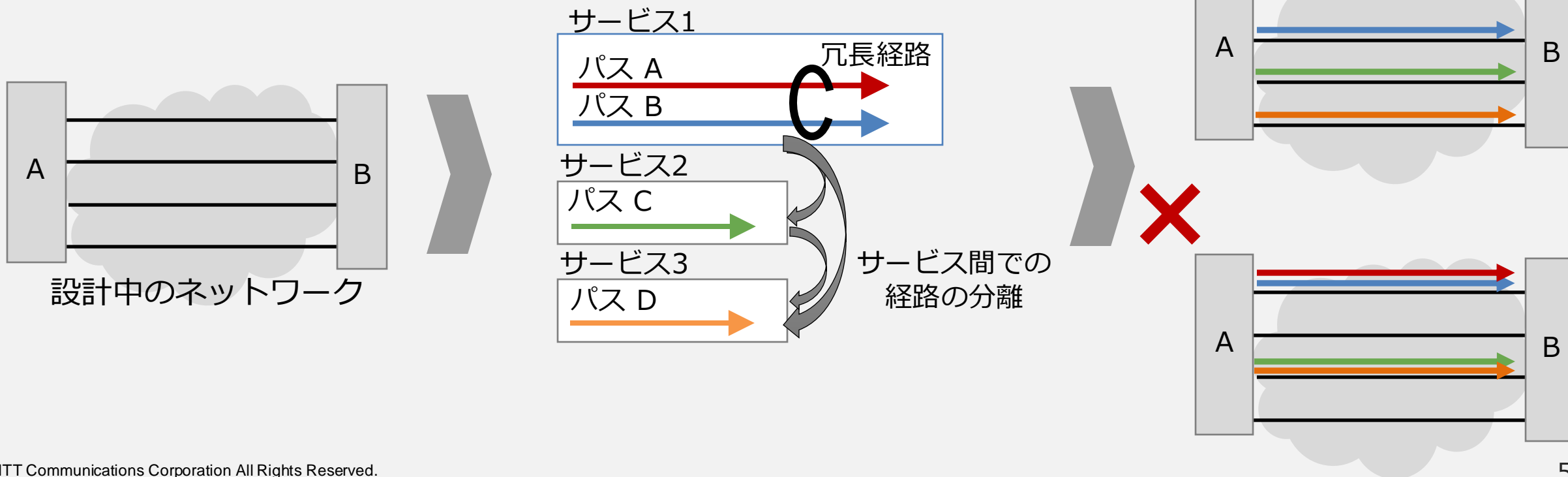
課題：全国規模の大量パス x 複雑な要件 の考慮で経路設計に時間を要している

設計における複雑な要件とは (1/2)

→ 複数本のパスの関係性に注目した要件

■ 例 1 : サービス内・間の経路分離

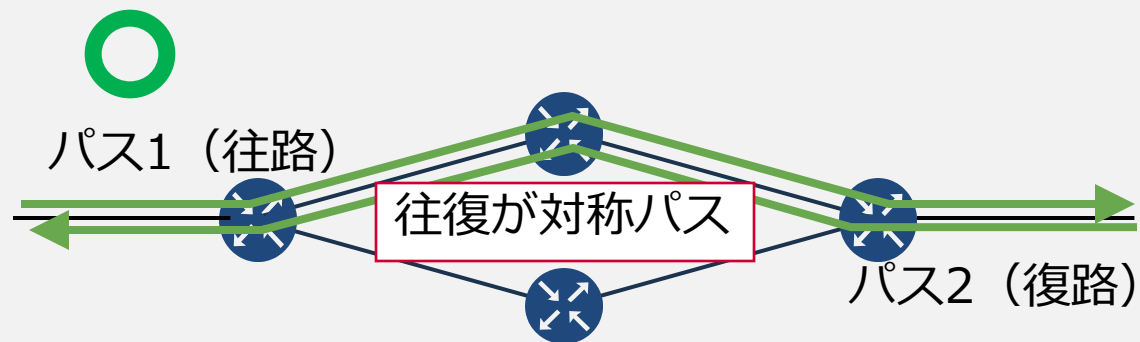
- 冗長経路
- SLA のためのトラフィック分離



設計における複雑な要件とは (2/2)

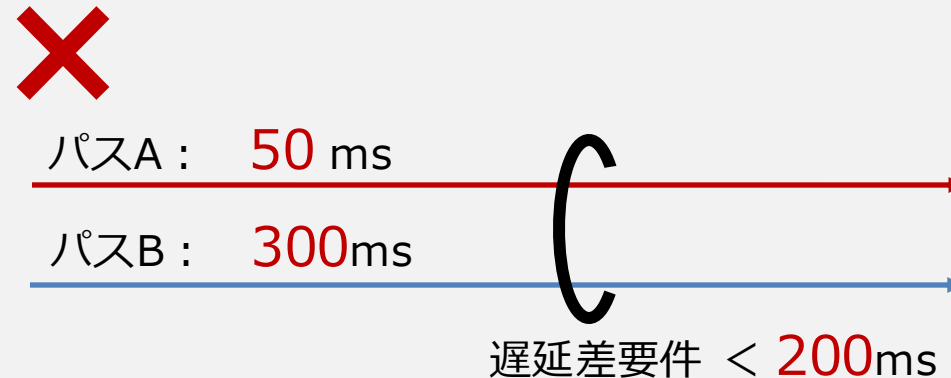
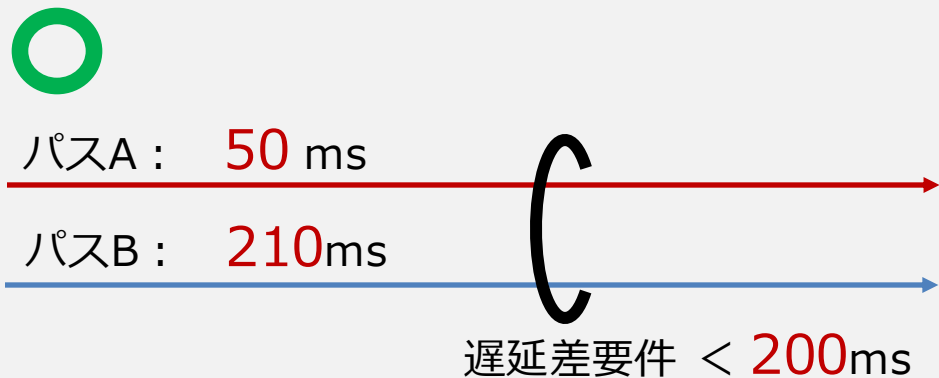
■ 例2：双方向対称経路

- 非対称経路の防止



■ 例3：複数パス間の遅延の差分

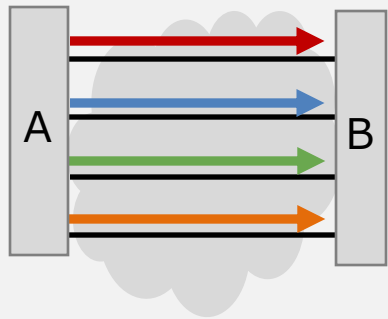
- ヒットレス（無瞬断）スイッチオーバー



時間を要する経路設計の改善のために

- ① 複雑な要件(パスの関係性の要件)を
 - ② (全国規模で大量に)複数組み合わせる
- パス計算するツールが必要

赤と青のパスの関係性は X ... ①
青と緑のパスの関係性は Y ... ①
緑と橙のパスの関係性は Z ... ①
⋮

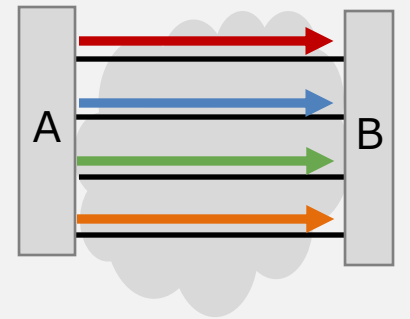


設計エキスパート

機械化



ツール



実案件から見る複雑な要件の例

映像伝送ネットワークサービスを例とした複雑な要件の例

リアルタイム映像伝送では、ヒットレススイッチオーバーが必要

主系・副系経路間の**遅延差**を考慮した冗長経路を
全国エリアを対象に**多数**検討する必要がある

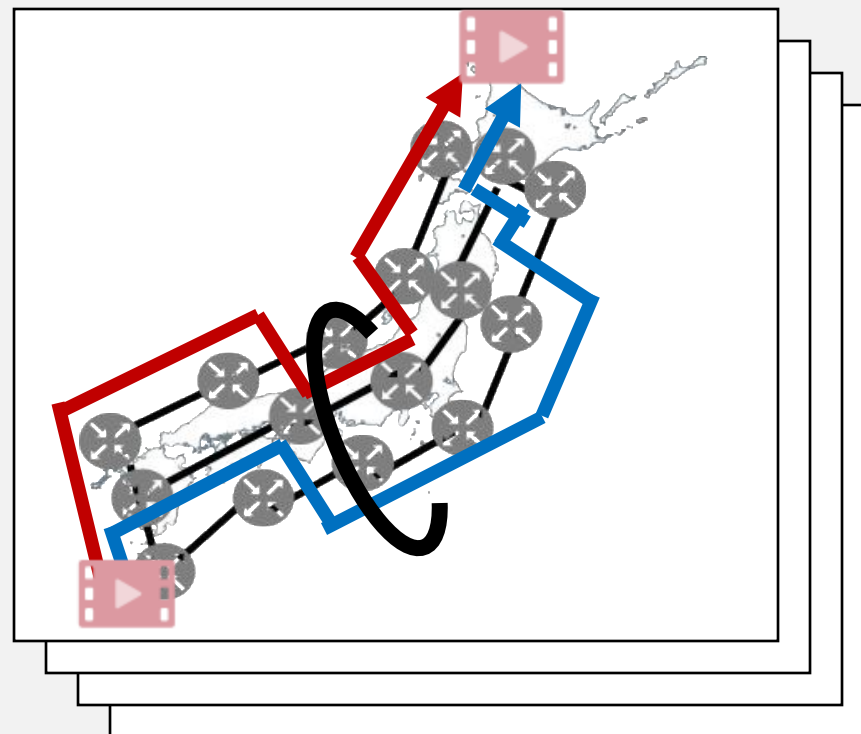
冗長パス1 (主系) : 40 ms

冗長パス2 (副系) : 90 ms

(例) 冗長パス間の遅延差要件 < 40ms

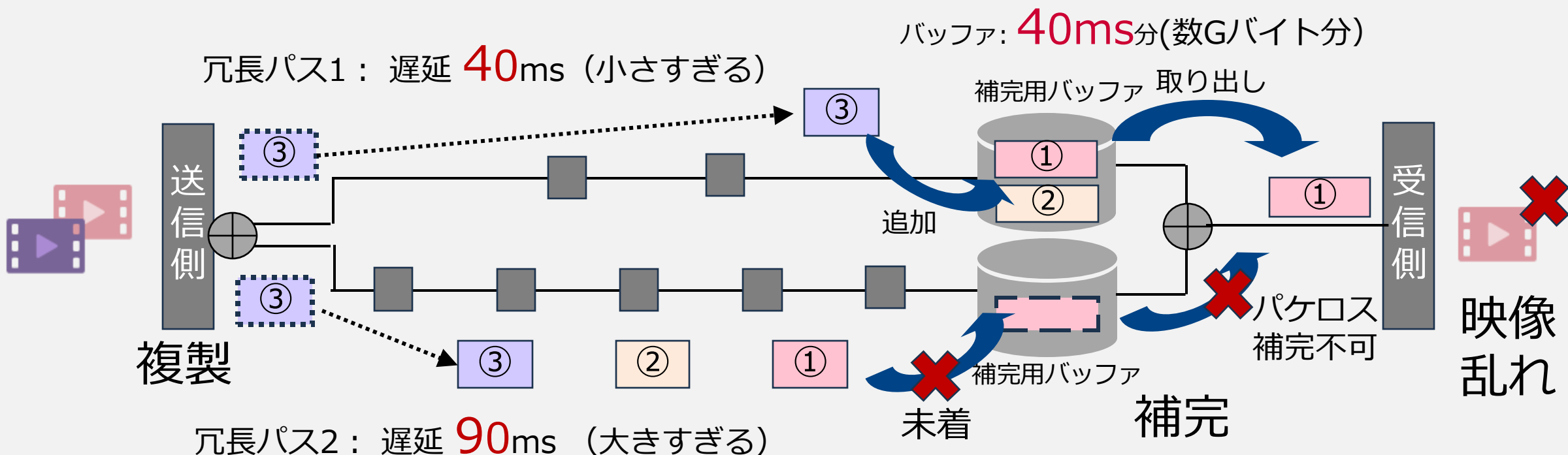
冗長パス1 (主系) : 40 ms

冗長パス2 (副系) : 70ms



冗長パスの遅延差の考慮が必要な映像伝送

- パケロス対策で、**両冗長経路**に対して映像 packets を**複製**して伝送
- 冗長経路間の**遅延差が大きい**場合、パケロスの**補完ができず**、映像が乱れる



遅延差が一定以下に収まる冗長パスの選定が必要

冗長パス間の遅延差は既存ツールによって扱えない

映像伝送の複雑な要件

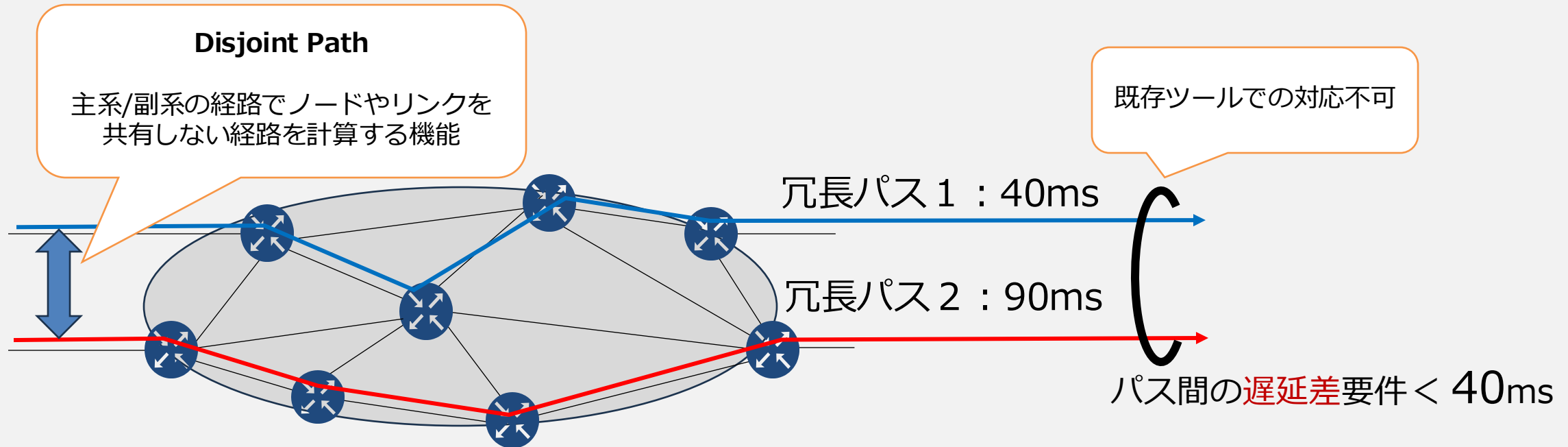
既存ツール機能

冗長パス

○ : Disjoint Path

遅延差を満たす

× : 扱えない



既存ツール … 既製ルータの Dynamic LSP 計算機能、市中 PCE 製品の経路計算機能

時間を要する経路設計の改善のために (再掲)

- ① 複雑な要件(パスの関係性の要件)を
 - ② (全国規模で大量に)複数組み合わせる
- パス計算するツールが必要

赤と青のパスの関係性は X ... ①
青と緑のパスの関係性は Y ... ①
緑と橙のパスの関係性は Z ... ①
⋮



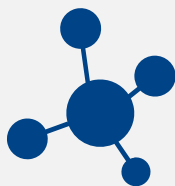
ツール実装のアプローチ

- ① 複雑な要件を扱う → 変数を用いた等式・不等式の制約として定式化
- ② 要件を複数組み合わせる → 制約充足問題として①の制約を扱う

複雑な要件

2本のパス A, B で
ノード・リンクを非共有

2本のパス A, B で
遅延差を 200ms 以内



ネットワーク情報



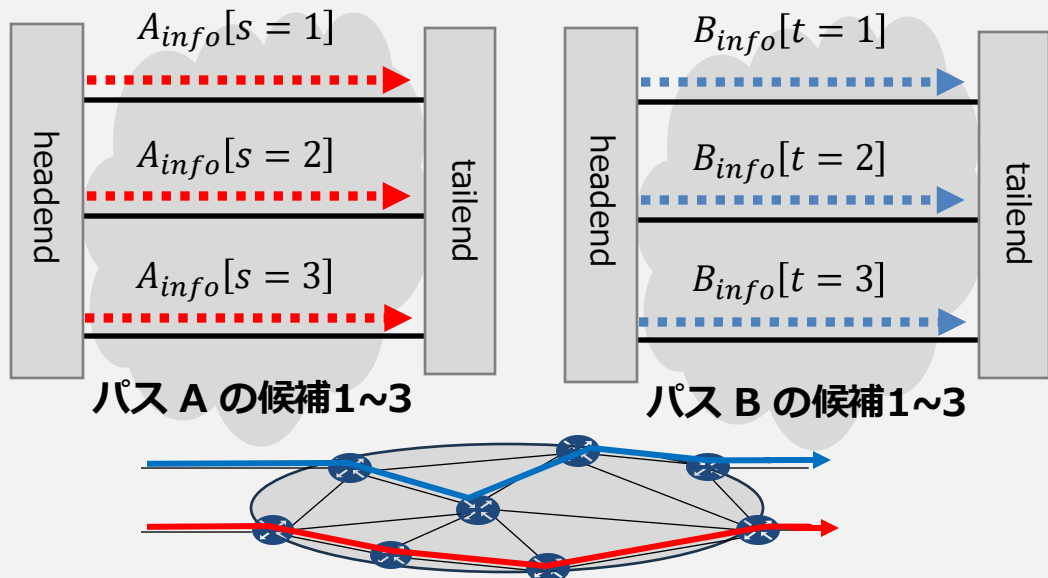
本ツール

パス名	経路情報	遅延
パスA	rt1 → rt7 → rt3	50
パスB	rt2 → rt6 → rt9	210

複数パス間の要件を満たすパス計算 =
複雑な要件(①) を複数組み合わせた(②)、要件全体を満たすパス計算 を実現

① 変数を用いた等式・不等式の制約として定式化

→ 複雑な要件を全て等式・不等式の形式として統一的に表現！



... それぞれの候補パスを利用すれば良い？
判断基準になる要件を等式・不等式として
 s, t, \dots の値を評価できるように



	複雑な要件 (p5, p6)	数式
例1	パス A, B, C, D でリンクを共有しない (冗長経路、サービス間の経路分離)	$[A_{info}[s].links] \cap [B_{info}[t].links] \cap [C_{info}[u].links] \cap [D_{info}[v].links] = \phi$ となる s, t, u, v を求める
例2	パス A, B が双方向で 利用するノード・リンクが一致 (双方向対称経路)	$[A_{info}[s].links] = [B_{info}[t].links]$ となる s, t を求める
例3	パス A, B でパス間の 遅延の差異を 200ms 以内に抑える (遅延差)	$ A_{info}[s].delay - B_{info}[t].delay \leq 200$ となる s, t を求める

全て
等式・不等式
の形式で
表現

② 制約充足問題として①で定式化した制約を扱う

→制約充足問題においては定式化した制約を複数まとめて計算できる

エンドポイントのみを考慮した候補パス
<ul style="list-style-type: none">・パス A の候補 1 ~ 5・パス B の候補 1 ~ 6・パス C の候補 1 ~ 7
パス計算の要件例
<ul style="list-style-type: none">・パス A と B でリンク非共有・パス A と C が双方向対称パス・パス A と B の遅延差 5ms 以内・パス B と C の遅延差 5ms 以内

①の
定式化
→

変数 (候補のインデックス)
$1 \leq s \leq 5$ $1 \leq t \leq 6$ $1 \leq u \leq 7$
等式・不等式制約 (要件)
$[A_{info}[s].links] \cap [B_{info}[t].links] = \phi$ $[A_{info}[s].links] = [C_{info}[u].links]$ $ A_{info}[s].delay - B_{info}[t].delay \leq 5$ $ A_{info}[s].delay - C_{info}[u].delay \leq 5$ を満たす s, t, u, v を求める

制約充足問題として
制約を満たす変数を求めることで
要件を満たす経路を算出

変数
・
全制約
の

制約充足問題を
解く仕組み

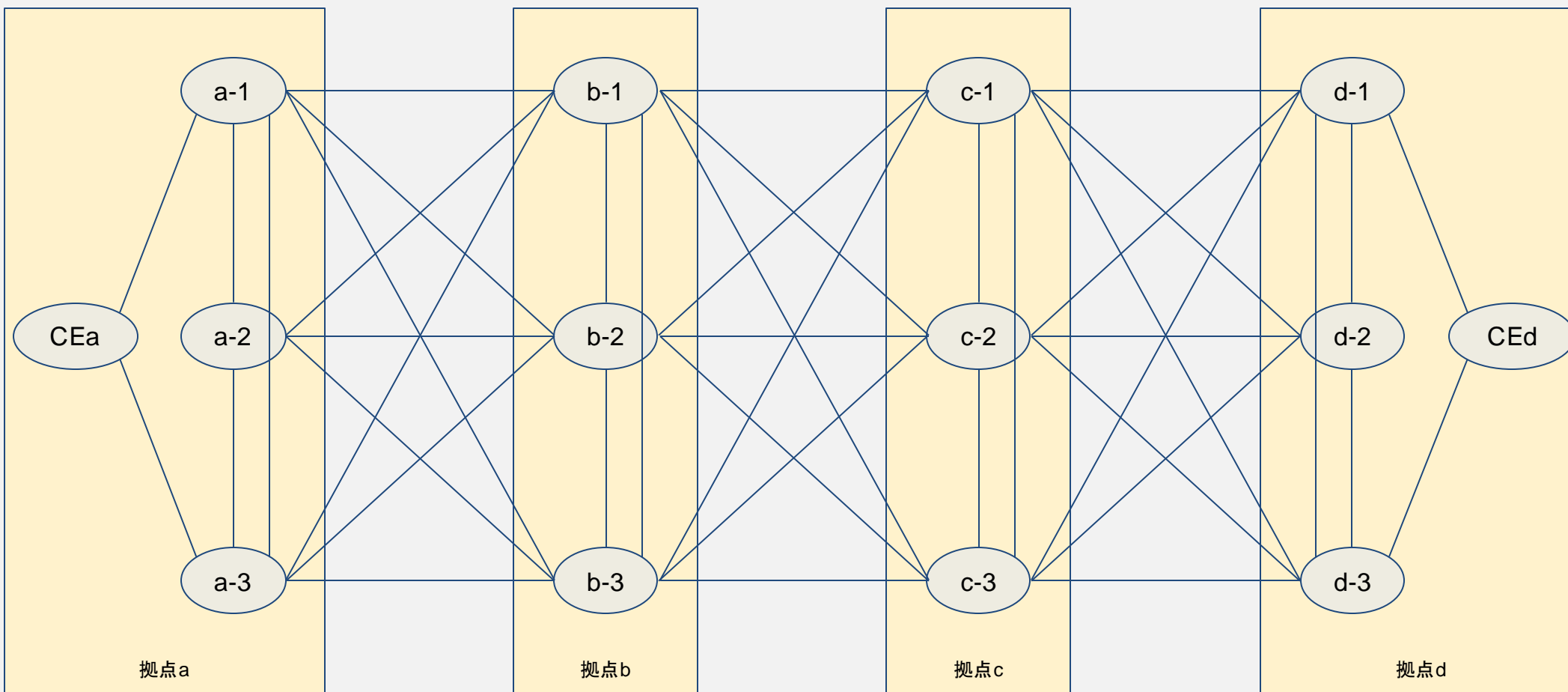


制約の扱いに適した
既製の SAT ソルバ
を活用

制約充足問題とは：**全ての等式・不等式制約**を満たすような、**変数**の探索問題

動作確認用ネットワーク

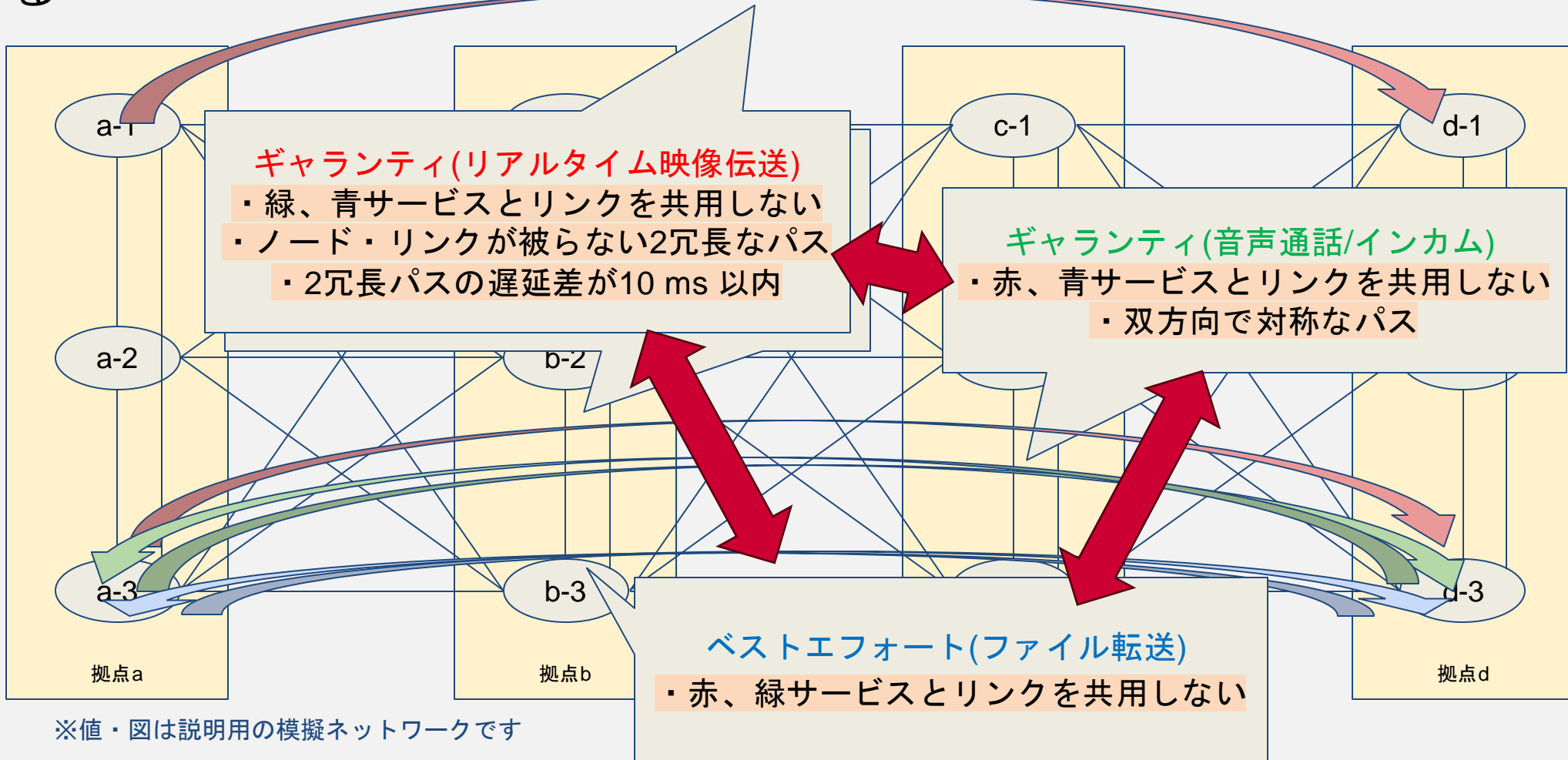
CEa と CEd の間に、3種類の異なる接続サービスを提供する



※ 図は説明用の模擬ネットワークです

経路パターン導出時の動作例

各サービスに属する各パスに必要な①複雑な要件を②複数組み合わせせて (⇔) 計算する



※実際の導出では経路は多数、エンドポイントも多様

入力例：ネットワークトポロジの定義ファイル(一部抜粋)

有向グラフとして利用可能な形式で入力

```
{
  "Nodes": [
    {
      "Name": "rt_a_1"
    }, ...
  ],
  "Links": [
    {
      "Id": "rt_a_1_to_rt_b_1",
      "LocalNode": "rt_a_1",
      "RemoteNode": "rt_b_1",
      "Metric": {
        ...
      },
      "Bandwidth": 125000000,
      "Prefix": "10.1.11.0/24"
    }, ...
  ]
}
```

ノード (ルータ) の定義

接続されているノード (ルータ) の情報

リンクの定義

入力例：パスの要件の定義ファイル(一部抜粋)

p14 で紹介した数式制約に変換可能な形式で入力

```
{
  "Paths": [
    {
      "id": "streaming_a1_d1", ...
    },
    {
      "id": "streaming_a3_d3", ...
    },
    ...
  ],
  "RedundantPaths": [
    {
      "id": "streaming",
      "PathSet": [ # 考慮対象のパス
        "streaming_a1_d1",
        "streaming_a3_d3"
      ],
      "MetricDiff": 10000 # 遅延差
    }, ...
  ],
  ...
}
```

各パスの定義

パスの関係性制約
(例：冗長パス間の遅延差)

出力：ネットワークと要件を用いた計算結果

[Solution 3] 解3
Id: streaming_a1_d1

[Solution 2] 解2
Id: streaming_a1_d1

[Solution 1] 解1
Id: streaming_a1_d1

{'LinkId': 'rt_a_1_to_rt_b_1'}

{'LinkId': 'rt_b_1_to_rt_c_1'}

{'LinkId': 'rt_c_1_to_rt_d_1'}

パスの計算結果

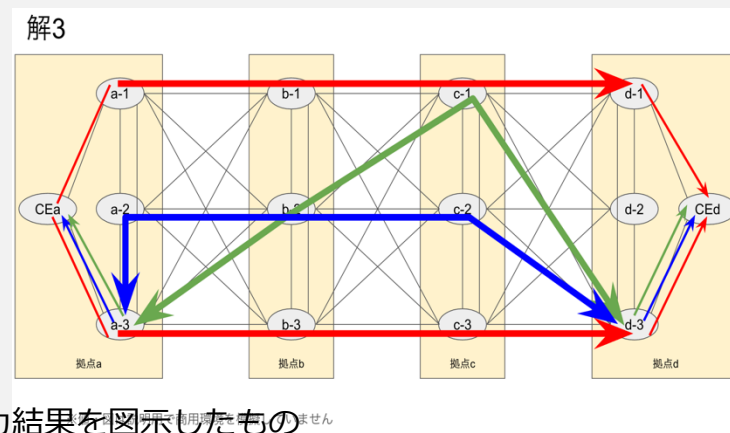
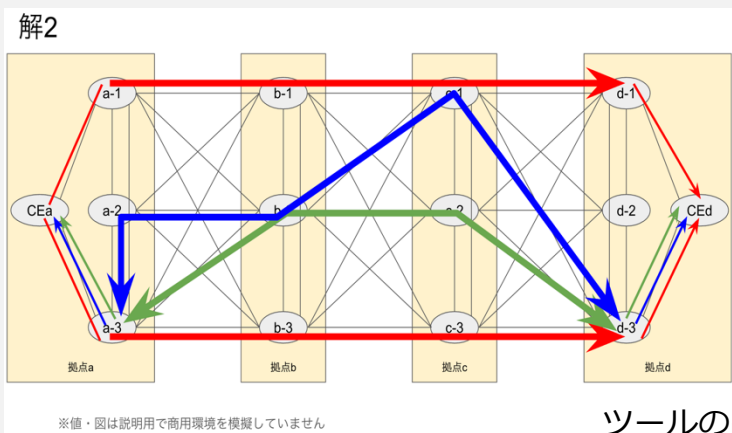
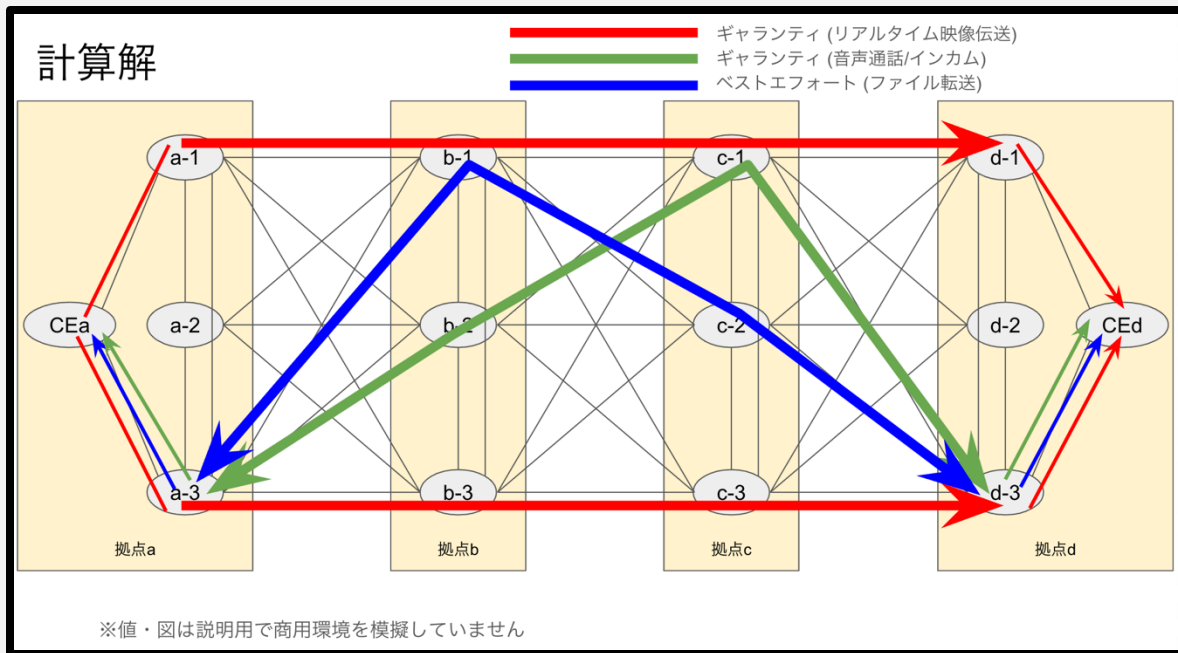
Id: streaming_a3_d3

Id: voice_call_AZ

Id: voice_call_ZA

Id: file_transfer_AZ

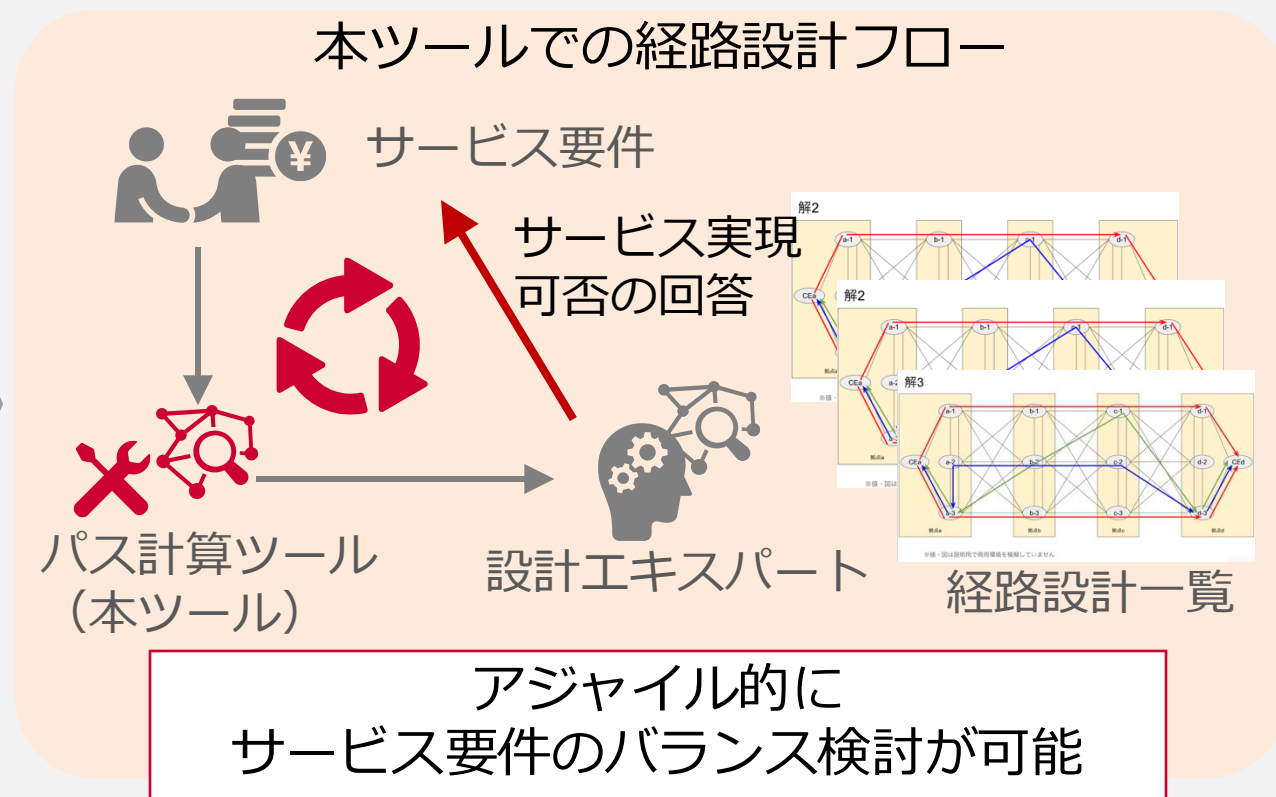
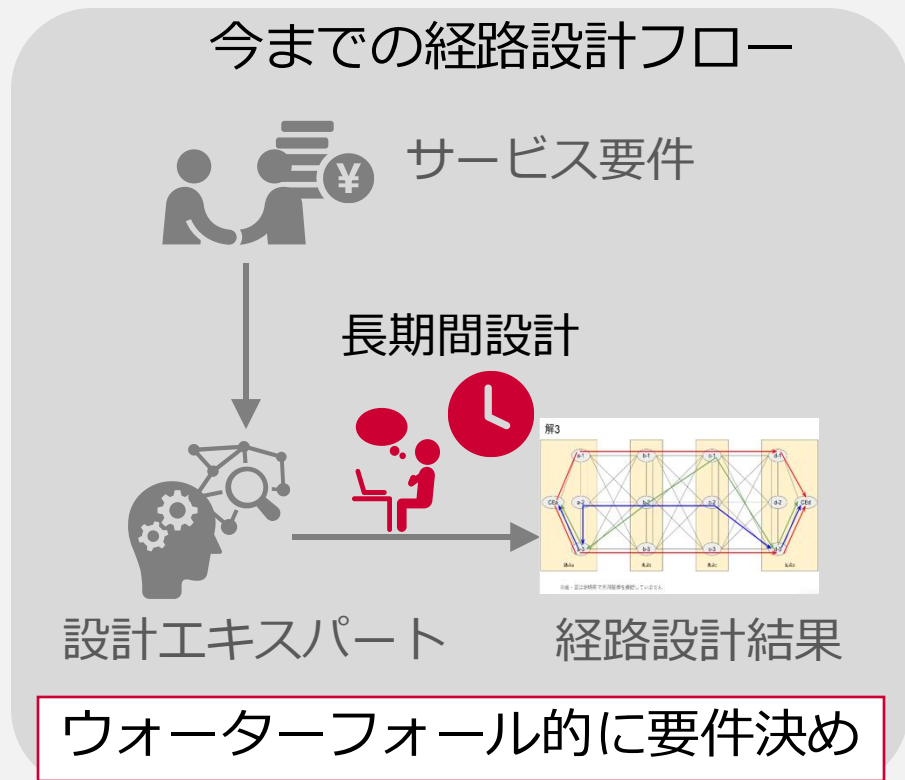
Id: file_transfer_ZA



ツールの出力結果

SAT ソルバ活用の副産物として、要件を満たす解を複数求めることも可能に！

映像伝送ネットワークサービス開発観点での評価



ニーズの変化に応じた開発に重要である、迅速な経路設計に寄与した

複数パス間の制約を適用可能なパス計算ツールを開発

提案手法

パスの関係性を等式・不等式の制約として定式化し
制約充足問題として扱うことで複数のパスの経路を導出する

今後の活動

計算した経路をもとにしたネットワークの設計
(IGP メトリックや Color のパラメータ提案など)

リアルタイム映像伝送サービスの設計課題のうち
経路設計における経路パターン導出への適用