

複数サービスを提供する通信設備の選定手法に関する研究

2005MT107 鈴木 一弘 2005MT113 武田 裕平
指導教員 奥村 康行

1. はじめに

近年、新規インフラを引く必要のあるFTTHの普及が進み、ADSLからFTTHへの配線の移行やサービスの多様化、加入世帯の増加などがあり、数百万配線を管理する通信事業所のビル内では、非常に多くの配線開通、変更、削除の要求が発生している。

この膨大な配線経路で、これら全ての行為を人間の手のみで行うことは容易ではない。特に膨大な配線経路データを視覚からの確認となると、人的ミスが発生する確率が高くなる他、検索に多大な時間を要する。そこで、先行研究では、膨大な配線データから顧客のサービス要求に最適な配線経路を迅速且つ正確に選定するため、制約充足問題（Constraint Satisfaction Problem, 以下 CSP と略記）を応用した選定手法を提案している。本研究では、先行研究で提案されたアクセスネットワークモデル[1][2]に、新たにWDMを設置したモデルを考え、CSPを応用したプログラムを二通りの方法で作成した。最適化ソフトウェアのCplex(以下、Cplexと略記)によるプログラムについては鈴木が、C言語によるプログラムについては武田が担当した。

2. 制約充足問題(CSP)とは

CSPは、ある問題に対して複数の制約を見つけ出し、この複数ある制約を満たすもの、状態を見つけ出す手法である。[3][4]CSPの中の複数の制約を定式化することにより、制約をより明確に表すことが可能となる。これをCSP定式化という。また、CSP定式化をすることにより、プログラム中に複数の制約条件を表せ、条件分岐させることに役立つ。

3. 通信設備の選定について

本研究では、顧客がどのサービスを受けたいのかに基づき、通信事業所外の各顧客から通信事業所内の光回線終端装置までの配線開通、変更、削除を行っていく際、どのような配線経路でサービス提供が実現されるのか。図1のようなアクセスネットワークモデルを構成し、検証した。

3.1 アクセスネットワークのモデルについて

ドロップボックスとは、電信柱の辺りにある白いボックスのことで、別名「光クロージャ」と言われている。このドロ

ップボックスの中には、光スプリッタが組み込まれているため、ドロップボックスの種類にもよるが、1つのドロップボックスで複数の顧客に配線することが可能となる。

CR, J-CR1, J-CR2とは、ケーブルラック(以下、crと略記)のことである。crとは、コネクタポート(以下、CPと略記)がたくさん集まった箱のことである。このcr内の各CPには、cr内部を配線せず、cr外部を予め、ドロップボックスからCRまでの配線、CRからJ-CR1までの配線、J-CR1からJ-CR2までの配線、J-CR2からOLTまでの配線を接続しておく。そして、顧客からの要望があった際、制約条件を満たすよう、cr内の各CPを図2のように接続することで、サービス提供が可能となる。

WDMとは、光波長分割多重方式の装置のことである。これは、光ファイバを通過する光信号が、他の波長の光信号と干渉しないという性能を利用し、一つのファイバで複数の光信号を送ることが可能となる。

OLTとは、データや映像などのサービスを伝送する装置のことで、光回線終端装置という。

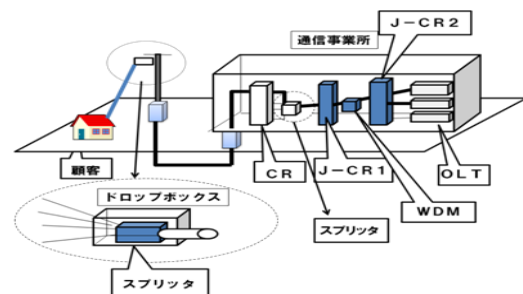


図1. 顧客の要望後のアクセスネットワークモデル図

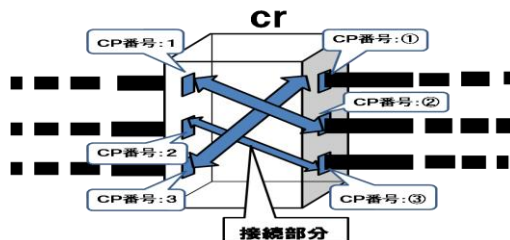


図2. 要望があった際のcr内の接続

3.2 モデルに対するCSP定式化について

本研究では、WDMの性能を活かし、WDMの後ろに新たにJ-CR2を設置することで、J-CR2の内部を各サービスに対応した配線選定をするだけで、顧客にサービス提供ができるようになり、アクセスネットワーク上での配線開通が、より一層自由度が高まり、顧客からの要望により柔軟な対応ができる構成を考えた。

3.2.1 CSP 定式化の例について

CSP 定式化を行うには、以下のような手順を踏む。

例えば、顧客側からのドロップボックス番号と通信事業所側からのドロップボックス番号が一致してなくてはならないと制約がある時、図 3 のように顧客側からみたドロップボックス番号を変数 X, 通信事業所側からみたドロップボックス番号を変数 Y とする。変数 X={1, 2}, Y={1, 2} が与えられた時、この制約を満たす変数 X, Y の要素は X={1}の時、Y={1}にならなくてはならない。つまり、制約を定式化すると X=Y のようになる。このように制約を抽出し、その制約に対する変数を宣言し、その変数を用いて制約に当てはまるように式にする。これが CSP 定式化の手順である。

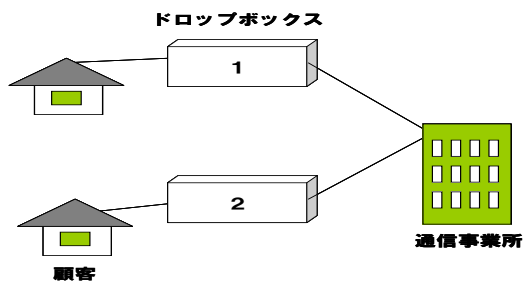


図 3. CSP 定式化の例

3.2.2 モデルの制約条件について

本研究のアクセスネットワークモデルには、どのような制約条件があるか。考えられる制約条件を検証した。

1. 顧客から見たドロップボックスの番号と CR から見たドロップボックスの番号は、一致してなくてはならない。
2. CR の CP が互いに繋がっているか、ドロップボックス側からみた CR の CP が空きであるか、J-CR1 からみた CR の CP が空きでなくてはならない。
3. J-CR1 の CP が互いに繋がっているか、CR からみた J-CR1 の CP が空きであるか、J-CR2 からみた J-CR1 の CP が空きでなくてはならない。
4. J-CR1 からみた WDM と J-CR2 からみた WDM が同一でなくてはならない。これを前提とした上で、J-CR2 からみた WDM の CP が OLT の EQP タイプと繋がっているか、J-CR1 からみた WDM の CP が空きであるか、J-CR2 からみた WDM の CP が空きでなくてはならない。
5. J-CR2 の CP が互いに繋がっているか、J-CR1 からみた J-CR2 の CP が空きであるか、OLT からみた J-CR2 の CP が空きでなくてはならない。
6. 顧客の指定したサービスタイプと OLT のサービスタイプは一致してなくてはならない。

3.2.3 モデルの変数宣言について

この制約条件に基づき、CSP の定式化を行う前に、まず CP 番号や顧客、サービスなどをすべて変数宣言する

必要がある。これは、CSP 定式化をする前に各部位を変数宣言しなければ、制約条件を定式化することができないからだ。そこで、以下のように変数の宣言をした。

<ドロップボックスとCR間の変数>

- ドロップボックス 番号:Oa
- ドロップボックスのCP番号:Ob
- CR 番号:Oc
- CR のCP番号:Od

<CR と J-CR1 間の変数>

- CR 番号:IOa
- CR の CP 番号:IOb
- J-CR1 番号:IOc
- J-CR1 の CP 番号:IOd

<J-CR1 と OLT 間の変数>

- J-CR1 番号:IEa
- J-CR1 の CP 番号:IEb
- EQP 番号:IEc
- EQP のパッケージ(PKG)番号:IEd

<J-CR1 と WDM 間の変数>

- WDM 番号:IWa
- WDM の CP 番号:IWb
- J-CR1 の CP 番号:IWc

<WDM と J-CR2 間の変数>

- WDM 番号:Wa
- WDM の CP 番号:Wb
- J-CR2 番号:Wc
- J-CR2 の CP 番号:Wd

<J-CR2 と OLT 間の変数>

- J-CR2 番号:Ea
- J-CR2 の CP 番号:Eb
- EQP 番号:Ec
- EQP のパッケージ(PKG)番号:Ed

<顧客の変数>

- サービスタイプ:T
- ドロップボックス番号:Ua

<光回線終端装置(OLT)の変数>

- サービスタイプ:Ee
- EQP 番号:Ef
- EQP のパッケージ(PKG)番号:Eg

3.2.4 モデルの CSP 定式化について

この変数宣言した変数を用いて、制約条件を CSP 定式化した。

- <P1>Ua=Oa
- <P2>Od=IOb ∨ Od=NULL ∨ IOb=NULL
- <P3>IOd=IEb ∨ IOd=NULL ∨ IEb=NULL ∨ IWc=NULL
- <P4>IWa=Wa (Wb=Ec ∨ IWb=NULL ∨ Wb=NULL)
- <P5>Wd=Eb ∨ Wd=NULL ∨ Eb=NULL
- <P6>T=Ee

3.2.5 CSP 定式化の説明について

<P1>ドロップボックスに関する説明

U_a と O_a は、どちらもドロップボックスの変数である。
 $U_a=O_a$ は、ドロップボックスが同じでない、接続することができないことを表している。

<P2>CRに関する説明

$O_d=I_{Ob}$ は、スプリッタの関係で同じドロップボックスからの配線であると、他の顧客によりすでに開通された配線は通過することができるということを表している。

$O_d=NULL \vee I_{Ob}=NULL$ は、配線が開通してない時のことである。この時は空いているポートを探していくことを表している。

<P3>J-CR1に関する説明

$I_{Od}=I_{Eb}$ は、スプリッタの関係で同じCRからの配線であると、他の顧客によりすでに開通された配線は通過できるということを表している。

$I_{Od}=NULL \vee I_{Eb}=NULL$ は、配線が開通してない時のことである。この時は空いているポートを探していくことを表している。

<P4>WDMに関する説明

$I_{Wa}=W_a$ は、J-CRから見たWDM番号とJ-CR2から見たWDM番号が同じでなくてはならないということを表している。

$I_{Wa}=W_a$ を前提とした上で、 $W_b=I_{Ec}$ は、他の顧客によりすでに開通された配線は通過できることを表している。また、 $I_{Wb}=NULL \vee W_b=NULL$ は、配線が開通してない時のことを表している。この時は空いているポートを探していくことを表している。

<P5>J-CR2に関する説明

$W_d=I_{Eb}$ は、WDMの関係で同じWDMからの配線であると他の顧客によりすでに開通された配線は通過できることを表している。

$W_d=NULL \vee I_{Eb}=NULL$ は、J-CR2内の配線が開通してない時のことである。この時は空いているポートを探していくことを表している。

<P6>サービスに関する説明

T と E_e は、どちらもサービスタイプの変数宣言である。
 $T=E_e$ は、顧客の要望するサービスタイプとOLTのサービスタイプが同じでない、接続することができないことを表している。

4. CSP 定式化を用いた制約プログラム

CSP 定式化により、制約条件を的確にまとめることができた。このCSP 定式化した制約条件をプログラムに組み込み、制約プログラムを用いることで、人間の手で配線経路選定するより、迅速且つ正確に実行することが可能か検証した。

4.1 アクセスネットワークモデルの規模

本研究では、図1のアクセスネットワークモデルに対応したプログラムを、C言語とCplexの環境で作成し、双方のプログラムのアクセスネットワークモデルの規模を、表1のように設置した。双方の規模が異なるのは、Cplexが変数制限のあるタイプで実行したため、C言語と同じ規模での比較ができなかった。

表1. アクセスネットワークモデルの規模

	C言語	Cplex
顧客の世帯数	30,000世帯	100世帯
CR, J-CR1, J-CR2のCP数	各35,001ポート	13, 4, 12ポート
スプリッタ分岐の種類	局外8分岐 局内4分岐	
光回線終端装置の種類	3種類	
サービスの種類	7種類	

4.2 プログラムの開発規模とその流れ

作成した双方のプログラム規模は、C言語がmain関数とsub関数を合わせて1,179ステップ、Cplexがmain関数280ステップ程度、data関数10ステップ程度である。

まず、サービスを受けたい人の人数を決め、その人数の配線経路選定にかかる検索時間と最適配線経路を表示するプログラムを作成した。検索時間を短縮し、迅速且つ正確に配線経路選定を行うことが可能か、C言語とCplexとの双方を比べ、検証した。以下、プログラムの大まかな流れを図4で示す。

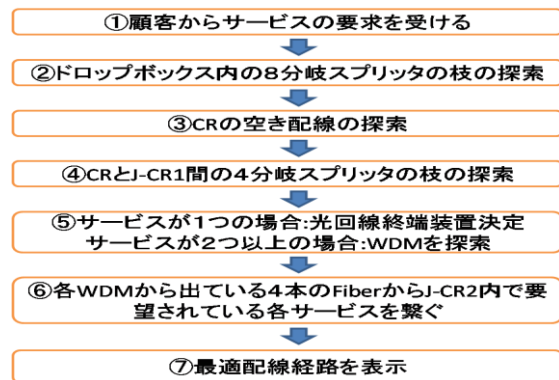


図4. プログラムの流れ

プログラムの流れを更に詳しく記載すると、以下①から⑦のようになる。以下、サービスの種類を α , β , γ の三種類とする。

- ①:顧客が受けたいサービスを α , β , γ の中から一つまたは複数個選ぶ。
- ②:ドロップボックスの中の8分岐スプリッタについて、何個目の8分岐スプリッタを通過するかを、顧客が

受けたサービスに対応させ決める。また、その8分岐スプリッタの8つの枝の内、どの枝を通るのかを決める。

- ③:CRのCPについて、CRとJ-CR1間にある何個目の4分岐スプリッタを通過するかを決める。
- ④:③で決めたCRとJ-CR1間の4分岐スプリッタの4つの枝の内、空いている枝を選定し、どの枝を通るのかを決める。ドロップボックス内の同一8分岐スプリッタを通過した顧客の配線選定については、既に繋がっている4分岐スプリッタの枝を選定する。
- ⑤:J-CR1のCPについて、空いている配線を選定する。サービスが1つの場合は光回線終端装置に繋げる。サービスが複数個の場合はWDMを選定する。
- ⑥:各WDMから出ている4本のFiberからJ-CR2内で要望されている各サービスを繋ぐ。4本のうち、繋がないFiberは無反射終端に繋ぐ。
- ⑦:プログラムにより選定された最適配線経路とその検索時間を出力する。

4.3 プログラムの動作結果

本研究で構成した図1のアクセスネットワークモデルに関し、作成した制約プログラムを用い検証した。複数の顧客がサービスをランダムで依頼すると仮定して、本研究で完成したプログラムを実行させた。

まず、何人の顧客がサービスを依頼するかを決定する。プログラム上で各一人一人の顧客についてランダムで受けるサービス(3種類)、計7通りのサービスを割り振り、どの配線経路が最適なのか。また、その結果を出すまでの検索時間は何秒かかるのか、を表示させる。

例えば、C言語とCplexのプログラムにて、100人の顧客の配線経路の検索を行う。その中の一例として、顧客100番の配線選定結果と、それに対応する配線経路図を図5に示す。

顧客:00100
 ↓
 ドロップボックス内のスプリッタ番号(8分岐スプリッタ):
 00027番目
 8分岐スプリッタの枝:5本目
 ↓
 CRのCP番号(4分岐スプリッタの番号):00017番目
 4分岐スプリッタの枝:1本目
 ↓
 J-CR1のCP番号(WDM全体の番号):00026番目
 ↓
 サービスを2種類のみ繋ぐWDM2の番号:00011番目
 J-CR2のCP番号(α , β , γ , 無反射終端):(22番目,
 *, 21番目, *)
 ※無反射終端を[*]とする
 ↓
 EQPタイプ: α -OLTと γ -OLT

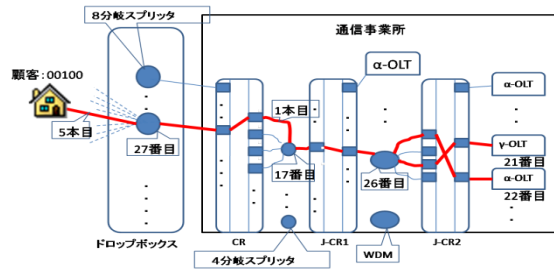


図5. 出力結果の配線経路図

配線経路選定は、Cplex環境下だと、顧客100人分の検索時間は約0.735秒、C言語にて30,000人分を検索すると約33秒で計算された。100人当たりでは約0.0767秒に相当する。また、Cplex環境下では、変数制限のあるタイプで実行したため、100人以上の配線選定ができなかった。

5. まとめ

本研究で、通信事業所で行われる配線選定に関して、CSPを応用し、定式化することで、プログラム中に組み込むことが可能になり、配線経路選定をより迅速且つ正確に行うことが可能であることを示した。

本研究では、C言語環境下での制約を組み込んだプログラムと、Cplexとの双方からの検証結果から、双方に利点があることがわかった。

C言語のプログラムは、Cplexに比べプログラム規模が大きくなったが、細かい制約指定まで可能なため、処理速度はCplexに比べ、比較的速かった。

一方、Cplexは、プログラムに定式化した制約を組み込むだけで最適解を求めることができ、プログラムを小さくまとめることができた。しかし、処理速度がC言語に比べ、比較的遅かった。

参考文献

- [1] Kenichi Tayama, Shiro Ogasawara, Tetsuya Yama-mura, and Yasuyuki Okumura: "Flexible Allocation of Optical Access Network Resources Using Constraint Satisfaction Problem", IEICE TRANS. COMMUN., VOL.E90-B, NO.7, pp.1674-1681, JULY 2007.
- [2] 野末晴久, 中島一, 田山健一, 山村哲哉: "複雑な所外設備に対応する柔軟な光アクセス設備選定手法", 信学総合大会, B-14-3, pp.525, 2006.
- [3] 伊庭齊志『探索のアルゴリズムと技法 基本的アプローチとその評価』サイエンス社, 2002年.
- [4] 石畑清『アルゴリズムとデータ構造』(岩波講座ソフトウェア科学3)岩波書店, 2000年.
- [5] ILOG: "ILOG OPL Development Studio", <http://www.ilog.com/products/oplstudio/trial.cfm>, 2008.5.