

整数計画問題による、ケーブルテレビの 光／同軸ハイブリッド網の最適化法

奈良先端科学技術大学院大学 *二宮 基行 NINOMIYA Motoyuki
02003804 奈良先端科学技術大学院大学 岡田 正浩 OKADA Masahiro
01307154 大阪大学 田地 宏一 TAJI Kouichi
01304494 奈良先端科学技術大学院大学 高橋 豊 TAKAHASHI Yutaka

1 はじめに

多チャンネル放送を目的とするケーブルテレビネットワークは都市部を中心に広がっており、約700万世帯が加入している。しかしデジタル衛星放送などの登場により、単に多チャンネル放送の手段としてのケーブルテレビでは、ケーブル敷設費用などが莫大なために魅力的な方法ではなくなってきた。そこで、インターネットへの接続など、有線である利点を生かしたサービスがいろいろ考案されている。このためには、サービス量の増加にともなう回線の容量拡大が必要であり、この解決方法として、光ファイバケーブルを用いてのデジタル放送することが考えられる。だが、現在提供できるサービス量から考えても、すべてを光ファイバケーブルにおきかえるには費用がかかり過ぎる。そこで考え出されたのが、光／同軸ハイブリッド網 (Hybrid Fiber/Coax、以下HFCと略) という方法である [1]。HFCとは、現在ある同軸ケーブルネットワークを生かして、主要な部分にのみ光ファイバケーブルに置き換える方法である。これにより、現在の数倍程度に回線容量が上げられ、また、改造費用を抑えることができる。本研究では、HFCへ改造する場合に、その際生じる制約条件を満たしながら、費用を最小限に抑える改造方法を求めるモデルを提案する。

2 HFC

HFCとは、各世帯(末端)側は同軸ケーブルのまま残し、主要な部分のみを光ファイバケーブルに置き換えるものである。そうすると、現在ある同軸ケーブルの85%程度までを生かしつつ、チャンネル数を100チャンネル以上まで増やすことが

できる。しかし、光ファイバケーブルと同軸ケーブルをつなぐ場所には、光信号を電気信号に(またその逆にも)変換する装置が必要である。また、以下の2つの制約を満たさなければならない。

(1) 光ファイバケーブルから各家庭までに張られる同軸ケーブルの距離は最大1マイル(約1.6km)程度である。…同軸ケーブルに信号を流した場合、距離が長くなると信号が減衰してしまうために中継器を数多く入れる必要があるが、そうすると使用できる周波数帯域が減ってしまうので、結果として光ファイバケーブルによる回線容量の増加効果が少なくなってしまう。

(2) 1本の光ファイバケーブルにつなげられる世帯数は、最大500～600世帯程度である。…現在のテレビ放送のみのサービスでは、テレビ局から家庭への信号(下り信号)のみであるが、新たなサービスを行なうためには逆向きの信号(上り信号)を流せるようにする必要がある。しかし上り信号は雑音の影響を受けやすく、これをテレビ局において判別できるようにするには、これくらいの戸数に制限される。また、個別サービスを行なう場合、つながる戸数が多過ぎると全体としてサービスの低下を招いてしまう。

これら2つの制約条件を満たしながら、現在のネットワークをHFCへ改造する場合に、費用が最小となる方法を整数計画問題に定式化する。

3 整数計画問題への定式化

現在あるケーブルテレビネットワークを、グラフ $G = (N, A)$ によりモデル化する。

- N : ノードの集合
- 同軸ケーブルの接続点

- 新たに光ファイバケーブルとの接続が可能な点 $I \subseteq N$
- 各家庭への、末端ケーブルとの接続点 $J \subseteq N$

• A : アークの集合

- 現在張られている同軸ケーブル
- 新たに同軸ケーブルを引くことのできる区間 (道路沿いなど)

一般に、末端ケーブルとの接続点には中継器、電圧の変換器などが置かれているので、そこには光ファイバケーブルへの接続に必要な信号変換器を設置できるので $J \subseteq I$ となる。

そして、変数と定数を以下のように定義する。

$$u_i = \begin{cases} 1 & \text{ノード } i \in I \text{ は光ファイバに接続されている} \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases}$$

$$v_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ノード } j \in J \text{ はノード } i \in I \text{ に接続している} \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases}$$

x_{mn}^l : アーク $l \in A$ に対応する、4種類のケーブル $mnl \in A'$ それぞれの使用される本数、ただし

- $(m, n) = (1, 1)$: 現在のケーブルをそのまま使用
- $(m, n) = (1, 2)$: 現在と同方向のケーブルを追加
- $(m, n) = (2, 1)$: 現在のケーブルを逆方向に使用
- $(m, n) = (2, 2)$: 現在と逆方向のケーブルを追加

$$y_r = \begin{cases} 1 & \text{ルート } r \in R \text{ を利用する} \\ 0 & \text{利用しない} \end{cases}$$

a_i : ノード $i \in I$ までを、光ファイバケーブルでつなぐための費用

b_{mn}^l : ケーブル $mnl \in A'$ を使用するための費用 (新規建設費用、維持費用)

c_j : ノード $j \in J$ から下につながっている世帯数

R_j^i : $i \in I$ から $j \in J$ を1マイル以下でつなぐことのできるルート $r \in R$ の集合

K_{ml} : ケーブル $mnl \in A'$ ($n = 1$ or 2) が必要なルート $r \in R$ の集合

F : 現在ケーブルが引かれていないアーク $l \in A$ の集合

b_{mn}^l を同じアーク $l \in A$ で比較した場合、

そのまま使用 < 逆方向に使用 < ケーブルを追加が成り立っているものとする。

使用する同軸ケーブルと、光ファイバケーブルにかかる費用の合計を最小にすることを目的とすると、目的関数は以下ようになる。

$$\text{minimize } z = \sum_{i \in I} a_i u_i + \sum_{l \in A} \sum_{m=1}^2 \sum_{n=1}^2 b_{mn}^l x_{mn}^l$$

また、2節で述べた2つの制約条件は以下のように表される。

$$\sum_{j \in J} c_j v_{ij} \leq 500 \quad \forall i \in I \quad (1)$$

$$u_i \geq v_{ij} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} v_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{n=1}^2 x_{mn}^l = \sum_{r \in K_{ml}} y_r \quad \forall l \in A, m = \{1, 2\} \quad (4)$$

$$\sum_{r \in R_j^i} y_r = v_{ij} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (5)$$

(1)式は、光ファイバケーブル毎の世帯数は500戸以下であることを表し、(5)式で、1マイル以下の接続を選び出している。(2)(3)で光ファイバケーブルと末端までの整合を行ない、(4)で必要なアークを求める。

さらに、同じアークにある同軸ケーブルを整合させるため、以下のような制約条件が必要である。

$$\sum_{m=1}^2 x_{m1}^l \leq 1 \quad \forall l \in A \quad (6)$$

$$x_{m1}^l = 0 \quad \forall l \in F, m = \{1, 2\} \quad (7)$$

(6)式は、現在引かれている同軸ケーブルの使い方を含め、(7)式は、新たに同軸ケーブルを引く必要がある区間であることを示している。

なお誌面の都合上、数値実験は当日報告させて頂く。

参考文献

[1] Walrand, J. and Varaiya, P.: *High-Performance Communication Network*. Morgan Kaufmann Publishers, Inc., San Francisco, CA, 1996.