

遠隔教育システムVIEW Classroom のための通信システム

香川 修見 (*1)

増井 久之 (*2)

三好 一賢 (*1)

広島電機大学 情報工学科 (*1)

広島県広島市安芸区中野 6-20-1

082-893-0381

三菱電機株式会社 情報システム製作所 (*2)

神奈川県鎌倉市上町屋 325

0467-43-8256

コンピュータとネットワークによる遠隔教育システム：VIEW Classroomにおける講義支援機能と学生の反応収集機能を基に、筆者らが設計したテレビ映像とネットワークを利用した教室で実際に講義に使用した教材をデータとして使用し、ISDN、フレームリレーおよび衛星通信についてトラフィックを評価しVIEW Classroomに適合する通信システムを提案する。

Communication Systems for Distance Education System:VIEW Classroom

Osami Kagawa (*1)

Hisayuki Masui (*2)

Kazuyoshi Miyoshi (*1)

Department of Information Science (*1)

at Hiroshima Denki Institute of Technology

620-1 Nakano Aki-ku Hiroshima-shi Hiroshima-ken Japan

082-893-0381

Information Systems Engineering Center at Mitsubishi Electric Co. (*2)

325 Kamimachiya Kamakura-shi Kanagawa-ken Japan

0467-43-8256

Lecture support functions and collecting functions of student response in distance education system "VIEW Classroom" which uses computer & network systems are investigated.

The traffic on that systems is estimated by the documents used for the actual lecture and communication systems appropriate for VIEW Classroom are studied and proposed.

1. はじめに

遠隔教育システム:VIEW Classroomは、ネットワークで接続したコンピュータを介し地域的かつ時間的に分散した教師と学生が行う指導や学習を効果的かつ円滑に支援する仮想教室システムである。著者らは、教師が文字・図形・動画で構成されたハイパーメディア教材を学生の画面へ提示して講義し、学生がその上へアンダーライン・記事・リンクを追加して自分向きのテキスト(ノート)を作成しながら受講するシステムを開発中である⁽¹⁾。

本稿では、VIEW Classroomのうち講義支援機能と、講義中の学生の反応を抽象化し、学生の状態を把握する機構の上での、トラフィックを評価するために、実際に講義に使用した資料をもとに、データ量を検討し、VIEW Classroomに適合する通信システムを評価検討したので報告する。

2. 遠隔教育システムの概要

図1はVIEW Classroomの概念構造である。

講義を支援する機能は教材の提示、ノートの作成、反応の表示に分けることができる。これらの機能と構造を説明する。

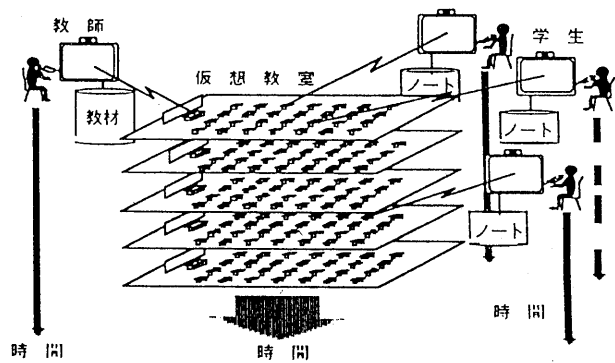


図1 VIEW Classroomの概念

2.1 教材の提示

提示方法には各学生がサーバの教材データを参照する方法と、教師が各学生のコンピュータへ送信する方法がある。

教師が教材を示すオブジェクトを黒板のオブジェクトへマウスで移動すると、全ての学生の画面に教材ウィンドウがあらわれ説明が始まる。

2.2 ノートの作成

学生は教材に対してアンダーライン・網かけ・色などの文字飾りや、メモ、関連する資料へのリンクを付け加えて独自のノートを作成する。

教師が説明する画像や声もノートデータベースとして学生のコンピュータへ記録され、再生して復習に利用される。

2.3 反応の表示

一般に遠隔教育では視線や表情によって学生の状態を把握するのは困難である。VIEW Classroomではノート作成や資料参照それに質問など、画面で行う学生の動作に注目し反応を収集する。収集したデータは教材や学生との関連を持たせて集計し、教師だけでなく学生全員へ表示し環境を共有する。

3. 教材のデータ量及びショートテストの場合の回答のデータ量

表1 教材のデータ量計算結果

3.1 教材のデータ量

教師から学生に送る教材として、

- (a) タイトル表示
- (b) ワープロ入力文書+手書き入力 (I)
- (c) ワープロ入力文書+手書き入力 (II)
- (d) ワープロ入力文書+手書き入力 (III)
- (e) 手書き入力のみ (I)
- (f) 手書き入力のみ (II)
- (g) 自然画 (イメージ)

| ケース | ワープロ入力文書/自然画 | 手書き入力部 |
|-----|--------------|-------------|
| (a) | 500 byte | — |
| (b) | 1,300 byte | 1,300 byte |
| (c) | 340 byte | 16,000 byte |
| (d) | 1,900 byte | 1,600 byte |
| (e) | — | 1,600 byte |
| (f) | — | 4,000 byte |
| (g) | 46,080 byte | — |

を、典型的なものとして採用し、データ量を検討した。

計算に際して①～④を仮定した。

- ① 文字は2バイトで表示する。
- ② 色は1バイト=28=256色を考える。
- ③ 円、線、四辺形等はファンクションを作って表示する。
- ④ ペン入力/マウス入力の手書きはレイヤーを別にして表示し、1/10圧縮して送るものとする。

計算の詳細については、省略するが、計算結果として表1が得られた。

(a)～(g)の平均値として85.28kbitと仮定する。

3.2 ショートテストの場合の回答のデータ量

ショートテストを実施する場合、各学生用コンピュータで入力した答えは、各コンピュータで採点する構造となっている。この採点結果を、学生から先生に送信する場合を検討した。

答えは、4, 2, 1, 8, 6の如く入力される。

答案及び採点結果は、テスト名、学籍番号、問題番号、採点結果(含配点)からなり、教師へ送信する。

回答として $2 \text{ byte} \times (5 \sim 100) \text{ケ} = 10 \text{ byte} \sim 200 \text{ byte}$

テスト各他 $2 \text{ byte} \times 10(\text{文字}) \times 5(\text{項目}) = 100 \text{ byte}$

であり、1,000人が回答した場合、 $\{(10 \sim 200) + 100\} \times 1,000 = 110 \sim 300 \text{kbyte}$ となる。

回答の最大値300 byte, テスト名等100 byte, 平均200 byte/人=1.6 kbit/人と仮定する。

4. 通信方式の提案

前章までに述べた遠隔教育に適したマルチメディア広域網(WAN)について、ISDN, フレームリレー, および衛星通信について検討し最適方式を提案する。

4.1 前提条件

最大伝送速度がB (b/s)である回線に、トランザクションあたり平均データ量u (bit), 平均発生率λ (トランザクション/s)である情報を伝送するものとし、トラフィックモデルをケンドールの記号でM/M/sとする。すなわち、呼の発生がポアソン分布, 呼の継続時間が指数分布, 利用できる回線数がsである。

教師側または学生側の端末からの送信時に、トラフィックの輻輳による遅延時間が τ_w (s) を超える確率が Q_w 以下とすることを条件とする。待ち行列の理論⁽²⁾ から、

$$Q_w = \frac{a^s}{s!} \cdot \frac{s}{s-a} \cdot e^{-(1-\rho)a/h} \cdot Q_0 \quad (4.1)$$

ここに a はトラフィック量 (Erlang), ρ ($= a/s$) は回線の利用率, h は平均保留時間 ($= u/B$), また

$$Q_0^{-1} = \sum_{r=0}^{s-1} \frac{a^r}{r!} + \frac{a^s}{s!} \cdot \frac{s}{s-a} \quad (4.2)$$

具体的なトラフィックモデルとして、前章の結果に基づき、次の例を用いて以降の検討を行う。

(1) 教師⇒学生

音声：7 kHz 放送級の圧縮音声，64 kb/s

ビデオ：圧縮動画，64 kb/s

1回に連続して伝送するトランザクションの平均情報量（教材データ）：85.28 kb/s

伝送効率：80%

トランザクションの平均データ量 (u)：85.28 kb/s / 0.8 = 106.6 kb/s

トランザクションの平均発生率 (λ)：1/分 = 1/60 s

(2) 学生⇒教師

音声：7 kHz 放送級の圧縮音声，64 kb/s

ビデオ：圧縮動画，64 kb/s

1回に連続して伝送するトランザクションの平均情報量（回答等）：1.6 kb/s

伝送効率：80%

トランザクションの平均データ量 (u)：1.6 kb/s / 0.8 = 2.0 kb/s

トランザクションの平均発生率 (λ)：テストの回答等は短時間に集中するので、学生一人あたり 0.1/s, 学生 p 人あたり 0.1 p /s

4.2 ISDN

基本インターフェース ISDN (64 kb/s の B チャンネル × 2 + 16 kb/s の D チャンネル) を 2 回線用いる場合について検討する。すなわち 1 回線を音声とビデオに (各 64 kb/s), 1 回線 (128 kb/s) をパーストデータに用いる。

(1) 教師側から学生側へ

平均伝送時間 (h) は $h = u/B = 106.6/128 = 0.833$ (s)

教師側の端末は 1 台で、回線についての競合は生じないのでトラフィックの輻輳による遅延はなく、 τ_w (s) = 0 である。

(2) 学生側から教師側へ

平均伝送時間 (h) は $h = u/B = 2.0/128 = 0.0156$ (s)

p 人の学生が 1 つのクラスに居て、上記の 2 回線の ISDN を共有する場合には、回線についての競合が生じる可能性がある。またパーストデータが使用できる回線数 (s) は 1 である。式 (4.1) よりトラフィックの輻輳による遅延時間 τ_w が 2 秒を超える確率 (Q_w) が 0.01 以上となるトラフィック a は 0.96 である。即ち、最大学生数は $p = 0.96 / (0.0156 \times 0.1) = 615$ である。

4.3 フレームリレー

基本インターフェース I SDN によるフレームリレー（例えば NTT のスーパーリレー FR サービス）の遅延時間は前項の I SDN の場合と同一と考えられるが、料金は異なる。

4.4 衛星通信

衛星通信方式として音声とビデオに周波数多重の 1 種である SCPC (Single Channel Per Carrier) を、バーストデータに符号多重であるスペクトル拡散（以下 SS : Spread Spectrum と略称する）を用いることを提案する⁽³⁾。

最近の通信衛星（例えば Super bird や JCSAT-3）の放射電力（EIRP : Equivalent Isotropically Radiated Power）は、テレビのビデオや高速のデジタルデータを直径 1 m 以下のアンテナで受信することができるほど、大きい。一方衛星への送信は、隣接衛星への妨害を避けるためアンテナのビームを細く、すなわちアンテナ直径を大きく（条件にもよるが概ね 1.5 m 以上が望ましい）しなければならない。このため送信機能を持つ地球局については、衛星の EIRP にはかなりの余裕があることになる。

ここでは、この余裕電力を活用してバーストデータを伝送することを提案する。すなわち、衛星中継器の全部または一部の周波数帯域を用いて、音声およびビデオを SCPC で伝送し、これと同一周波数帯でバーストデータを SS で伝送する。

以下、これらの同時伝送時の容量を計算する。まず、衛星からの受信電力と、他の回線からの干渉雑音および自回線の熱雑音からなる雑音電力の比は、所要の通信品質を満足するために必要な衛星からの下り回線の信号対雑音比（S/N 比） q_{d1} に、少なくとも、等しくなければならない⁽⁴⁾。すなわち、

$$q_{d1} = \frac{P_{r1} / R_1}{(sP_{r3} / W + N_0)} \quad (4.3)$$

$$q_{d2} = \frac{P_{r2} / R_2}{(sP_{r3} / W + N_0)} \quad (4.4)$$

$$q_{d3} = \frac{P_{r3} / R_3}{\{n_1 D_1 P_{r1} + n_2 D_2 P_{r2} + (s-1)P_{r3}\} + N_0} \quad (4.5)$$

ここに

- a) q_{d1} , q_{d2} , q_{d3} は所要の BER (Bit Error Rate) を達成するために必要な信号対雑音比であり、サフィックス 1, 2, 3 は音声, ビデオ, バーストデータに対応する（以下同様）。但し低速で持続時間の長いデータは音声とビデオに含めて考える。
- b) P_{r1} , P_{r2} , P_{r3} は回線当たりの受信電力である。
- c) R_1 , R_2 , R_3 は誤り訂正符号を含むビットレートである。
- d) D_1 , D_2 , D_3 は平均デューティ（動作率）である。
- e) N_0 はシステム雑音スペクトルである。
- f) W はバーストデータの拡散帯域幅である。
- g) n_1 , n_2 , n_3 は（半）回線数である。
- h) s はバーストデータの同時（半）回線数である。

式 (4.3), (4.4), (4.5) より

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_{r1} \\ P_{r2} \\ P_{r3} \end{pmatrix} = N_0 W \begin{pmatrix} q_{d1} \\ q_{d2} \\ q_{d3} \end{pmatrix} \quad (4.6)$$

ここに

$$\begin{aligned}
 a_{11} &= W/R_1, & a_{12} &= 0, & a_{13} &= q_{d1}s \\
 a_{21} &= 0, & a_{22} &= W/R_2, & a_{23} &= -q_{d2}s \\
 a_{31} &= -q_{d3}n_1D_1, & a_{32} &= -q_{d3}n_2D_2, \\
 & & a_{33} &= (W/R_3) - q_{d3}(s-1)
 \end{aligned} \tag{4.7}$$

式(4.6), (4.7)で与えられる連立1次方程式を解いて P_{r1} , P_{r2} , P_{r3} を求めることができる。

回線当たりの衛星のEIRP E_{s1} , E_{s2} , E_{s3} は電波伝ばんに関する次式より求められる。

$$E_{si} = L_d P_{ri} / \{n(\pi D_a / \lambda_d)^2\}, \quad i=1, 2, 3 \tag{4.8}$$

ここに, n , D_a , λ_d はそれぞれ, 地球局アンテナの効率, 有効直径, 受信電波の波長である。また L_d は降雨減衰や必要なシステムマージンをふくむ下り回線の電波の伝ばん損失である。平均EIRPの合計 E_{st} は

$$E_{st} = n_1 D_1 E_{s1} + n_2 D_2 E_{s2} + n_3 D_3 E_{s3} \tag{4.9}$$

具体例として, わが国の民間通信衛星を想定し, そのEIRP, E_s を $E_s = 54 \text{ dBW}$, 中継器の帯域幅 $B_t = 36 \text{ MHz}$, 下り回線の周波数を 12.5 GHz (波長 $\lambda_d = 2.4 \text{ cm}$)とする。

また地球局アンテナの効率を 0.6 , 有効直径を 1.5 m , 受信システム雑音温度を 200° K とし, 伝ばん損失 L_d は 212.0 dBW とする。

誤り訂正をFEC (Forward Error Correction)で, 拘束長7の8値軟判定ビタービ復号法を用いる場合の通信品質 (BER) とビットレートに対して必要な信号対雑音比 q_{di} を表2に示す⁽⁵⁾。

中継器の増幅動作を線形領域で行うため, その飽和 (最大) EIRPに対し 3 dB 以上の余裕 (バックオフという) を持つ条件で, 音声 (半) 回線数 n_1 , ビデオ (半) 回線数 n_2 に対するバーストデータの同時 (半) 回線数 s を求める。

表2 ビットレート、通信品質と必要な信号対雑音比

| 項目 | データレート | FECレート | 伝送レート | BER | S/N |
|-----|---------|--------|-----------|-----------|------|
| 音声 | 64kb/s | 7/8 | 73.1kb/s | 10^{-4} | 3.55 |
| ビデオ | 64kb/s | 3/4 | 85.3kb/s | 10^{-6} | 3.98 |
| データ | 128kb/s | 3/4 | 170.7kb/s | 10^{-7} | 4.57 |

音声とビデオは4相位相変調 (QPSK) の場合, それぞれ1 (半)回線の帯域幅が 50 kHz と 60 kHz であるので, $n_1 = 600$, $n_2 = 100$ のとき中継器の全帯域幅である 36 MHz を占める。このときのデータの同時 (半) 回線数 s を求めると, $s = 10$ においてバックオフ 3.7 dB となる。SS回線の最大容量 s に対して, m を正整数とするとき, 同時に存在する呼 (バーストデータ) の数 r が, $r \leq s - m$ のときは各地球局は送信できるが, $r \geq s - m + 1$ のときは送信せずバッファに一時蓄積する。 $r = s - m$ のときに1つの呼が生じたとき, 他の地球局は衛星までの電波の往復時間と中継器上の呼数を検出する回路の遅延時間の和 τ_s 秒間はこの発呼を検知できない。

この τ_s 秒間に他の m 基の地球局が発呼し, $r > s$ となる確率 Q_c は, 呼の平均発生率を λ として

ここに Q_{s-m} は $r = s - m$ である確率で

$$Q_{s-m} = \frac{a^{(s-m)}}{(s-m)!} Q_0 \quad (4.11)$$

で与えられる。ただし Q_{s-m-1} 以下の項は高次の微量となるので無視した。 Q_0 は式 (4.2) において s のかわりに $s - m$ とおいたものである。

前に求めた $s = 10$ のとき m を変えて、トラフィックの輻輳による呼の衝突確率が 10^{-4} 以下で遅延時間 (τ_w) が $2s$ を超える確率 (Q_w) を 0.01 以下とすることを条件に、伝送しうるトラフィック量 a を上式から計算すると図2のようになる。ここで $m = 2$ のとき a は最大となり、 $a = 6.4$ である。教師から学生側への伝送時は、最大 (半) 回線数は

$$n_3 = a / (\lambda h) = 6.4 / (0.833 \times 1 / 60) = 461$$

学生側から教師への伝送時は、最大 (半) 回線数は $n_3 = a / (\lambda h)$

$$= 6.4 / (0.0156 \times 0.01 \times 100) = 410 \quad \text{となる。}$$

ただし学生数 100 、中継器全体のトラフィックでのトランザクションの平均発生率を 0.01 とした。

4.5 経済性の検討

(1) ISDN

ISDN基本サービスの料金を表3に示す。

表3 ISDN基本サービスの料金 (NTT)

| 基本料 (円/月) | 距離(km) | 区域内 | | | | | | |
|--------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|------|-------------|----------|
| | | | ~20 | ~30 | ~60 | ~100 | 100 ~160 | 160 ~ |
| 3,630 | 64kb/s当り (円/3分) | 10 | 20 | 40 | 50 | 80 | 140 | 180 |

ISDN基本サービス2回線あたりの通話料は上記通話料の4倍となる。

1回90分、1日1回、週5日、年30週使用するとして距離に対する年間費用を図3に示す。

(2) フレームリレー

128kb/sのフレームリレーサービスの料金は

基本料と機器(DSU)等の使用料(円/月) : 78,760

通信料(フレーム長512オクテットのとき)(円) : 0.08

音声とビデオにISDN基本サービスを1回線使用し、データにこのフレームリレーサービスを1回線使用するものとする。1回90分、1日1回、週5日、年30週使用するとして距離に対する年間費用を図3に示す。

(3) 衛星通信

衛星中継器あたり年経費を6億円とし、この40%を音声、10%をビデオ、50%をデータで負担するものとする。最繁時集中率を0.2とすると、1双方向回線3分あたりの中継器経費(円)は

$$\text{音声} : (2 \times 600,000,000 \times 0.4) / (365 \times 24 \times 0.2 \times 20 \times 600) = 22.8$$

$$\text{ビデオ} : (2 \times 600,000,000 \times 0.1) / (365 \times 24 \times 0.2 \times 20 \times 100) = 34.2$$

$$\text{データ} : (1 \times 600,000,000 \times 0.5) / \{(365 \times 24 \times 0.2 \times 20) / (1/461 + 1/410)\} = 39.5$$

この衛星回線を1回90分、1日1回、週5日、年30週使用するとして年間費用を図3に示す。

ただし地球局2局の年経費を100万円とした。

(4) 経済性の比較

図3より50 km以下ではISDNが、50 km以上では衛星通信が経済的で、フレームリレーは距離に関係なく高価である。これはデータ量がフレームリレーのメリットが出るほど多くないからであろう。

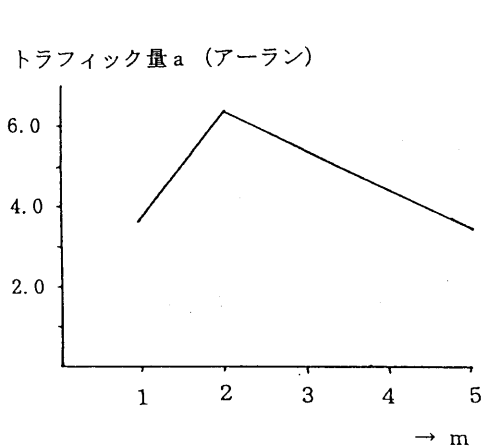


図2 SSで伝送できるトラフィック量

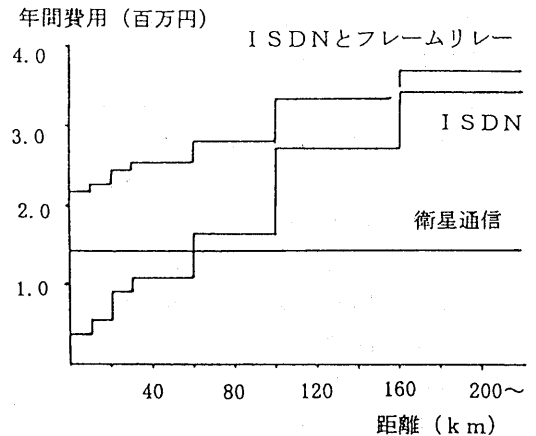


図3 メディアによる通信費用の比較

5. 結論及び謝辞

遠隔教育システム VIEW Classroom について、実際の講義に使用した教材と学生の反応例に基づいて伝送データ量を計算し、広域網としてISDN基本サービス、フレームリレーおよび衛星通信を使った場合について比較検討を行った。衛星通信方式として、音声、ビデオはSCPCで周波数多重して伝送し、これらと同一の周波数帯でスペクトル拡散したデータを伝送することを提案した。最近の高出力の通信衛星では、送受信機能をもつ地球局に対しては中継器出力に余裕があることが多く、この余裕出力を利用して新たな周波数を消費することなくデータを伝送できることを確認した。この結果、50 km以上では衛星通信が最も経済的である結論が得られた。

遠隔教育システムVIEW Classroomについては、京大工学部情報工学科上林教授にご教示頂きました。感謝いたします。

参考文献：

- (1) O. Kagawa, K. Katayama, S. Konomi and Y. Kambayashi, Capturing Essential Questions Using Question Support Facilities in the VIEW Classroom, Proceedings of DEXA '95, September, 1995
- (2) 秋丸、川島：“情報通信トラヒッカー基礎と応用”、電気通信協会、オーム社刊
- (3) 三好、増井：“スペクトル拡散マルチメディア衛星通信システム”、信学技報 SAT-94-60, pp. 35-42, (1994).
- (4) 横山：“スペクトル拡散通信システム”、科学技術出版社刊
- (5) 安田、平田、小川：“ヴィタビ復号の容易な高符号化率たたみ込み符号とその諸特性”、信学論、J64-B-7、pp. 573-580(1981).