

情報サービスの価格決定に関するゲーム論的考察

古賀 健太郎* 櫻井 幸一†

*九州大学 工学部 電気情報工学科

†九州大学システム情報科学研究科

〒812-81 福岡市東区箱崎6-10-1

Phone.092-641-4050 Fax.092-632-5204

sakurai@csce.kyushu-u.ac.jp

概要 インターネットの運営は顧客に対して公平に扱い、ネットワークにアクセスすることのみ料金が課せられてき、そしてそれは爆発的な成長に貢献したが、遅れや損失に対しての不満が広がっている。それらが Quality of Service (QoS) の発達を促しているが違った質のサービスに対しては違った料金が課せられるべきである。そこでデータ転送に対する2つのタイプの要求、混雑に対する敏感さの違う場合を考え、3つのネットワークのモデルについて考察する。[FO98]では3つのネットワークの最低料金を比較した場合には、急激な成長をとげ、使用量が急増する状況においては3つのネットワークの料金はほとんど変わらず、その場合には単一型を選択すればより高いQoSを利用でき、料金体制も簡略化できるという結論に達していたが、果たして他の観点から解析した場合にも同様の結論に達するだろうか。本稿では、利益を最大化する場合と2つのネットワークが両立できるのかという点について解析をおこなった。

キーワード: ネットワークの利用率, quality of Service, コストと利益

A Game Theoretical Approach of Differential Pricing for the Internet

Kentarou KOGA* and Kouichi SAKURAI †

*Department of electrical Engineering and Computer Science

†Department of g and Computer Science Communication Engineering

Kyushu University

6-10-1 Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka 812-01, Japan

Phone.092-641-4050 Fax.092-632-5204

Corresponding to sakurai@csce.kyushu-u.ac.jp

Abstract: The simple model on which the Internet has operated, with all packets treated equally, and charges only for access links to the network. However, there is wide dissatisfaction with the delays and losses. Differential quality will also force differential pricing. The implications of such an environment are explored by considering models with two types of demand for data transport, differing in sensitivity to congestion, three network configurations. According to [FO98], in a dynamic environment of rapid growth in traffic and decreasing prices, three prices are approximately equal. So if users use one-price network providing high QoS, they attain a simple charging mechanism. However, can we get the same conclusion in other environment? We consider in case the networks maximize their profits and a possibility networks can be compatible.

Keywords: network utilization, quality of service, cost and revenue

1 概要

インターネットの運営は顧客に対して最大限のサービスを均一に提供し、料金は接続のバンド幅に対してのみ課金され、送受信するデータの量とは全く無関係である。そしてそれは爆発的な成長に貢献したが、Quality of Service (QoS) の欠如を招き、遅れや損失に対しての不満が広がっている。それは同時に QoS の発達を促しているが違った質のサービスに対しては違った料金が課せられるべきである。インターネットの経済に関しては [McKnightB], または特に [MacKieMV] 参照されたい。これらの特徴は運営と経済の簡略化に貢献し、インターネットの発展をもたらした。

QoS の欠如、料金設定に対する批判がありつづけてきたが、いまだにそれらを納得させるシステムの修正はなされていない。しかし、変化が今にも起きそうである。一般のインターネットの一部での混雑に対する不満、電話通信やビデオ映像会議などの遅れに敏感なアプリケーションへの QoS の供給の必要性が伝送の扱いの違いに関する要望をもたらしている。同様の不満が法人側からも寄せられている。私的なネットワークは同じ IP 技術を用いており、公的なインターネットよりもはるかに規模が大きく [CoffmanO], 低い利用率で高い QoS を提供している [Odlyzko1]。しかしながら、バンド幅の上昇の要望により法人ネットワーク運営者もまたネットワーク利用のより効率化のために優先順位のような方法を望んでいる。サービスの質の違いは全ての通信路を最も高い QoS で送らないようにするため、必然的に以前よりも複雑な料金設定となる。利用価格が上昇する状況では QoS の違いを出したり、さらに精密な料金システムが急増するデータ転送を手ごろな価格で利用するためには不可欠である。

ならば現在のインターネットのシンプルな料金体制を放棄しなければならないのか。異なる QoS を提供するために通信路を割いたり、複雑な料金体制はアプリケーションやネットワークシステムの開発者やオペレーターに負担を強いることになる。さらに簡単な固定料金制を顧客が好むという傾向もある [FishburnOS]。しかし、現行の均一な料金と最大限のデータ転送サービスは魅力だが、欠点も数多くある。単一のサービスではユーザーの必要に応じた選択ができない。さらなる伝統的なインターネットのモデルの放棄の議論については [McKnightB] を参照されたい。

そこでデータ転送に対する 2 つのタイプの要求、混雑に対する敏感さの違う場合を考え、3 つのタイプのネットワークについて解析する。

- (1) 2 つのタイプに分かれているネットワーク
- (2) 1 つのタイプのみで均一的に高い QoS を提供するネットワーク
- (3) 一つのネットワークであるが、異なる QoS を提供できるネットワーク

[Odlyzko1] によれば現在のネットワークは非効率な (1) と (2) の融合である。伝送するデータが遅れに敏感であるかないかに関わらず、混雑した通信路または利用率の低い通信路上で全てに均一で最大限のサービスを提供するという点で (1) と (2) の融合といえる。(1) を単一型ネットワーク、(2) を並列型ネットワーク、(3) を二層型ネットワークと呼ぶことにする。

[FO98] では最大の解決法は要求に対しての対処と技術的な進歩に依存するが長い目で見れば全てに高い QoS を提供するのが良いのではないか。追加料金もそう高くはないと [FO98] 結んでおり、(1)、(2)、(3) のネットワークの最低料金を比較した場合、急激な成長をとげ、使用量が急増する状況においては 3 つのネットワークの料金は 1,2 期間ではほぼ同じとなりほとんど違いはない。その場合には単一型ネットワークを選択すればより高い QoS を利用でき、料金体制も簡略化できる。急激なデータ伝送のコストの減少が生じているならば、料金システムの簡略化と比べれば料金の違いなど微々たるものであるという結論に達していた。

しかし、果たして他の観点から解析した場合にも同様の結論に達するだろうか。また、それぞれのネットワークが両立可能であるのか。本稿は利益を最大化する場合と (1)、(2) が両立できるのかという点について解析をおこなった。利益を最大化する場合には [FO98] と同様の結論に達したが、並列型と単一型が両立し、価格競争した場合には並列型は単一型が利益が生じない価格でも利益を挙げられるという結果になった。

2 Fishburn と Odlyzko のモデル

2.1 データ転送に対する 2 つのタイプの要求

Quality of Service(QoS) に対する要求のタイプが次の 2 つであると仮定し、タイプとその要求を持つお客を次のように定める。

1. A : 情報の伝送の遅れに対して敏感でなくてもよい

ファイル、Eメールの伝送など

2. B:情報の伝送の遅れに対して敏感
電話通信、映像会議など

BはAよりも高いQoSを必要とする要求である。そして一期間内において価格がゼロであった場合に使用するインターネットの伝送の全使用量をA、Bそれぞれについて V_A, V_B とおく。

実際の使用量は価格によって変動するので価格 x のときにそれぞれのタイプで使用する量を $P(x)V_A, P(x)V_B$ と定める。 $P(x)$ が価格が x のときにそのサービスを利用する割合とする。 $P(0) = 1$ 、 x が増加していけば $P(x)$ は減少していく。

そして利用率として全体の何%が使用されたかを要求に対する満足度とし、 $100P(x)$ で表現する。

2.2 A, Bに対するネットワークの種類

A, Bに対するネットワークの種類として次の3つを考える。

1. 並列型ネットワーク

物理的にA, Bそれぞれに対してネットワークを持ち、A, Bに対してそれぞれ異なるコスト、QoS、価格の特徴を持つ。

2. 単一型ネットワーク

一つのネットワークでA, Bに対してともに価格が均一で、Bが求める高いQoSを提供する。

3. 二層型ネットワーク

A, Bに対して一つのネットワークしか使用しないがソフトウェアによって論理的に分割され、A, Bそれぞれに対して異なる価格とQoSを提供できる。

2.3 ネットワークの売上とコスト

期間ごとの価格 x における売上 R をA, Bそれぞれについて次のように定める。

$$\begin{aligned} R_A &= xP(x)V_A \quad \text{for A} \\ R_B &= xP(x)V_B \quad \text{for B} \end{aligned}$$

より大きな伝送量やバンド幅の伝送量やバンド幅の単位あたりの価格はより小さなものよりは高くないはずであるが、実際はそうとは限らない。伝送量に比例するコストを適度に調整するために、 s 乗する必要がある。ここで s はeconomy-of-scaleと呼ばれるパラメータで、0.5から0.7の範囲である。 s は遅いスピードで大きな容量を持つネットワークを提供するのに必要な多重送信技術の必要性の減少や販売、管理、メンテナンス、関連する運営のコストの減少から生じる。ここでは $s = \frac{2}{3}$ と定める。これは長距離電話通信の価格の統計に当てはまる数字である。

価格 x のときの利用量 $P(x)V$ のときにA, Bそれぞれにかかるコスト C を次のように定める。

$$\begin{aligned} C_A &= (P(x)V_A)^s \quad \text{for A} \\ C_B &= (\psi P(x)V_B)^s \quad \text{for B} \end{aligned}$$

ψ はBのより高いコストとQoSに考慮に入れたパラメータである。

2.4 コストの変動パターン

1. Conventional pattern

V を1期間ごとに2倍していく。2期間後のコストは

$$\begin{aligned} C_A &= (P(x)2^2 V_A)^s \quad \text{for A} \\ C_B &= (\psi P(x)2^2 V_B)^s \quad \text{for B} \end{aligned}$$

しかし、競争や技術の進歩によってコストはconventional patternで与えられるコストよりも低くなるはずである。そこで次のようなパターンも設ける。

2. dynamic pattern

競争や技術の進歩の効果を考慮に入れ、1 期間ごとに $\sqrt{2}$ で割ることとする。2 期間後のコストは

$$\begin{aligned} C_A &= (P(x)V_A)^s 2^{s-\frac{1}{2}} \quad \text{for A} \\ C_B &= (\psi P(x)V_B)^s 2^{s-\frac{1}{2}} \quad \text{for B} \end{aligned}$$

3 Fishburn と Odlyzko の評価

Fishburn と Odlyzko は売上 = コストの場合の価格 x , 売上 R , 要求の満足度について評価している。売上 = コストの式は次のようになる。

1. 並列型ネットワーク

$$\begin{aligned} xP(x)V_A &= [P(x)V_A]^s \quad \text{for A} \\ yP(y)V_B &= [\psi P(y)V_B]^s \quad \text{for B} \end{aligned}$$

2. 単一型ネットワーク

$$xP(x)(V_A + V_B) = [\psi P(x)(V_A + V_B)]^s$$

3. 二層型ネットワーク

$$xP(x)V_A + yP(y)V_B = [P(x)V_A + (y)V_B]^s$$

3.1 1 期間での比較

$P(x)$ として次の 3 つを用いる。

$$P_1(x) = e^{-x^2} \quad \text{for } x \geq 0$$

$$P_2(x) = \frac{e^{-x}}{1+x} \quad \text{for } x \geq 0$$

$$P_3(x) = \frac{1}{1+x^4} \quad \text{for } x \geq 0$$

$s = \frac{2}{3}, V_A = V_B$ とする。 $V_1=32, V_2 = 64V$ とし、例として $\{V_1, V_2\} \times \{P_1, P_2, P_3\}$ の場合を考える。単一型の価格は並列型 A, B の中間の値であった。 P_2 の価格は P_1, P_3 に比べて多少高いが、 V_2 では急激に下落し、差はほとんどなくなる。 B の価格は A の価格に対して 2 ~ 3.5 倍であった。要求に対する満足度は P_1, P_3 は P_2 よりも大きく、並列型の合計は単一型とほぼ同じであった。売上は当然 V_1 よりも V_2 のほうが高かったが、economy of scale の影響で 64 倍の増加とはならなかった。いくつかの例外を除けば B の価格は単一型のほうが二層型よりも低い。売上は単一型のほうが二層型よりも高いが、要求の満足度では逆であった。

3.2 t 期間後の比較

期間を $t=0$ から 11 までの場合を比較している。二層型の結果は 1 期間での比較と同じ結果になった。3 つのネットワークの売上を比較すると二層型は最も低いか中間であった。単一型の価格は常に並列型 A, B の間であった。Conventional pattern を適用した時には並列型 A, B の中間、dynamic pattern を適用した時には A により近づいていく。要求の満足度では単一型と並列型の変化はほとんど同じであった。 $t = 10$ までに 100 近い利用率であって、 t が大きくなるほど $P(x)$ の違いはなくなってしまう。売上は単一型がわずかに上回っているが、差はほとんどない。単一型では B は明らかに有利で、 A は約 30 以上並列型に比べて価格が高い。しかし、1,2 期間後には価格はほとんど等しくなってしまう。よって A にとってはそう悪い状態ではなく、単一型の提供する高い QoS を利用できる利点がある。

4 未解決な問題

Fishburn と Odlyzko の評価では利益を最大化しようとした場合の比較やそれぞれ他のネットワークと価格競争したときにはネットワークは両立しうるのか、どのような結果になるかとの考察はなされていない

なかった。利用量が急激に増加する状況下では価格はネットワーク間でさほど変わらず、その場合は単一型が高い QoS を利用できて、料金体制も簡略化できるメリットのあるネットワークであるとの結論であったが実際にはこれらの要素が考慮されるべきである。そこでこれまで売上＝コストの場合の価格 x について考察してきたが、一定の条件を与え、その場合の価格 x について考察した。

まず、ネットワークの評価にあたって次の 2 つを用いる。

売上を R 、コストを C とする。価格 x における利益 I を $I = R - C$ 、また売上に占めるコストの割合を $S = \frac{C}{R}$ とする。

4.1 1 期間での比較

表 1 は $P(x) = P_1(x) = e^{-x^2}$, $\psi=3, V_A = V_B=32$, 二層型 B は A の 2 倍の価格としたときの結果である。利益で評価するとすると s の影響により、二層型が最も利益を挙げ、単一型は最も利益が挙げられないとなった。これはコストの売上に占める割合 S が大きいためであるが、必ずしも S が最も低い時に利益が最大になるわけではない。 S が最も低い値になるときは 3 つのネットワークとも同じである。これは A, B ともに共通の $P(x)$ を用いているからで、今後の改善すべき点である。

表 1: ネットワーク間の比較

x	並列型 A		並列型 B		単一型		二層型	
	S	I	S	I	S	I	S	I
0.1	3.16	-6.8	6.57	-17	5.22	-13	2.66	-15
0.2	1.60	-3.7	3.32	-14	2.64	-10	1.37	-6.3
0.3	1.08	-0.7	2.25	-11	1.79	-6.9	0.95	1.17
0.4	0.83	1.84	1.73	-7.9	1.37	-4.0	0.75	6.17
0.5	0.68	3.93	1.42	-5.3	1.13	-1.6	0.63	8.90
0.6	0.59	5.47	1.23	-3.1	0.98	0.31	0.56	9.85
0.7	0.53	6.45	1.10	-1.4	0.87	1.72	0.51	9.73
0.8	0.49	6.92	1.01	-0.2	0.80	2.64	0.48	9.07
0.9	0.46	6.94	0.95	0.60	0.76	3.11	0.45	8.20
1.0	0.44	6.60	0.91	1.01	0.73	3.23	0.44	7.27
1.2	0.42	5.24	0.88	1.07	0.70	2.73	0.42	5.38
1.4	0.43	3.58	0.90	0.63	0.71	1.81	0.43	3.60
1.6	0.46	2.13	0.96	0.15	0.76	0.94	0.46	2.13
1.8	0.52	1.09	1.07	-0.2	0.85	0.34	0.52	1.10
2.0	0.60	0.47	1.24	-0.3	0.99	0.02	0.60	0.47

4.2 利益最大化の場合の比較

並列型 A, B の価格を a, b 、単一型の価格を c とおく。利益 $I = \text{売上} R - \text{コスト} C$ を最大化する価格をそれぞれ $\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}$ ($\bar{a}, \bar{b}, \bar{c} > 0$) とすると

$$\bar{a} < \bar{c} < \bar{b}$$

ただし、 $P(x) = e^{-x^2}$, $\psi=3, V_A = V_B$ とする。

しかし、 V が増大するにつれその差は 0 に近づいていく。よって利益最大化の場合も利用量が急激に増加する状況下では価格はネットワーク間でさほど変わらず、その場合は単一型が高い QoS を利用できて、料金体制も簡略化できるメリットのあるネットワークであるとの Fishburn と Odlyzko と同様の結論に至った。

4.3 価格競争の場合

並列型と単一型が同時に存在、客の移動があるとする。並列型 A, B の価格を a, b 、単一型の価格を c とおく。

- A のうち $\min(b, c)$ の価格を支払ってもよい $P(\min(b, c))V_A$ は並列型 B または単一型のうち価格が低い方を選択する。

- Aのうち $[P(b) - P(\min(b, c))]V_A$ は並列型 A を選択する。
- 並列型の B と単一型は同じ価格 $b = c$ であるならば、共に $P(b)V_B/2$ を扱う
- B は並列型の B と単一型のうち価格の安い方を選択する

このとき、それぞれの売上とコストは次の式で表される。

並列型 A の売上とコストは

$$R(a) = a[P(a) - P(\min\{b, c\})]V_A \quad C(a) = [P(a) - P(\min\{b, c\})]V_A^s$$

並列型 B の売上とコストは

$$R(b) = bP(b)(V_A + V_B) \quad C(b) = [\psi P(b)(V_A + V_B)]^s \quad b < c$$

単一型の売上とコストは

$$R(c) = cP(c)(V_A + V_B) \quad C(c) = [\psi P(c)(V_A + V_B)]^s \quad b > c$$

$b = c$ の場合は

$$R(b) = R(c) = bP(b)(\frac{V_A}{2} + V_B) \quad C(b) = C(c) = [\psi P(b)(\frac{V_A}{2} + V_B)]^s$$

$P(x) = e^{-x^2}$, $\psi = 3$, $V_A = V_B$ とする。 a^* を $I(b) = 0, I(c) = 0$ となる b, c より低い値とする。このとき、ある価格 b^*, c^* で並列型、単一型の利益 $I(a^*), I(b^*), I(c^*)$ は

$$\begin{aligned} I(c^*) &< 0 \\ I(a^*) + I(b^*) &> 0 \end{aligned}$$

となる。よって価格競争が生じた場合には単一型は維持できずに両立し得ないことになってしまう。価格競争が生じる場合は並列型が有利との結果になった。

5 今後の課題

A と B のお客は利用しても良いと考える価格帯は異なるはずである。課題点は A、B に適した価格帯の分布を考え、その場合にも同じ結果が得られるかの検証や二層型を交えて価格競争した場合にはどのような結果が得られるかなどが挙げられる。

参考文献

- [FO98] B.P.C. Fishburn and A.C. Odlyzko, Dynamic behavior of differential pricing and Quality of Service options for the Internet, Proc. First Intern. Conf. on Information and Computation Economics (ICE-98), ACM Press, 1998, pp. 128-139.
(<http://www.research.att.com/amo/doc/networks.html>).
- [AnaniaS] L. Anania and R. J. Solomon, Flat—the minimalist price, pp. 91-118 in *Internet Economics*, L. W. McKnight and J. P. Bailey, eds., MIT Press, 1997. Preliminary version in *J. Electronic Publishing*, special issue on Internet economics, (<http://www.press.umich.edu/jep/>).
- [Boardwatch] *Boardwatch* magazine, (<http://www.boardwatch.com/>).
- [CoffmanO] K. G. Coffman and A. M. Odlyzko, The size and growth rate of the Internet, *First Monday*, vol. 3, no. 10 (October 1998), (<http://www.firstmonday.dk/>). Also available at (<http://www.research.att.com/~amo>).
- [FergusonH] P. Ferguson and G. Huston, *Quality of Service: Delivering QoS on the Internet and in Corporate Networks*, Wiley, 1998.
- [FishburnOS] P. C. Fishburn, A. M. Odlyzko, and R. C. Siders, Fixed fee versus unit pricing for information goods: competition, equilibria, and price wars, *First Monday*, vol. 2, no. 7 (July 1997),

<http://www.firstmonday.dk/>). Also to appear in *Internet Publishing and Beyond: The Economics of Digital Information and Intellectual Property*, D. Hurley, B. Kahin, and H. Varian, eds., MIT Press. Available at <http://www.research.att.com/~amo>.

[Harms] J. Harms, From SWITCH to SWITCH* - extrapolating from a case study, *Proc. INET'94*, pp. 341-1 to 341-6. Available at <http://info.isoc.org/isoc/whatis/conferences/inet/94/papers/index.html>.

[Irvin] D. R. Irvin, Modeling the cost of data communication for multi-node computer networks operating in the United States, *IBM J. Res. Develop.* vol. 37 (1993), pp. 537-546.

[Leida] B. Leida, A cost model of Internet service providers: Implications for Internet telephony and yield management, M.S. thesis, department of Electr. Eng. and Comp. Sci. and Technology and Policy Program, MIT, 1998. Available at <http://www.nmis.org/AboutNMIS/Team/BrettL/contents.html>.

[MacKieMV] J. K. MacKie-Mason and H. R. Varian, Economic FAQs about the Internet, pp. 27-62 in *Internet Economics*, L. W. McKnight and J. P. Bailey, eds., MIT Press, 1997. A version is available in *J. Electronic Publishing*, special issue on Internet economics, <http://www.press.umich.edu/jep/>.

[McKnightB] L. W. McKnight and J. P. Bailey, eds., *Internet Economics*, MIT Press, 1997. Preliminary version of many papers available in *J. Electronic Publishing*, special issue on Internet economics, <http://www.press.umich.edu/jep/>.

[MitchellV] B. M. Mitchell and I. Vogelsang, *Telecommunications Pricing: Theory and Practice*, Cambridge Univ. Press, 1991.

[Odlyzko1] A. M. Odlyzko, Data networks are lightly utilized, and will stay that way. Available at <http://www.research.att.com/~amo>.

[Odlyzko2] A. M. Odlyzko, The economics of the Internet: Utility, utilization, pricing, and Quality of Service. Available at <http://www.research.att.com/~amo>.

[Rendleman] J. Rendleman, Connectivity crunch stymies IT access to high-speed lines, *PCWeek*, April 13, 1998, pp. 1 and 20. Available at <http://www.zdnet.com/pcweek/news/0413/13t1.html>.

[Steinberg] S. G. Steinberg, Netheads vs. Bellheads, *Wired*, 4, no. 10 (Oct. 1996), pp. 144-147, 206-213. Available at <http://www.wired.com/wired/4.10/features/atm.html>.

[UUNet] UUNet Access Services, available at http://www.us.uu.net/html/access_services.html.