

응용서비스 제공자와 망사업자간의 계약 설계에 관한 연구¹⁾

Design of a Contract between an Application Service Provider and a Network Service Provider

모정훈*, Richard J. La**

* 한국정보통신대학교 공학부 (jhmo@icu.ac.kr)

** University of Maryland, College Park (hyongla@umd.edu)

Abstract

본 논문에서는 응용서비스 제공자가 망사업자의 망을 이용하여 응용서비스를 제공하고 망사업자에게 사용대가를 지불하는 경우를 다루었다. 우리는 Stackelberg 게임을 이용하여 두 사업자간의 계약(contract)설계 문제를 정형화하였고 이 게임의 균형점(equilibrium)이 유일하다는 것을 보였고 또 이 균형점이 망사업자의 위험선호도에 따라서 어떻게 바뀌는지를 고찰하였다.

1. 서론

지난 수년동안 많은 연구자들이 망의 과금문제(Network Pricing)를 관심을 가졌었고 여러 다른 각도에서 연구를 하였다. 적절한 망과금 메카니즘을 설계하는 것은 망서비스를 제공하는 데 소요된 제반 비용을 회수하고 또 새로운 서비스를 시작한다거나 기존의 설비를 확충하는데 있어 중요하다. 이러한 연구들중 몇가지를 열거한다면 다음과 같다. Mackie-Mason과 Varian은 혼잡이 발생하는 망에서의 과금문제를 연구하였고 서로 다른 과금방법들이 성능과 산업구조에 미치는 영향을 연구하였다 [10]. Kelly는 그의 우수한 연구에서 인터넷의 중요한 자원인 대역폭 할당 방법을 제안하였다. 그의 프레임에 기반하여서, 그는 동료와 함께 과금이 망의 혼잡도와 연관이 되는 종량제(Usage based pricing) 방법을 제안하였다[6]. He와 Walrand [4] 그리고 Shakkottai와 Srikant는 여러 인터넷 서비스 사업자가 있는 경우 그들간의 과금문제를 연구하였다.

본 논문에서 우리는 응용서비스업자와 망사업자간의 상호작용에 관한 연구를 한다. 이 응용서비스업자는 망사업자가 가지고 있는 망을 이용하여 새로운 서비스를 제공하고자 한다. 응용서비스업자는 자신이 망을 소유하고 있지 않기 때문에 손님(customer)에게 바로 서비스를 제공하지 못하고 망사업자를 이용한다. 따라서 서비스업자는 망사업자를 고용하여 서비스를 제공하고 그 댓가로 사용비용을 지불

한다. 사용 비용은 두 사업자간에 미리 정해놓은 계약에 따라서 지급한다. 예를 들면 주변지역 식당 혹은 프로모션등을 광고하는 서비스를 제공하려고 하는 위치기반서비스(Location based Service) 사업자를 고려해보자. 위치기반서비스 사업자가 무선 셀룰라망을 직접 보유하고 있지 않다면 이 사업자는 망사업자의 망을 이용할 수 밖에 없다.

우리는 본 논문에서 이 두 사업자(혹은 참가자)간의 적절한 계약 설계하는 문제를 다룬다. 응용서비스사업자가 먼저 망사업자에게 계약을 제시하면 망사업자는 그 계약을 받아들여든지 아니면 거절한다. 만약 망사업자가 계약을 받아들여지면 망사업자는 그 서비스를 위하여 얼마만큼의 자원을 사용할 것인가를 결정하고 그 노력에 따른 결과에 따라서 비용을 지급받는다. 그 결과는 두 가지 요소에 의해서 영향을 받는다. 첫 번째 요소는 망사업자의 노력(effort)이다. 두 번째는 망사업자가 제어할 수 없는 부분인데 이 부분은 서비스사업자와 망사업자 둘다 알 수 없는 부분이고 계약이 주어졌을 때 알 수 없는 부분이다. 우리는 두 번째 부분을 확률 변수(random variable)로서 모델한다.

이 두 사업자는 모두 자신만의 평균 기댓값을 최대화하려고 한다는 점에서 이기적이다. 응용서비스사업자는 손님으로 받은 수입에서 망사업자에게 주는 망사용 비용을 뺀 이득을 최대화하려고 한다. 망사업자는 서비스사업자로부터 받은 비용에서 망서비스를 하는데 드는 비용을 뺀 이득을 기반으로 한 효용함수(utility)를 최대화하려고 한다. 여기서 비용은 서비스를 제공하는데 든 망사업자의 노력의 함수이다.

우리는 게임이론을 이용하여 이 두사업자간의 상호작용을 연구한다. 게임이론은 최근 다수의 이기적이고 비협조적인 참가자들간의 상호작용을 모델링하고 연구하는데 성공적으로 사용되었다 ([8], [11], 그리고 [12]를 참조하시오). 특히 우리는 Stackelberg 게임을 이용한다. 이 게임은 리더와 추종자간에 시간을 두고 발생하는 모형인데 우리 문제에서는 응용서비스업자가 리더, 그리고 망사업자가 추종자이다. 비슷한 유형의 모델이 Korilis의 라우팅 문제에

1) 본 논문은 2007년 BK21의 지원으로 이루어졌습니다.

또 Basar와 Srikant의 et al.의 수익최대화문제 등에 응용되었다. 망사업자의 유형이 계약을 체결할 당시 알려져 있지 않기 때문에 우리가 다루는 문제는 불완전 정보(Incomplete Information)하의 게임이다.

우리가 고려하는 두 사업자간의 계약은 응용서비스업자가 망사업자에게 고정비용과 그리고 실적에 비례해 주는 성과비로 구성된 선형형태의 계약이다. 우리는 먼저 평형점(equilibrium)의 존재와 그의 유일성을 정리 1에서 보인다. 그리고 효용함수에 의해 표현되어있는 위험선호도의 정도가 서비스사업자의 최적계약에 어떤 영향을 미치는지를 조사하였다. 우리는 이 연구를 통하여 몇 가지 흥미로운 점을 파악하였고 이를 정리 2를 통하여 보여준다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 우리 문제를 정형화하였고 이 모델의 가정등에 대하여 설명한다. 3절에서는 망사업자와 서비스사업자간의 상호작용을 위해 도입된 Stackelberg 게임에 대하여 설명한다. 우리의 주된 연구결과는 4절에 그리고 시뮬레이션 결과는 5절에 제시된다. 다음절에는 우리가 사용하는 모델과 연관되는 비슷한 모델에 관한 토론을 적고 논문의 결론은 7절에 있다.

2. 모델

2.1 응용서비스업자와 망사업자

우리의 게임은 응용서비스업자와 망사업자 두명이 참가한다. 응용서비스업자는 서비스를 제공하기 위하여 망사업자의 망을 사용하고 이에 따른 비용을 계약 ξ 에 따라서 제공한다. 망사업자는 이 계약을 흥정없이 단순히 받아들이거나 거부한다. 만약 망사업자가 계약을 받아들인다면, 그 서비스를 위해 얼마만큼의 노력과 자원을 투입할 것인가를 결정한다.

응용서비스사업자는 망사업자의 망을 이용하여 수입을 벌어들인다. 그 수입은 망사업자의 노력 E 와 불확실한 확률변수 V 에 의해서 결정된다. 서론에서 이야기 한대로 노력 E 는 망사업자가 서비스를 제공하기 위해 사용한 자원의 양에 결정이 된다. 확률변수 V 는 성과를 결정하는 조절할 수 없는 알수 없는 것을 나타낸다. 변수 V 의 값은 계약을 체결할 시점에서 서비스사업자와 망사업자 모두 알 수 없고 시간이 지남에 따라서 망사업자는 관측할 수 있지만 서비스사업자는 정확히 알 수 없다고 가정한다. 이러한 이유로 두 사업자간에는 정보의 비대칭성(asymmetry)이 존재한다.

사업의 성과 (output)는 기호 $Z(V,E)$ 로 표시하고 여기서 Z 는 V 와 E 의 함수이다. 서비스사업자의 revenue는 성과와 Z 일때 $R(Z)$ 로 표시한다. 계약 ξ 에 의해 결정되는 망사용비용은 $P_\xi(Z)$ 로 표시한다. 응용사업자의 이익은 $A_\xi(Z) = R(Z) - P_\xi(Z)$ 이다. 우리는 사업자의 revenue가 성과의 선형함수 즉 $R(Z) = \theta + \phi \cdot Z$ 라고 가정한다. 여기서 θ 와 ϕ 는 어떤 양수이다. 여기서 상수 θ 는 서비스사업자의 선택에 별 영향을 주지 못하기 때문에 $\theta = 0$ 이라고 가정한다. 이 경우에 ϕ 를 normalize하면 $R(Z) = Z$ 라고 쓸 수 있다.

망사업자의 경우에 자원 사용 정도 E 에 따라서 서비스비용이 발생하게 된다. 이 비용을 $C(E)$ 로 표시하고 C 함수는 증가함수이고 볼록(concave)함수라고 가정한다. 망사업자의 수입은 $P_\xi(Z)$ 이므로 망사업자의 순이익 $N_\xi(Z,E) = P_\xi(Z) - C(E)$ 로 표시된다.

2.2 소득과 비용

우리는 다음과 같은 시나리오를 다룬다. 먼저 두 사업자간의 비용 지불은 성과의 선형함수이다. 계약 ξ 는 (α, β) 에 의해 표시되고 가능계약의 집합을 $\Xi = \{(\alpha, \beta) | \alpha \in \mathbb{R}, 0 \leq \beta \leq 1\}$ 로 표시한다. 성과를 z 라고 한다면 서비스 사업자는 망사업자에게 $P_\xi(z) = \alpha + \beta \cdot z$ 의 비용을 지급한다. 다른 말로 한다면 지급비용은 고정비용 α 와 성과에 선형으로 비례하는 성과급 $\beta \cdot z$ 로 구성된다. 다른 형태의 계약형태도 가능하지만 우리는 선형계약이 충분히 사업자들의 행위를 표시할 수 있다고 생각한다. 두 번째로, 망사업자가 투자하는 노력의 레벨을 $E = e$ 라고 한다면 그 때의 비용은 $C(e) = c \cdot e$ 라고 한다. 다른 마로 한다면 망사업자의 비용은 투자하는 노력의 비용과 선형으로 비례한다. 세 번째로 우리는 다음과 같은 형태의 성과 함수를 사용한다.

$$Z(V,E) = 1 - \exp(-V \cdot E)$$

위치정보시스템의 예를 다시 든다면 망사업자의 노력의 정도는 얼마만큼의 망자원을 사용했는지 즉 얼마만큼의 리스팅 서비스를 제공했는지에 비례한다. 만약 소비자에게 e 개의 리스팅이 제공되었다고 생각해보자. 만약 각각의 리스팅에 소비자가 확률 p 로 관심을 갖는다 하자. 소비자가 e 개중 최소한 하나에 관심을 갖는다면 그중 하나를 선택할 것이다. 즉 e 개의 리스팅중 하나를 선택할 확률은 $1 - (1-p)^e$ 이고 아무것도 선택하지 않을 확률은 $(1-p)^e$ 이다. 만약 우리가 성과를

$E[\text{손님이 리스팅을 선택}] = \Pr[\text{손님이 리스팅을 선택}]$ 이라고 한다면

$$Z(e) = 1 - (1-p)^e = 1 - \exp(-ve)$$

이다. 여기서 $v = -\ln(1-p)$ 이다. 하지만 실제에서는 p 값은 알려져 있지 않으므로 확률변수로 모델할 수 있다.

이러한 가정과 주어진 계약 $\xi = (\alpha, \beta)$, $V = v$, $E = e$ 라고 할 때, 응용사업자의 망사업자에게 주는 비용은

$$P_\xi(Z(v,e)) = \alpha + \beta(1 - \exp(-v \cdot e)).$$

따라서, 응용사업자의 이익은

$$A_\xi(Z(v,e)) = (1-\beta)(1 - \exp(-v \cdot e)) - \alpha$$

그리고 망사업자의 순이익은

$$N_\xi(Z(v,e)) = \alpha + \beta(1 - \exp(-v \cdot e)) - c \cdot e.$$

3. Stackelberg 게임

우리는 두 사업자 모두 이기적이고 자신들의 효용함수를 최대화하는데 관심이 있다고 가정한다. 이

러한 가정은 다음과 같은 이유에서 정당화 될 수 있다. 일단 계약이 체결되고 확률변수 V 의 값이 알려지면 망사업자는 자신의 효용함수를 최대화시키기 위한 최적의 노력정도를 결정할 것이다. 이것은 성과의 정도가 변수 V 가 알려진 이후로는 망사업자의 노력정도 E 에 따라서 결정되기 때문이다. 응용사업자의 경우엔 V 의 값을 모르고 이것의 분포 G 만을 알기 때문에 효용의 기대값을 최대화하려고 한다. 응용사업자가 계약을 먼저 정하여 망사업자가 제시하기 때문에 이 문제는 응용사업자가 리더가 되고 망사업자가 추종자가 되는 Stackelberg 게임으로 정형화된다.

우리는 응용사업자가 위험에 중립적 (risk neutral)이고 기대 효용값이 기대 수익과 같다고 가정한다. 반면에 망사업자의 경우엔 위험 회피적 (risk averse)일 수 있다. 우리는 이것을 효용함수 U 를 이용해서 모델하는데 만약에 망사업자의 순이익이 w 라고 한다면 효용값은 $U(w)$ 이다. 이 효용함수를 이용하여 위험회피의 정도를 표시할 수 있다. 특히 우리는 Arrow-Pratt의 상대 위험 회피도 (RRA)를 사용하여 이것을 계량화한다.

$$RRA(w) = -\frac{w \times U''(w)}{U'(w)} \quad (5)$$

만약 효용함수가 볼록(concave)증가함수이면, RRA 값은 비음수이다. 이 경우 RRA 값이 클수록 사용자는 더 위험회피적이다.

만약 효용함수가 다음과 같다면

$$U_a(w) = (w)^a, 0 < a \leq 1. \quad (6)$$

이러한 함수를 isoelastic 함수라고 하는데 이 함수의 RRA 값은

$$RRA(w) = -\frac{wa(a-1)w^{a-2}}{aw^{a-1}} = 1 - a$$

로 w 와 무관하게 상수이다. 먼저 a 의 값이 클수록 위험회피도가 감소한다. 둘째 $a=1$ 인 경우, 즉 선형함수의 경우엔 위험중립적이다. 우리는 이 효용함수를 이용하여 a 의 값이 변함에 따라, 즉 망사업자의 위험회피도가 변함에 따라 응용사업자의 계약 선정에 어떤 영향을 미치는지를 살펴본다.

만약 효용함수가 (6)과 같고, 계약 $\xi = (\alpha, \beta)$ 이 체결되고 $V=v$ 일때, 망사업자의 최적 노력 e^* 은 고정비용 α 와 효용함수의 계수 a 와 무관하다. 또 다음과 같은 일차조건이 만족되어야 한다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial e} N_\xi(Z(v, e), e) \Big|_{e=e^*} \\ &= \frac{\partial}{\partial e} P_\xi(Z(v, e), e) \Big|_{e=e^*} - \frac{d}{de} C(e) \\ &= \beta \cdot \frac{\partial}{\partial e} Z(v, e) \Big|_{e=e^*} - c = \beta \cdot v \exp(-v \cdot e) - c. \end{aligned}$$

위의 식에서 최적 노력 e^* 은

$$e^*(v, \beta) = \begin{cases} \frac{1}{v} \ln\left(\frac{v\beta}{c}\right) & \text{if } v\beta > c \\ 0 & \text{if } v\beta \leq c \end{cases}$$

이고

$$Z(v, e^*(\beta, v)) = \begin{cases} 1 - \frac{v\beta}{c} & \text{if } v\beta > c \\ 0 & \text{if } v\beta \leq c \end{cases}$$

이다.

망사업자에게 계약서를 보여주기전에 응용사업자는 망사업자의 이기성을 고려하여야 한다. 즉, 주어진 계약 $\xi = (\alpha, \beta)$ 가 주어졌을 때, 망사업자의 기대효용값은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & E[U_a(\alpha, \beta)] \\ &= E[U_a(P_\xi(Z(V, e^*(\beta, V))) - C(e^*(\beta, V)))] \\ &= \int (\alpha + \beta \cdot Z(v, e^*) - c \cdot e^*(\beta, v))^a dG(v) \\ &= \int (\alpha + 1\{c < v\beta\}((\beta - c/v) - c \cdot \ln(v \cdot \beta/c))^a) dG(v) \\ &=: N_\xi^a \end{aligned}$$

망사업자의 전략을 고려한 응용사업자의 목적은 자신의 기대수익을 최대화시키는 최적의 계약 $\xi^* = (\alpha^*, \beta^*)$ 를 찾는 것이다.

$$\begin{aligned} & E[A_\xi(Z)] = \int A_\xi(Z(v, e^*(\beta, v))) dG(v) \\ &= \int ((1 - \beta)Z(v, e^*(\beta, v)) - \alpha) dG(v) \\ &=: A_\xi. \end{aligned}$$

좀 더 정확히 한다면, 망사업자의 효용함수 U_a 가 주어졌을 때 다음 최적화 문제를 푸는 것이다.

$$\text{maximize}_{\xi \in \Xi} A_\xi$$

여기서 $U_{a, \min}$ 은 망사업자의 한계값으로 망사업자가 기대효용값이 이값보다 작으면 계약을 거부하는 값이다. 이 값은 망사업자의 초기투자비용등을 나타낼 수 있다.

만약 비용과 수익을 스케일링 한다면, 이 값은 노말라이즈해서 모든 a 값에 대해서 $U_{a, \min} = 1$ 로 나타낼 수 있다. 만약 모든 고정 a 값에 대하여, $C_a := \{\xi \in \Xi | N_\xi^a \geq 1\}$ 라고 정의하면 위의 최적화 문제는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\text{maximize}_{\xi \in C_a} A_\xi$$

4. 주결과

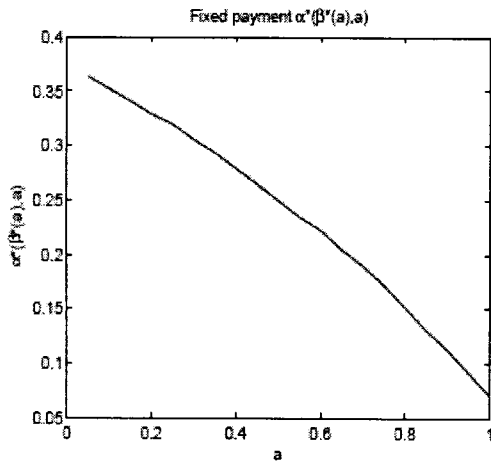
우리의 Stackelberg 게임은 망사업자와 응용사업자 간의 게임이고 응용사업자는 C^a 에 포함되는 계약 중 하나를 선택할 수 있고 망사업자는 노력정도 e 값을 주어진 계약 ξ 와 확률변수 V 값에 따라서 선택할 수 있다. 본 논문의 주 연구 결과는 다음 두가지 정리인데 정리 1에서는 균형점의 유일성과 정리 2에서는 α^* 와 β^* 의 monotonicity를 보여주었다. 하지만 증명은 본 논문에서는 생략한다. ([15]에 자세한 증명이 있다.)

정리 1. 효용함수 파라메타 $a \in (0, 1)$ 에 대하여, (i) $\alpha^*(\beta, a)$ 는 β 의 감소 함수이고 (ii) (13)번 최적화 문제의 해인 $\beta^*(a)$ 는 유일하다.

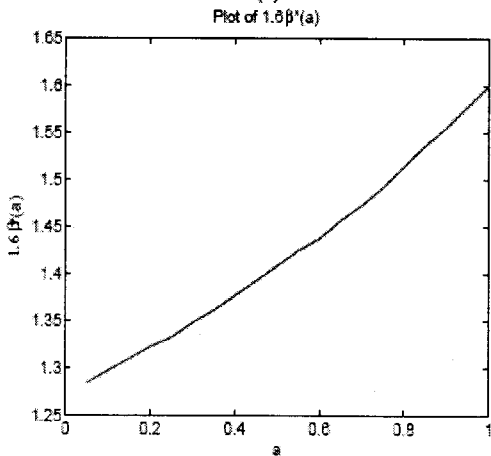
정리 2. (i) $\beta^*(a)$ 는 파라메타 a 의 증가함수이고 $\alpha^*(\beta^*(a), a)$ 는 a 의 감소함수이다. (ii) $\lim_{a \rightarrow 1} \beta^*(a) = 1$; (iii) 응용사업자의 순이익기대값 $A^*(a)$ 는 a 값이 커질수록 증가한다.

5. 모의시험

이 절에서는 전절의 분석결과에 대한 모의시험을 수행하였다. 우리는 망사업자의 초기투자율 $\Lambda = 1$ 이라고 가정하였다. 확률변수 $V = v$ 이고 망사업자의 노력정도 $E = e$ 일 때, output은 $Z(v, e) = \lambda(1 - \exp(-v \cdot e)) = -1.6(1 - \exp(-v \cdot e))$ 이다. output에 따르는 수입(revenue) $R(Z) = \theta + \phi Z = 0.3 + Z$ 라고 가정하였다. 여기서 θ 와 ϕ 는 각각 고정 수입과 output에 비례하는 수입의 상수이다. 확률변수 V 의 범위 $S_V \in [0.1, 1]$ 이라고 가정하였다.



(a)

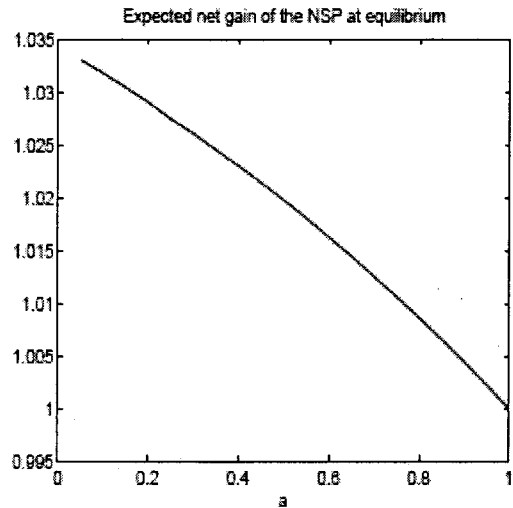
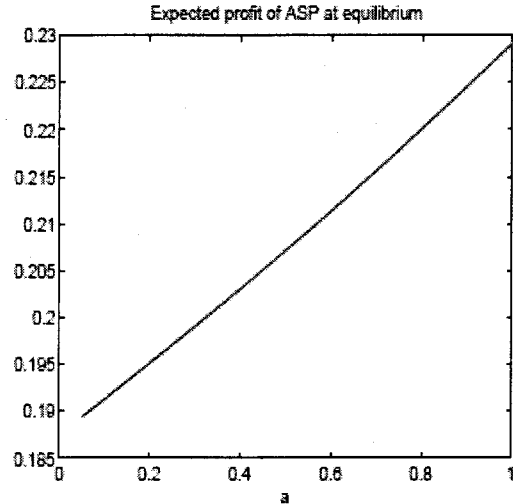


(b)

그림 1. a) $\alpha^*(\beta^*(a), a)$ b) $1.6\beta^*(a)$

그림 1은 각각 고정 payment $\alpha^*(\beta^*(a), a)$ 와 $1.6\beta^*(a)$ 를 각각 균형점 (equilibrium)에서 파라메타 a 의 함수로 그렸다. 정리 2.1에서 표현된 것처럼

고정 payment $\alpha^*(\beta^*(a), a)$ 는 a 의 값에 따라서 감소하고 $\beta^*(a)$ 는 증가한다. 또, $a \rightarrow 1$ 에 접근함에 따라 $\lim_{a \rightarrow 1} \beta^*(a) = 1$ (정리 2.(ii)).



(b)

그림 2. 균형점에서의 a) 응용사업자의 기대이익 b) 망사업자의 기대 순이익

그림 2는 균형점에서 응용사업자 수익의 기댓값과 망사업자의 순이익 (net gain)의 기댓값을 파라메터 a 의 함수로 그렸다. 그림에서 알 수 있듯이 망사업자는 a 값이 증가함에 따라서 덜 위험 회피적이 되고 응용사업자의 수익기대값은 증가함을 알 수 있다. 또한 망사업자의 순이익은 감소한다.

망사업자의 순이익은 $a = 1$ 인 경우 초기투자값과 같은데 이것은 효율의 기대치가 순이익의 기대치와 같기 때문이다. 이 경우엔 망사업자가 응용사업자가 원하는 데로 움직인다. 그러므로 이 경우엔 효율성면에서 손실이 전혀 발생하지 않는다. 그리고, 응용사업자는 그림 2(b)에서 볼 수 있는 것처럼 가능한 모든 수익을 낼 수 있고 망사업자의 순이익

기댓값은 초기투자자 동일하다.

그림 3은 레버뉴의 기댓값 - 망사업자의 비용으로 측정된 시스템의 효율을 보여준다. 이 값은 응용사업자의 기대수익과 망사업자의 순이익의 합과 같다. IV절에서 언급한 것처럼, 시스템의 효율은 망사업자가 위험 회피적이 될수록 감소한다. 이 점은 망사업자가 위험회피적이 되면 될수록 좀 더 적은 payoff를 받지 않으려고 하기 때문에 보수적으로 움직일 것이라는 우리의 직관과 일치한다. 결과적으로 응용사업자와 망사업자의 목적이 서로 같지 않아짐으로서 시스템의 효율이 감소하는 결과를 가져온다.

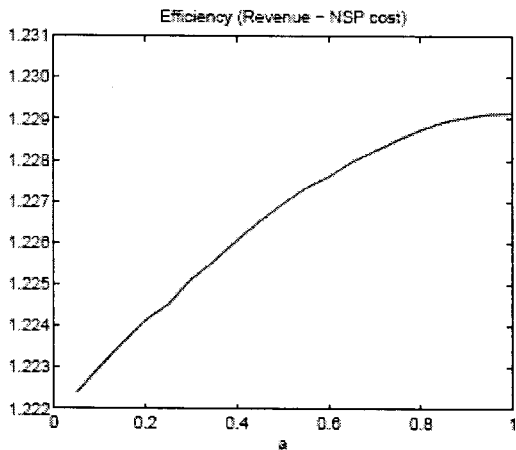


그림 3. 레버뉴 - 망사업자 비용으로 측정된 시스템의 효율

참고문헌

[1] T. Basar and R. Srikant, "A Stackelberg network game with a large number of followers," *Journal of Optimization Theory and Applications*, vol. 115(3), pp. 479-490, Dec. 2002.

[2] O. J. Blanchard and S. Fischer, *Lectures on Macroeconomics*, MIT Press, Cambridge (MA), 1989.

[3] D. Fudenberg and J. Tirole, *Game Theory*, MIT Press, Cambridge (MA), 1991.

[4] L. He and J. Walrand, "Pricing and revenue sharing strategies for Internet service providers," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 24(5), pp. 942-951, May 2006.

[5] F. Kelly, "Charging and rate control for elastic traffic," *European Trans. on Telecommunications*, vol. 8(1), pp. 33-37, Jan. 1997.

[6] F. Kelly, A. Maulloo and D. Tan, "Rate control for communication networks: shadow prices, proportional fairness and stability," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 49(3), pp. 237-252, Mar. 1998.

[7] Y. A. Korilis, A. A. Lazar and A. Orda, "Achieving network optima using Stackelberg routing strategies," *IEEE/ACM Trans. on Networking*, vol. 5(1), pp. 161-173, Feb. 1997.

[8] R. J. La and V. Anantharam, "Optimal routing control: repeated game approach," *IEEE Trans. on*

Automatic Control, vol. 47(3), pp. 437-450, Mar. 2002.

[9] J.-J. Laffont and D. Martimort, *The Theory of Incentives: The Principal-Agent Model*, Princeton University Press, Princeton (NJ), 2002.

[10] J. K. Mackie-Mason and H. R. Varian,

[11] P. Marbach, "Priority service and max-min fairness," *IEEE/ACM Trans. on Networking*, vol. 11(5), pp. 733-746, Oct. 2003.

[12] A. Orda, R. Rom and N. Shimkin, "Competitive routing in multi-user communication networks," *IEEE/ACM Trans. on Networking*, vol. 1(5), pp. 510-521, Oct. 1993.

[13] S. Shakkottai and R. Srikant, "Economics of network pricing with multiple ISPs," *IEEE/ACM Trans. on Networking*, vol. 14(6), pp. 1233-1245, Dec. 2006.

[14] H. R. Varian, *Microeconomic Analysis*, 3rd ed., Norton, New York (NY), 1992.

[15] Richard J La, J. Mo, "Design of a Contract Between an Application Service Provider and a Network Service Provider", Technical Memo, available at http://cabernet.icu.ac.kr/~jhmo/asp_nsp.pdf