

# Človeško zaznavanje in objektivno vrednotenje zakasnitev multimedijskih storitev

**Urban Burnik, Jurij F. Tasič**

*Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija  
E-pošta: urban.burnik@fe.uni-lj.si*

**Povzetek.** Za vrednotenje interaktivnih multimedijskih telekomunikacijskih storitev potrebujemo dobro oceno človeškega dojemanja zakasnitve. Predstavljena je funkcija za zvezno kvantitativno vrednotenje vpliva zakasnitve na kakovost storitve. Model je zasnovan na Stevensovem močnostnem zakonu in statistično ustreza splošnim pričakovanjem uporabnikov.

**Ključne besede:** multimedijske storitve, vrednotenje zakasnitev, Stevensov močnostni zakon

## Human perception and objective delay evaluation of multimedia services

**Extended abstract.** An important quality evaluation measure for interactive multimedia services is service latency. The paper proposes a quantitative function to measure human perception of service delay, gives an overview of human perception models, where the Weber's, Fechner's and Steven's models are described and illustrated, and presents a family of suitable continuous evaluation measures. Based on the existing knowledge on delay and latency requirements in telecommunication and multimedia services, a generalised evaluation function is proposed based on Steven's power law.

**Key words:** multimedia services, delay evaluation, Steven's power law

### 1 Uvod

Idealna multimedijska telekomunikacijska storitev uporabniku zagotavlja medijsko predstavitev gradiva v neokrnjeni obliki, brez napak v prikazu in z navigacijo v realnem času. V realnih primerih se soočamo s tehničnimi omejitvami, ki vplivajo na kakovost multimedijskih telekomunikacijskih storitev. Kakovost zapisa slikovnega in zvočnega gradiva je omejena, v storitvah pa so prisotne zakasnitve, vse zaradi končne zmogljivosti prenosnih kanalov.

Pri uporabi multimedijskih storitev želimo, da bi bile zakasnitve, motnje in popačitve čim manjše, kakovost prikaza pa dobra [1]. Pri pregledu literature ugotovimo, da je vrednotenje kakovosti prikaza področje, ki ga na široko obravnava veliko avtorjev [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. Pogosto so vrednoteni tudi vplivi paketnega prenosa podatkov na kakovost storitev [10]. Vplivi zakasnitev v

multimedijskih storitvah pa niso deležni obravnave, ki bi ob upoštevanju omogočala uravnoteženo in celovito vrednotenje multimedijskih telekomunikacijskih storitev. V literaturi sicer srečamo različna merila, povezana s storitvami za prenos slike in videa [11, 12, 13], ki pa pomenijo zgolj statične meje obratovanja, pri katerih je storitev še sprejemljiva. Za optimalno izvedbo storitev je zaželeno, da bi s primernimi merili omogočili zvezno vrednotenje odzivnosti sistema in s tem utemeljili uravnoteženost kvalitete prikaza in latence storitve.

Ogledali si bomo pregled obstoječih ugotovitev raziskovalcev in predlagali uvedbo kriterijske funkcije za vrednotenje zakasnitve v multimedijskih komunikacijskih storitvah. Pri tem bomo psihološko vrednotenje časa obravnavali s pristopi, ki na splošno veljajo za vsa človeška čutila. Rezultati bodo namenjeni avtomatiziranemu kvantitativnemu vrednotenju ter pri optimizaciji storitev.

### 2 Modeli človeškega zaznavanja

Človeško zaznavanje temelji na vzburjanju čutil z dogodki v okolju. Dražljaje iz okolja sprejemamo s posebnimi celicami, imenujemo jih receptorji, ki preko akcijskih potencialov informacijo o dogajanju prenašajo na nadaljnje nevrnske celice. Na podlagi odziva se v možganih oblikuje informacija o kakovosti in intenzivnosti signala. Mehanizmi zaznavanja so podobni ne glede na posamezna človeška čutila. Dober pregled psiholoških in predvsem fizioloških mehanizmov zaznavanja najdemo v [14]. Pričakujemo, da splošna znanja o človeškem dojetanju fizikalnih veličin lahko uporabimo tudi za vrednotenje občutenja časa in zakasnitev.

## 2.1 Absolutni prag vzbujanja

Funkcija fizikalnih lastnosti receptorja in zaznavanje sprememb v okolju nista v linearni funkcijski zvezi. Minimalno količino energije, pri kateri posameznik opazi določen pojav, imenujemo *absolutni prag vzbujanja*. Psihologi za določanje absolutnega praga vzbujanja uporabljajo statistične postopke; podan je kot vrednost energije posameznega parametra vzbujanja, pri kateri je verjetnost zaznavanja posameznika enaka  $p_z = 50\%$ . Vrednost absolutnega praga zaznavanja je močno odvisna od posameznika, psiholoških vzrokov in od pogojev opazovanja [14]. Izkaže se, da človeško zaznavanje v resnici ne temelji na absolutnem pragu zaznavanja pojavov, ampak je umeščeno v sklop okoliščin opazovanja.

## 2.2 Webrov zakon

Poleg presoje *prisotnosti pojava* je posebej za vrednotenje kakovosti kodiranja signalov pomemben prag, pri katerem zaznamo spremembo vzbujanja čutila. *Prag zaznavne spremembe* je vrednost, pri kateri posameznik še zazna razliko med svetilnostjo dveh različnih žarnic. Prag zaznavne spremembe ni odvisen le od absolutne vrednosti spremembe v vzbujanju, temveč tudi od absolutne vrednosti trenutnega vzbujanja. Zakonitost je prvi podal nemški fiziolog E. Weber leta 1834 [14]. *Webrov zakon* trdi, da sta, ne glede na absolutno vrednost dveh vzbujanj prag zaznavanja  $\Delta I$  in absolutna vrednost vzbujanja  $I$  v konstantnem razmerju:

$$\frac{\Delta I}{I} = k. \quad (1)$$

## 2.3 Fechnerjev zakon

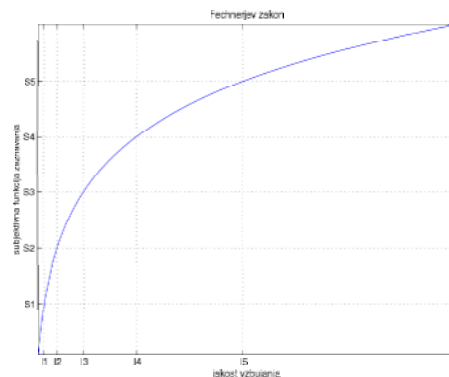
Webrovo delo je pomembno nadgradil G. Fechner, ki je funkcijsko povezal subjektivno zaznavanje vzbujanja z jakostjo vzbujevalnega signala. Ob predpostavki, da vsako ravno še opazno spremembo vrednotimo enakovredno, je menil, da vsaka nadaljnja ravno še opazna sprememba na merilu zaznavanja pomeni korak za eno enoto. Potek subjektivne funkcije zaznavanja (slika 1) je nato izračunal na podlagi Webrovega zakona. *Fechnerjev zakon* trdi, da je subjektivna mera zaznavnosti  $S$  odvisna od logaritma jakosti opazovane veličine  $I$ :

$$S = k \log I, \quad (2)$$

pri čemer je konstanta  $k$  subjektivno pogojena.

## 2.4 Stevensov močnostni zakon

Sto let pozneje je S. Stevens ugotovil, da Fechnerjev zakon ni univerzalno uporaben za vsa človeška čutila. Tako je na primer reakcija človeka na bolečino po poteku drugačna od občutljivosti na svetlobo [14]. Stevens je

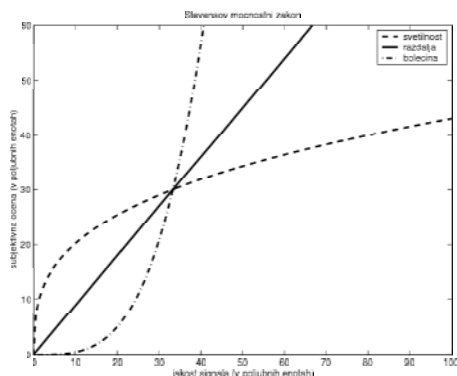


Slika 1. Fechnerjev zakon Figure 1. Fechner's law

dokazal, da je človek sposoben dovolj natančno oceniti občutek jakosti opazovane vrednosti na numerični lestvici. Na podlagi subjektivnih ocen odziva različnih čutil je Stevens definiral funkcijsko odvisnost, ki zajema veliko širši spekter čutil kot Fechnerjev zakon. Po *Stevensovem močnostnem zakonu* zvezo med subjektivno oceno vrednosti in jakostjo signala predstavlja potenčna funkcija

$$S = kI^b. \quad (3)$$

EkspONENT v potenčni funkciji se razlikuje glede na obravnavano čutilo. S poskusi je Stevens dokazal, da je eksponent zaznavanja svetilnosti, s katerim se v izbranem območju opazovanja dovolj dobro približamo rezultatom Fechnerjevega zakona, enak  $b = 0,33$ . Občutke električnega šoka ponazarja eksponent  $b = 3,5$ . Razlog za različno zaznavanje različnih čutil je v namenu njihove uporabe: čutila z velikim dinamičnim območjem opazovanja v resnici sledijo ugotovitvam Webra in Fechnerja. Čutila, ki nas na primer opozarjajo na nevarnost, pa že ob majhni prekoračitvi mejne vrednosti sprožijo ostro reakcijo.



Slika 2. Stevensov močnostni zakon Figure 2. Steven's power law

Model zaznavanja, ki sta ga uvedla Weber in Fechner, je na področju analize in obdelave signalov močno razširjen in presega modeliranje zaznave. Primeren je tudi

za vrednotenje napak multimedijskega gradiva (PSNR, [15]). Ne glede na to je za vrednotenje kakovosti storitev v široki rabi tudi Stevencov močnostni zakon (MSE).

### 3 Vrednotenje odzivnosti sistema

#### 3.1 Kvantitativno vrednotenje zakasnitev

##### 3.1.1 Prag zaznavanja

Najpreprostejše merilo, ki ga lahko upoštevamo pri načrtovanju sistema za digitalni prenos slik v realnem času je določeno s pragom. Prag sprejemljivosti je lahko definiran kot neopazna, v novejšem času pa tudi kot še dopustna zakasnitev. Omejitve lahko definiramo deterministično ali s statističnimi merili [12]. Vrednosti zakasnitev so seveda odvisne od območja uporabe.

Vrednost skupne zakasnitve signala je odvisna od vrste podatkov. Poskusi so pokazali, da sprejemljive skupne zakasnitve poljubnega medija znašajo  $T_{os} \leq 600$  ms [16]. Na splošno ne opazimo zakasnitev  $T_{os} \leq 100$  ms [17]. Priporočila CCITT G. 114 [18], [11] navajajo, da so "zakasnitve  $T_{os} \leq 150$  ms sprejemljive za večino uporabnikov", da "zakasnitve med 150 ms in 400 ms lahko vplivajo na nekatere aplikacije" in da zakasnitve  $T_{os} \geq 400$  ms "na splošno niso primerne in se jim pri načrtovanju omrežnih storitev moramo izogibati". Glede na omenjena priporočila sklepamo, da je vrednost zaznavne časovne zakasnitve v sistemih za prenos slik v realnem času 150 ms; to je skupna zakasnitev, ki jo predstavljata medpomnilnik in zakasnitev omrežja.

Zahtevnejša so merila pri sinhroniziranem prenosu in prikazu podatkov različnih medijev, ponavadi zvoka in slike. Ker so gledalci vajeni, da zvok v naravi potuje počasneje kot slika, so manj občutljivi na zamik zvoka kot na njegovo prehitavanje. Literatura navaja, da je sprejemljiva zakasnitev v razponu od 40 do 120 ms, prehitavanje pa od 20 do 40 ms [19].

Ne glede na rastoče prenosne zmogljivosti omrežij in terminalov opažamo, da so zakasnitve interaktivnih omrežnih storitev za nekaj razredov večje. Zakasnitve, do katerih prihaja pri prikazu grafičnih elementov, pogosto znašajo tudi do nekaj 10 sekund. Nekateri viri celo navajajo, da so zakasnitve pri prikazu interaktivnega gradiva, ki so manjše od 10 sekund, za povprečnega uporabnika popolnoma sprejemljive [13].

##### 3.1.2 Zvezno vrednotenje zakasnitve

Redki avtorji v svojih delih skušajo preseči prag sprejemljivosti in poiskati primernejšo kriterijsko funkcijo za vrednotenje zakasnitve storitev. Večina modelov temelji na stroškovnem modelu prenosa podatkov; primer najdemo v [20].

Poglobljeno študijo psiholoških dejavnikov odzivnosti splošnega uporabniškega vmesnika podaja Johnson v [21,

22, 23]. Poleg ekonomskih vplivov študije vključujejo vrednotenje uporabnosti informacije v odvisnosti od časa, v katerem je ta zagotovljena. V poteku konveksne funkcije je avtor upošteval, da za izvedbo storitve potrebujemo vsaj čas  $T_{min}$ . Hitrejša izvedba storitve ni vrednotena. Z dodatno zakasnitvijo uporabna vrednost informacije začne upadati, dokler ob določenem času  $T_{max}$  ne preseže časovne omejitve. Od tega trenutka ima informacija le še zanemarljivo uporabno vrednost. Modeli, ki jih predlaga Johnson, podrobno ne navajajo funkcijskega poteka konveksne funkcije, postavljajo pa izhodišča za vrednotenje zakasnitev na področju storitev v realnem času.

Rezultati analize vpliva odzivnosti interaktivnih spletnih storitev na zadovoljstvo uporabnika [24] kažejo, da uporabniki z visoko oceno vrednotijo zakasnitve, ki znašajo do pet sekund. Večina uporabnikov meni, da so zakasnitve, večje od 11 sekund, nesprejemljive. Rezultati sovpadajo z navedbami [25, 24], po katerih odziv uporabnika na zakasnitev določajo trije časovni parametri. Zakasnitve pod 100 ms povprečen uporabnik dojema kot takojšen odziv. Pri zakasnitvi ene sekunde odziv dojemamo kot interaktivni dialog: zakasnitev je sicer opazna, a ni moteča. Po citirani raziskavi pri zakasnitvi 10 sekund pretežni del uporabnikov izgubi pozornost, s čimer storitev postane resno motena. Pričujoči pregled daje dobra izhodišča za oblikovanje primerne kriterijske funkcije, katere poteka pa viri ne navajajo.

#### 3.2 Kriterijska funkcija

Z optimizacijo storitev želimo omogočiti nadzorovano odzivnost sistema, ob tem pa na razumen način nadgraditi stroga merila, ki izhajajo še iz časov analogne video-produkcije in telefonije. Univerzalne rešitve glede na širok spekter potreb uporabnikov, razpoložljive opreme in okolja, v katerem storitve delujejo, ne moremo pričakovati. Zato namesto statičnega predpisa o največjih še dopustnih časovnih parametrih izvajanja storitve predlagamo uvedbo kriterijske funkcije za vrednotenje zakasnitev interaktivnih storitev [1].

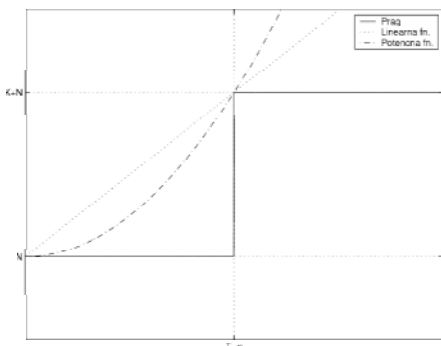
##### Definicija 1 Funkcija

$$F_{os} = f(t),$$

ki je izhodišče za kvantitativno vrednotenje kakovosti storitve v odvisnosti od časa trajanja storitve, imenujemo **funkcija vpliva odzivnosti**. Funkcija vpliva odzivnosti naj bo naraščajoča funkcija neodvisne spremenljivke  $t$ , ki pomeni čas trajanja med zahtevo za gradivo in njeno izpolnitvijo.

Potek funkcij je načeloma poljuben in odvisen od vrste storitve in zahtev ter osebnih lastnosti posameznega uporabnika. Cilj takšnih funkcij je, da jih v kombinaciji z drugimi kriterijskimi funkcijami lahko združimo v skupen sistem vrednotenja kakovosti storitve.

### 3.2.1 Funkcija v obliki praga



Slika 3. Funkcije vpliva odzivnosti sistema  
Figure 3. Service latency utility function

Funkcijo praga zapišemo kot:

$$F_{os}(t) = \begin{cases} N, & t < T_p \\ K + N, & t \geq T_p \end{cases}$$

Vrednost dopustne zakasnitve določa spremenljivka  $T_p$ , kar ponazarja klasično vrednotenje odzivnosti sistema, pri katerem zadržujemo skupne zakasnitve pod predpisano mejo. Potek funkcije prikazuje slika 3.

### 3.2.2 Linearna funkcija

Najpreprostejši primer zveznega vrednotenja odzivnosti sistema je *linearna funkcija*. Potek linearne funkcije

$$F_{os}(t) = Kt + N$$

določata naklon funkcije  $K$  in konstanta  $N$ . Nezadovoljstvo s storitvijo po tej predpostavki narašča linearno z večanjem zakasnitve.

### 3.2.3 Potenčna funkcija

Znano je [14], da psihološko in fiziološko zaznavanje okolice ni ne absolutno in ne linearno. Funkcija, ki ustreza Stevensovemu močnostnemu zakonu in s tem najbolj splošnemu modelu človeškega zaznavanja je potenčna funkcija [14]. Potenčno funkcijo zapišemo v obliki:

$$F_{os}(t) = K \cdot \left(\frac{t}{T_p}\right)^p + N = kt^p + N.$$

Oblika funkcijske krivulje je odvisna od stopnje  $p$ . Poseben primer poteka je linearna funkcija,  $p = 1$ . Pozitivni premik funkcije podaja konstanta  $N$ . Potek značilne potenčne funkcije vpliva odzivnosti sistema prikazuje slika 3.

V optimizacijskih postopkih pogosto uporabljamo potenčne funkcije; posebej pogosto se uporabljajo

kvadratna funkcija s  $p = 2$ . Lastnosti potenčnih funkcij ustrezajo minimalnim zahtevam, kot tudi modelom zaznavanja, zato lahko rečemo, da sodijo med primernejše oblike zapisa funkcij vpliva odzivnosti.

## 4 Ocena parametrov potenčne funkcije za zvezno vrednotenje vpliva zakasnitve na kakovost storitve

### 4.1 Vrednotenje interaktivnih storitev v realnem času

Časovni parametri, podani v [25, 24], ne vključujejo modela zaznavanja zakasnitve kot časovno odvisne funkcije; določajo le obratovalne meje storitve. Rezultati so plod statistične analize obnašanja uporabnikov, pri čemer kaže, da so merila posameznika neodvisna drugo od drugega. Varianca mejnih časovnih parametrov je razmeroma velika, vrednosti pa so odvisne od posameznika, pa tudi od drugih vplivov. Ob pomanjkanju resničnega psihološkega modela zaznavanja časa vzemimo, da je potek funkcije vpliva odzivnosti sistema povezan z verjetnostjo, da posameznik kljub zakasnitvi vztraja pri uporabi storitve. Kot korekcijski faktor upoštevamo absolutni prag zaznavanja časovne spremembe.

Sklepamo, da potek časovnih vrednosti, pri katerih uporabnik časovno zakasnitev opredeli kot motečo, ustreza normalni porazdelitvi:

$$f_p(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2}. \quad (4)$$

Trditvev ustreza navedbam, da so individualni kriteriji sprejemljivosti zakasnitve medsebojno neodvisni, obenem pa sklepamo, da je subjektivna ocena posameznika naraven pojav. Mejne vrednosti poteka funkcije določata časovni konstanti  $T_d$ , pri kateri interaktivno storitev obravnavamo kot dialog in  $T_n$ , pri kateri zakasnitev za večino uporabnikov postane nesprejemljiva. Naj bo verjetnost

$$P(T_d < t \leq T_n) = 95\%. \quad (5)$$

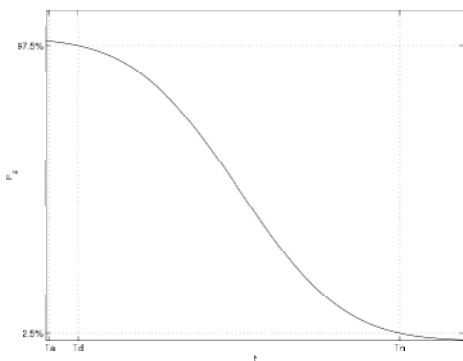
Parametri normalne porazdelitve bodo v tem primeru za vrednosti  $T_d$  in  $T_n$  enaki:

$$\mu = T_d + \frac{T_n - T_d}{2},$$

$$\sigma = \frac{T_n - T_d}{2 \cdot 1,96}.$$

Glede na statistični model delež nezadovoljnih uporabnikov storitve narašča po izrazu

$$F_p(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right). \quad (6)$$



Slika 4. Delež preostalih uporabnikov storitve  
Figure 4. Share of remaining service users

Upoštevajmo, da je vrednost absolutnega praga zaznavanja zakasnitve enaka  $T_a$ . Delež uporabnikov, ki jih trenutna zakasnitev še ne moti, je tedaj približno enak:

$$F'_z \approx \begin{cases} 1, & t \leq T_a \\ k_1 (1 - \Phi(\frac{t-\mu}{\sigma})), & t > T_a \end{cases} \quad (7)$$

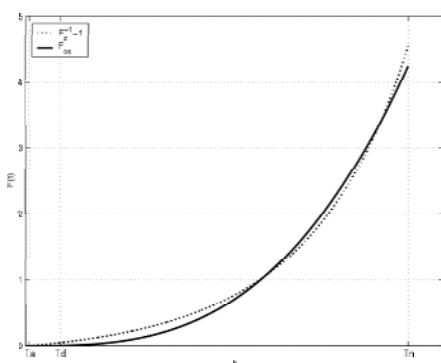
S koeficientom

$$k_1 = \left(1 - \Phi\left(\frac{T_a - \mu}{\sigma}\right)\right)^{-1}$$

poskrbimo za zvezni potek funkcije v točki  $t = T_a$ . Potek funkcije prikazuje slika 4.

Funkcijo vpliva odzivnosti sistema končno definiramo kot potenčno aproksimacijo funkcije  $F_z$  na intervalu  $t \in [0, K)$ , katere potek je obratno sorazmeren deležu uporabnikov, za katere je zakasnitev  $t$  še sprejemljiva:

$$F_{os} = k \cdot t^p \approx F_z^{-1} - 1. \quad (8)$$



Slika 5. Značilen potek približka funkcije  $F'_{os}$ ;  $T_a = 0.1s$ ,  $T_d = 1s$ ,  $T_n = 11s$  in  $p = 2.98$   
Figure 5. Typical approximation of function  $F_{os}$ ;  $T_a = 0.1s$ ,  $T_d = 1s$ ,  $T_n = 11s$  and  $p = 2.98$

V omejenem dinamičnem območju, v katerem je vrednotenje časovne zakasnitve smiselno, je potenčna

funkcija sprejemljiv približek modela vpliva odzivnosti interaktivne storitve (slika 5). Tako za vrednotenje časovnih zakasnitev storitev v realnem času uporabimo Stevensov močnostni zakon

$$F'_{os} = k \cdot t^p \quad (9)$$

z vrednostjo parametra  $p > 1$ . V izračunu smo upoštevali fiziološki element subjektivnega modela zaznavanja, ki podaja sposobnost sprejemanja nove informacije in določa prag zaznavanja zakasnitve storitve  $T_a$  kot tudi psihološki element modela zaznavanja, ki upošteva pričakovani in skrajni čas zakasnitev in temelji na statistični analizi vedenja uporabnikov interaktivnih storitev.

Oblika poteka kriterijske funkcije je skladna z vrednotenjem čutil, ki so povezana s kritičnimi odločitvami subjekta ([14]). Časovni zamiki, ki znatno presegajo čas vrednotenja in presoje pridobljene informacije v storitvah v realnem času povzročajo zmanjšanje zbranosti uporabnika, v storitvah, ki so povezane s sprejemanjem odločitev pa tudi določeno stopnjo nelagodja ali celo objektivne nevarnosti.

## 4.2 Vrednotenje storitev, ki ne potekajo v realnem času

Pri storitvah, ki ne potekajo v realnem času, subjekt pričakuje določen čas, v katerem je storitev ali naloga opravljena. Stopnja zadovoljstva s storitvijo je v takšnih primerih odvisna od relativne spremembe glede na pričakovani čas. Sklep se ujema z zgodnjimi ugotovitvami Webra in Fechnerja [14]. Odziv posameznika na zakasnitev naj bi v tem primeru izkazoval logaritmčni potek časovne odvisnosti, ki jo z uporabo Stevensovega močnostnega zakona aproksimiramo z izrazom

$$F_{os} = k \cdot t^p, \quad p < 1. \quad (10)$$

Z uporabo numerične interpolacije ugotovimo, da potek potenčne funkcije daje dovolj dober približek pri eksponentu  $p = 0.33$ .

## 5 Sklep

Zvezno vrednotenje zakasnitev lahko uporabimo kot integralni del mehanizmov za optimizacijo parametrov multimedijskih telekomunikacijskih storitev. Če za vrednotenje kakovosti prikaza in zakasnitev uporabimo postopke, ki temeljijo na človeškem zaznavanju, bomo v optimalni obratovalni točki storitve uporabniku zagotovili najugodnejše razmerje različnih parametrov kakovosti storitve v danih razmerah.

Uporaba kriterijskih funkcij in njihovih značilnih potekov je fleksibilna, izbor prioritete lahko izbere načrtovalec storitve, v sodobnejših osebnih komunikacijskih sistemih pa je lahko določen tudi s profilom uporabnika.

## Zahvala

Raziskave je sofinanciralo Ministrstvo za šolstvo, znanost in šport v okviru raziskovalnega programa P2-0246 "Algoritmi in optimizacijski postopki v telekomunikacijah".

## 6 Literatura

- [1] U. Burnik. *Optimalno kodiranje za prenos slik po ozkopolovnih prenosnih medijih*. PhD thesis, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, 2002.
- [2] N. Avadhanam and V. R. Algazi. Prediction and measurement of quality in still image coding. In *Very High Resolution and Quality Imaging*, volume 2663 of *Proceedings of SPIE*, pages 100–109, 1996.
- [3] W. Osberger, A. J. Maeder, and D. McLean. An objective quality assessment technique for digital image sequences. *Proceedings ICIP-96*, 1996. Lausanne, Switzerland.
- [4] K. Suzuki, K. Miyauchi, and S. Hangai. Advanced WSNR for coded monochrome picture evaluation using fractal dimension. *PCS*, pages 92–95, 1994. Sacramento.
- [5] K. R. Rao and J. J. Hwang. *Techniques and Standards for Image Video and Audio Coding*. Prentice Hall, New Jersey, 1996.
- [6] R. J. Clarke. *Digital Compression of Still Images and Video*. Academic Press, London, 1995.
- [7] A. A. Webster et al. An objective video quality assessment system based on human perception. *Human Vision, Visual Processing and Digital Display*, pages 15–26, 1993. SPIE 1913.
- [8] W. Xu and G. Hauske. Picture quality evaluation based on error segmentation. *Visual Communications and Image Processing*, pages 1454–1465, 1994. SPIE 2308.
- [9] M. Miyahara, K. Kotani, and V. R. Algazi. Objective picture quality scale (PQS) for image coding. Technical report, Technical Center for Image Processing and Integrated Computing, 1996.
- [10] A. Kos, R. Verlič, and S. Tomažič. Kakovost storitve v paketnih omrežjih = quality of service in packet networks. *Elektroteh. vestn.*, 71(3):103–108, 2004.
- [11] G. Karlsson. Video over ATM networks. Kluwer Academic, 1997.
- [12] D. Ferrari. Client requirements for real-time communication. *IEEE Communications Magazine*, 28(11):65–72, November 1990.
- [13] S. Chandra, C. Schlatter Ellis, and A. Vahdat. Differentiated multimedia Web services using quality aware transcoding. In *INFOCOM 2000 - Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer And Communications Societies*, March 2000.
- [14] D. Westen. *Psychology: mind, brain & culture*. John Wiley & Sons, US, 2nd edition, 1999.
- [15] R. J. Clarke. *Transform Coding of Images*. Academic Press, 1985.
- [16] N. Jayant. High quality networking of audio-visual information. *IEEE Communications*, 31:84–95, 1993.
- [17] A. Shah, D. Staddon, I. Rubin, and A. Ratkovic. Multimedia over FDDI. *Proceedings of 17th Conference on Local Computer Networks*, pages 110–124, 1992. Mineapolis.
- [18] C. Partridge. *Gigabit Networking*. Adison Wesley, Reading, MA, 1994.
- [19] J. D. Russell. Multimedia networking performance requirements. In R. O. Onvural Y. Viniotis, editor, *Asynchronous Transfer Mode Networks*, pages 187–197. Plenum Press, NY, 1993.
- [20] T. Tanaka. Is packet-usage pricing inevitable?, GLOCOM research paper no.10. <http://tenjin.glocom.ac.jp/tanaka/inet/Pricing>, December 1994.
- [21] C.W. Johnson. The impact of retrieval delays on the value of distributed information. <http://www.dcs.gla.ac.uk/johnson/papers/value.html>, 1995.
- [22] C.W. Johnson. Why CHI (computer-human interaction) has failed to improve the web. <http://www.dcs.gla.ac.uk/johnson/papers/web98.html>, 1998.
- [23] C.W. Johnson. Questioning the foundations of utility for quality of service in interface development. In *Interactive Systems: Design, Specification and Verification*, Berlin, Germany, 2001. Lecture Notes in Computing Science 1946.
- [24] N. T. Bhatti, A. Bouch, and A. Kuchinsky. Integrating user-perceived quality into Web server design. *WWW9 / Computer Networks*, 33(1-6):1–16, 2000.
- [25] J. Nielson. *Usability Engineering*. AP Professional Press, Boston, US, 1994.

**Urban Burnik** je diplomiral leta 1992, magistriral leta 1996 in doktoriral leta 2002, vse na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Zaposlen je na Fakulteti za elektrotehniko, trenutno kot asistent za predmete s področja digitalne obdelave signalov in mobilnih komunikacij. V domačih in tujih publikacijah, na delavnica in konferencah je objavil več del s področja uporabe masivnih vzporednih struktur, večdimenzionalne obdelave signalov in telekomunikacijskih storitev. Aktiven je pri domačih in mednarodnih raziskovalnih projektih. Je član organizacije IEEE-The Institute of Electrical and Electronics Engineers.

**Jurij F. Tasič** je redni profesor na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. Na tej fakulteti je diplomiral leta 1971, magistriral leta 1973 in doktoriral leta 1977. Je predstojnik Laboratorija za digitalno obdelavo signalov, slike in videa. Njegovo raziskovalno delo je na področju digitalne obdelave signalov, slik in videa, algoritmov za delo v realnem času in adaptivnih sistemov s poudarkom na arhitekturah. Njegove raziskave obsegajo še sodobne digitalne telekomunikacije, osebno prilagojene multimedijske komunikacijske storitve in interaktivnost. V domačih in tujih publikacijah, na delavnica in konferencah je objavil veliko del s področja uporabe masivnih vzporednih struktur, večdimenzionalne obdelave signalov in telekomunikacijskih storitev. Aktiven je pri domačih in mednarodnih raziskovalnih projektih. Je član organizacije IEEE-The Institute of Electrical and Electronics Engineers.