

IT Tutkimusryhmä: Käyttöliittymät

Professori Antti Oulasvirta

Käytettävyys ja käyttäjäkokemus ovat tärkeitä mutta vaikeita tavoitteita tieto- ja viestintäteknologian suunnittelussa. Hyvin suunniteltu käyttöliittymä voi olla ratkaiseva kilpailuetu markkinoilla, työelämässä se voi parantaa työtehokkuutta ja vähentää työperäisiä sairauksia ja jopa pelastaa ihmishenkiä. Jokainen tietää esimerkkejä epäonnistuneista käyttöliittymistä, kuuluisimmat niistä ovat koituneet erittäin kalliiksi. Mutta miksi käyttöliittymäsuunnittelu on niin vaikeaa, miksi ongelmaa ei ole ratkaistu tunnetuin insinöörimenetelmin? Vaikka käyttöliittymäsuunnittelun voi muotoilla insinööri-ongelmana, niitä erotta yksi olennainen tekijä: Käyttöliittymän ”hyvyys” on inhimillisesti eikä fyysisesti määritynyt. Tämän takia suunnittelutavoitteet ovat usein epäselkeitä ja niihin vaikuttavat muuttujat tuntemattomia ja vaikeita selvittää.

Tutkimusryhmämme tutkii laskennallisia menetelmiä, jotka optimoivat käyttöliittymien parametreja ja suunnittelevat kokonaisia käyttöliittymiä automaattisesti. Laskennalliset menetelmät ovat ohjelmia, jotka hyödyntävät matemaattisia malleja käyttäjien toiminnasta tai kokemuksesta löytääkseen optimaalisen tavan parametrisoida käyttöliittymä. Käytämme kokeellisen psykologian menetelmiä mallintaaksemme käyttöön ja kokemukseen vaikuttavat keskeiset tekijät. Näin suunnitteluohjelma voi ottaa huomioon hyvinkin monimutkaisia inhimillisiä tekijöitä. Sovellusalueita ovat mm. syöttölaitteet, valikkojärjestelmät, www-palvelut, dialogikäyttöliittymät ja tietoliikenne.

Aihe 1 / Topic 1: *Modeling Effects of Network Latency on Input Performance*

Ohjaaja / Advisor: Antti Oulasvirta, antti.oulasvirta@aalto.fi

Aiheen kuvaus / Description of the task:

Matlab-based modeling of how Quality of Service in network affects end-users' performance in simple input tasks, such as pressing a button at desired moment. Methodology: Control theory, modeling, and latency.

Avainsanat / Keywords: Control theory, modeling, latency, Matlab

Työn ohjauskieli / Language of the instruction: Suomi, English

Aihe 2/ Topic 2: *Optimization of Tabbed Menus*

Ohjaaja / Advisor: Niraj Dayama, niraj.dayama@aalto.fi

Aiheen kuvaus / Description of the task:

Integer Programming based optimization of menu systems for smartphones, using a method developed in the group.

Työn ohjauskieli / Language of the instruction: English

IT/TLT Tutkimusryhmä: Tietoverkkotalous

Professori Heikki Hämmäinen

Tietoverkkojen käytön kasvaessa myös niiden taloudellinen merkitys kasvaa nopeasti. Tietoverkkoekosysteemin alueella esiin on noussut uusia ilmiöitä kuten taajuushuutokaupat, palveluiden hyperkilpailu, mainosrahoitteiset tulomallit, suuret laiteinvestoinnit, ja vaikeat teknologiavalinnat. Päätöksenteossa tarvitaan tekniikan lisäksi myös mikrotalouden teorioiden ja menetelmien tuntemusta.

Tutkimusryhmämme tutkii teknistaloudellisia kysymyksiä radioverkkojen, Internet-teknologioiden ja mobiilipalvelujen alueella. Työkalupakkiin kuuluu sellaisia menetelmiä kuin teknistaloudellinen mallinnus, systeemidynamiikka, skenaariomallinnus, tilastollinen analyysi ja simulointi.

Aihe 1 / Topic 1: *Wireless Backhaul Approaches for 5G Small Cells*

Ohjaaja / Advisor: Jaspreet Singh Walia, jaspreet.walia@aalto.fi

Aiheen kuvaus / Description of the task:

The fifth generation (5G) communication technology is expected to be rolled out in 2020 and as compared to current communication technologies, it is expected that 5G will offer significant performance improvements supporting higher data traffic, higher data rates, higher reliability and lower latency. To fulfill these goals the radio access network must be scalable and reliable with larger bandwidths and lower latencies. Dense small cell deployments are considered to be the key enabling approach in this respect. With wide scale densification using small cells a key technical and economic challenge is the backhaul solution. A fiber optic backhaul might be the best solution today as far as the performance is concerned but it is not ubiquitous and in many cases installation of wired infrastructure can be very expensive. This points to the need to study various wireless backhaul solutions. The student is expected to conduct a literature survey of various wireless backhaul solutions and emerging architectures, considering the types of small cells, technology evolution (massive multiple input multiple output, distributed antenna systems, etc.), suitable frequency bands (millimeter waves, TV white spaces, microwaves, etc.) and spectrum licensing.

Lähteitä / References:

- [1] X. Ge, "5G Wireless Backhaul Networks: Challenges and Research Advances", *IEEE Network*, vol. 28, no. 6, pp. 6-11, Nov. 2014
- [2] "Backhaul Technologies for Small Cells Use Cases Requirements and Solutions" in Small Cell Forum, white paper, Feb. 2013.
- [3] NGMN Alliance, "Small Cell Backhaul Requirements", white paper, June 2012.
- [4] M. Paolini, L. Hiley, F. Rayal, "Small-Cell Backhaul: Industry Trends and Market Overview", Senza Fili Consulting Report, 2013

Avainsanat / Keywords: wireless backhaul, 5G, small cells

Työn ohjauskieli / Language of the instruction: English

Aihe 2 / Topic 2: Free Mobile Internet Data in Emerging Markets

Ohjaaja / Advisor: Jaume Benseny, jaume.benseny@aalto.fi

Aiheen kuvaus / Description of the task:

In developing countries, the mobile Internet penetration rate has already exceeded the fixed Internet. According to a survey carried out in 2011, more than 80% of Internet users in Namibia, Uganda, and Ethiopia accessed the Internet via a mobile phone. However, despite the global decrease in mobile data prices, Internet access remains unaffordable for low-income households. What can be done? In advanced markets, bundle pricing has played an important role in stimulating mobile Internet diffusion. For instance, the bundle of 3G subscriptions with mobile handsets accelerated the subscription growth in Finland. A bundle pricing structure enables companies to market a combination of products for a lower price than the sum of individual prices. As a result, companies are able to increase profit while giving customers a discount. Internet companies such as Google and Facebook experiment with price bundling structures to connect low-income users by zero-rating data or applications. But, is it profitable to subsidize access costs? What services are in the bundle? Is the data free for the end user? An objective of this research is to conduct a literature study to describe existing and emerging Internet bundle pricing structures and to identify their potential to connect low-income users.

Lähteitä / References:

- [1] Soumya Sen, Carlee Joe-Wong, Sangtae Ha, and Mung Chiang. 2013. A survey of smart data pricing: Past proposals, current plans, and future trends. *ACM Comput. Surv.* 46, 2, Article 15 (November 2013). (Recommended content: Section 4, section 5.10, section 7)
- [2] Andrews, M., Özen, U., Reiman, M. I., & Wang, Q. (2013, April). Economic models of sponsored content in wireless networks with uncertain demand. In *INFOCOM, 2013 Proceedings IEEE* (pp. 3213-3218). (Recommended content: Section 1)
- [3] Facebook's free-access internet is limited – and that's raised questions over fairness. <http://theconversation.com/facebooks-free-access-internet-is-limited-and-thats-raised-questions-over-fairness-36460>

Avainsanat / Keywords: mobile Internet, bundle pricing, affordable Internet

Työn ohjauskieli / Language of the instruction: English

Topic 3: Smart City Value Networks – Case of Video Monitoring Service

Advisor: Heikki Hämäläinen, heikki.hammainen@aalto.fi, and Bahareh Gholampooryazdi, bahareh.gholampooryazdi@aalto.fi

Background: In an evolving smart city ICT architecture new services are being designed and tested. One scalable approach is based on smart light poles with 5G base stations like in our LuxTurrin5G project. One of the expected services is video monitoring where cameras are integrated in smart light poles. What are the current value networks of video monitoring? Which cities have succeeded best? What are the bottlenecks of service adoption?

Tasks: Your task is to make a literature study on the state-of-the-art of city video monitoring service and, depending on study results, propose alternative value network and business model solutions.

References:

[1] <https://www.tekes.fi/en/whats-going-on/news-2017/5g-on-smart-light-poles-opens-new-services-and-business/>

[2] Other LuxTurrin5G project materials from instructors

Prerequisites: Basic knowledge of software architectures and economics.

Language: English

IT Research group of prof. Yu Xiao

Prof. Yu Xiao

The research group conducts experimental systems research in the fields of mobile crowdsensing, cognitive augmented reality, and edge computing. Their research work includes two parts. One is creating novel mobile applications to solve real life problems, such as cognitive assistance for mechanical assembly. The other is solving the performance, energy-efficiency and scalability challenges that the new applications pose to the cloud and network architectures.

Topic 1: A Literature Survey on Vehicle Localization

Advisor: Yu Xiao, yu.xiao@aalto.fi

Background: GPS has been commonly used for vehicle localization. However, GPS is not always available and is error-prone in places such as streets besides high buildings.

Tasks: Conduct a literature survey on different vehicle localization techniques, such as inter-vehicle communication based, vision-based, roadside unit based solutions and their combinations.

Prerequisites: Basic knowledge of wireless communications.

Language: English

Aihe 2 / Topic 2: A Survey on Virtual Therapy

Ohjaaja / Advisor: Yu Xiao, yu.xiao@aalto.fi

Aiheen kuvaus / Description of the task:

Virtual reality and mixed reality technologies have been used for implementing exposure-based therapy for autism, stress disorder, acrophobia and etc. In this work, the student is expected to conduct a survey on the existing virtual therapy systems and applications, analyze the enabling technologies and discuss the remained technical challenges.

Lähteitä / References:

- [1] S. Kuriakose and U. Lahiri, "Design of a Physiology-Sensitive VR-Based Social Communication Platform for Children with Autism," in *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 25, no. 8, pp. 1180-1191, Aug. 2017.
- [2] G. Walkom, "Virtual Reality Exposure Therapy: To Benefit Those Who Stutter and Treat Social Anxiety," 2016 International Conference on Interactive Technologies and Games (ITAG), Nottingham, 2016, pp. 36-41. doi: 10.1109/iTAG.2016.13
- [3] Z. Bai, A. F. Blackwell and G. Coulouris, "Using Augmented Reality to Elicit Pretend Play for Children with Autism," in *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 21, no. 5, pp. 598-610, May 1 2015. doi: 10.1109/TVCG.2014.2385092
- [4] A. Rizzo, A. Hartholt, M. Grimani, A. Leeds and M. Liewer, "Virtual Reality Exposure Therapy for Combat-Related Posttraumatic Stress Disorder," in *Computer*, vol. 47, no. 7, pp. 31-37, July 2014. doi: 10.1109/MC.2014.199
- [5] P. Linder, A. Miloff, and et al. Creating state of the art, next-generation Virtual Reality exposure therapies for anxiety disorders using consumer hardware platforms: design considerations and future directions. *Cogn Behav Ther.* 2017 Sep;46(5):404-420. doi: 10.1080/16506073.2017.1280843. Epub 2017 Mar 8.
- [6] Baus O, Bouchard S. Moving from Virtual Reality Exposure-Based Therapy to Augmented Reality Exposure-Based Therapy: A Review. *Frontiers in Human Neuroscience.* 2014;8:112. doi:10.3389/fnhum.2014.00112.

Avainsanat / Keywords: virtual habitation, virtual reality, mixed reality

Työn luonne / Nature of the work: Survey

Työn ohjauskieli / Language of the instruction: English

Aihe 3 / Topic 3: Features Extraction for Textureless Object Detection

Ohjaaja / Advisor: Truong-An Pham, truong.pham@aalto.fi

Aiheen kuvaus / Description of the task:

Object recognition is one of prerequisite tasks which help Augmented Reality systems understand the scene for setting up virtual contents in a logical way. There are several approaches for doing object recognition such as template matching, features extraction, etc. Only features extraction is still the state-of-the-art approach for recognizing objects. Although feature extraction approaches are quite robust and fast, they do not work well with textureless objects which are commonly in industrial sector. Therefore, this work aims to develop and evaluate the state-of-the-art of textureless features extraction algorithms.

Lähteitä / References:

- [1] Tombari, Federico, Alessandro Franchi, and Luigi Di Stefano. "BOLD features to detect texture-less objects." Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. 2013.
- [2] Chan, Jacob, Jimmy Addison Lee, and Qian Kemao. "BORDER: An Oriented Rectangles Approach to Texture-Less Object Recognition." Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2016.
- [3] Choi, Changhyun, and Henrik I. Christensen. "3D textureless object detection and tracking: An edge-based approach." Intelligent Robots and Systems (IROS), 2012 IEEE/RSJ International Conference on. IEEE, 2012.
- [4] OpenCV library. <http://opencv.org/>
- [5] Hodan, Tomáš, et al. "T-LESS: An RGB-D Dataset for 6D Pose Estimation of Texture-less Objects." Applications of Computer Vision (WACV), 2017 IEEE Winter Conference on. IEEE, 2017.

Avainsanat / Keywords: Image Processing, Feature Detectors, Feature Descriptors.

Työn luonne / Nature of the work: Coding

Työn ohjauskieli / Language of the instruction: English

IT Tutkimusryhmä: Tietoliikenneteoria

Professori Olav Tirkkonen

Suoran tiedonsiirron lisäksi tulevaisuudessa on yhä tärkeämpää nivoa yhteen palveluun liittyvä tarve tiedon varastointiin ja päivittämiseen, sekä käyttäjien ja laitteiden yhteistyön hyödyntäminen.

Professori Olav Tirkkosen ryhmä keskittyy tulevaisuuden tiedonsiirron kannalta olennaisten teknologioiden kehittämiseen ja tutkimukseen. Sovellukset löytyvät pääasiassa langattomasta tietoliikenteestä, erityisesti 5. sukupolven järjestelmien suunnittelusta.

Aihe / Topic: *Compressed Sensing with Applications to Communication Theory*

Ohjaaja / Advisor: Roope Vehkalahti, roope.vehkalahti@aalto.fi

Aiheen kuvaus / Description of the task:

Compressed sensing (CS) is a general framework that considers acquiring signal from undetermined linear systems. While similar ideas have been applied before in multitude of different scenarios the general theory was build only in the recent breakthrough papers [1] and [2].

Since then compressed sensing techniques has been suggested to multiple different applications varying from multi user reception in wireless communication to single pixel cameras and the framework of CS has become a central research tool in many signal processing and communication problems.

This work concentrates on presenting the basic results of compressed sensing and discussing few of its applications to wireless communication. A modest background on linear algebra would be beneficial for this theoretical work.

Lähteitä / References:

[1] J. Candes, J. Romberg and T.Tao,

Robust uncertainty principles: exact signal reconstruction from highly incomplete frequency information, IEEE Trans. Inf. Theory, vol 52, issue 2, pp. 489--509 Feb. 2006.

[2] D. L. Donoho, Compressed sensing, IEEE Trans. Inf. Theory, vol 52, issue 4, pp. 1289--1306, April 2006.

[3] Jun Won Choi, Byonghyo Shim, Yacong Ding, Bhaskar Rao, and Dong In Kim,

Compressed Sensing for Wireless Communications: Useful Tips and Tricks

IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 19, Issue 3,pp. 1527--1550, 2017.

[4] M. Davenport, M. Duarte, Y. Eldar and G. Kutyniok

Compressed Sensing: Theory and Applications

Cambridge University Press, 2011.

Avainsanat / Keywords: Compressed sensing, wireless communication

Työn luonne / Nature of the work: Kirjallisuuskatsaus, literature study

Työn ohjauskieli / Language of the instruction: Suomi, English

IT Tutkimusryhmä Informaatioteoria

Professori Patric Östergård

Ryhmä tutkii diskreetin matematiikan ja informaatioteorian tutkimusongelmia. Pääasialliset työkalut ovat kombinatoriset algoritmit ja suuret tietokonelaskennat.

Monet tutkituista ongelmista liittyvät perustavanlaatuisiin matemaattisiin rakenteisiin (kuten virheenkorjaaviin koodeihin) ja niiden ominaisuuksiin, ja tutkittavien ongelmien motivaationa on usein sovellukset tieto- ja tietoliikennetekniikassa.

Aihe 1 / Topic 1: A Survey on Quantum Error-Correcting Codes

Ohjaaja / Advisor: Ferenc Szollosi, ferenc.szollosi@aalto.fi

Aiheen kuvaus / Description of the task:

The student should read and understand the paper "Quantum Error Correction Via Codes Over GF(4)" (see reference [1]), and based on it write an expository thesis on quantum error-correcting codes. The most important developments of the last decade should be surveyed. Linear algebra and (some) knowledge of coding theory is what required.

Lähteitä / References:

- [1] A.R. Calderbank, E.M. Rains, P.W. Shor, N.J.A. Sloane: Quantum Error Correction Via Codes Over GF(4), IEEE Transactions on Information Theory 44:4, 1369--1387 (1998). (Preprint freely available at arXiv:quant-ph/9608006v5.)
- [2] M.A. Nielsen, I.L. Chuang: Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press (2000).
- [3] M. Grassl and M. Harada: New self-dual additive F4-codes constructed from circulant graphs, Discrete Mathematics, 340:3, 399--403 (2017). (Preprint freely available at arXiv:1509.04846v2 [math.CO].)

Avainsanat / Keywords: quantum error-correcting codes

Työn luonne / Nature of the work: reading a research paper and some (online) library research

Työn ohjauskieli / Language of the instruction: Suomi, English

Aihe 2 / Topic 2: *Latinalaisten neliöiden lukumäärät*

Ohjaaja / Advisor: Antti Laaksonen, antti.2.laaksonen@aalto.fi

Aiheen kuvaus / Description of the task:

Latinalainen neliö on $n \times n$ -ruudukko, jonka jokaisessa ruudussa on luku väliltä $1..n$ ja tietty luku esiintyy tarkalleen kerran kullakin pysty- ja vaakarivillä. Työssä perehdytään menetelmiin, joiden avulla voi laskea latinalaisten neliöiden lukumääriä (tarkempi aihe sovitaan työtä aloittaessa).

Lähteitä / References:

[1] <https://oeis.org/A002860>

Avainsanat / Keywords: Latinalainen neliö, kombinatoriikka, laskenta

Työn luonne / Nature of the work: Kirjallisuuskatsaus

Työn ohjauskieli / Language of the instruction: Suomi, English

IT Tutkimusryhmä: Tietoliikennetekniikka

Professori Riku Jäntti

Tietoyhteiskunnassa on tapahtumassa murros, jossa tietotekniikka tunkeutuu kaikkiin paikkoihin ja elämäntilanteisiin; lähes kaikenlainen sisältö luodaan, jaellaan ja kulutetaan digitaalisesti; ihmisten ohella erilaiset esineet, tavarat ja paikatkin liittyvät verkkoon kaikkialle sijoitettujen elektronisten tunnisteiden avulla. Tässä erilaisilla langattomilla järjestelmillä on keskeinen rooli.

Tutkimusryhmä keskittyy langattomien tietoliikennejärjestelmien radioresurssien hallintaan sekä spektrin joustavaan käyttöön. Tutkimuksen kohteena ovat erilaiset lyhyenkantaman verkot sekä 4. ja 5. sukupolven matkaviestinjärjestelmät sekä niiden sovellukset laitteiden väliseen kommunikaatioon.

Topic 1: Header Compression in NB-IoT

Advisor: Kalle Ruttik, kalle.ruttik@aalto.fi

Background: Robust Header Compression (ROCH) is a method for reducing internet packet header size in communication links. It is especially useful in mobile radio interface where by compressing headers more capacity is available for payload data. In 3GPP cellular systems (LTE for instance) the header compression is defined in PDCP layer specification 36.306. LTE for instance uses compression as specified in RFC 3095, RFC 4815, RFC 5225.

Task: In this work you will describe the working principle of ROCH and use open source implementations of ROCH to demonstrate how the compression works. The demonstration is a simulator that implements an UDP tunnel which uses header compression. The demonstration is preferable implemented in C or C++.

References:

- [1] http://www.effnet.com/pdf/Whitepaper_Robust_Header_Compression.pdf
- [2] http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136300_136399/136306/14.04.00_60/ts_136306v140400p.pdf
- [3] <https://rohc-lib.org/>

Prerequisites: Programming in C or C++.

Language: Suomi/English

Topic 2: Fronthaul Protocol Implementation (eCPRI)

Advisor: Kalle Ruttik, kalle.ruttik@aalto.fi

Background: In cloud radio access system the radio processing is split between the radio frontend, remote radio head (RRH) and cloud based baseband processing (CRAN). In such configuration the RRH implements baseband signal up and down conversion and the base band processing is in (CRAN). The RRH and CRAN communicate over fronthaul network. eCPRI is a new packet based fronthaul interface developed by CPRI forum. It defines baseband IQ samples and meta data format that flows on fronthaul link.

Tasks: Your task is to make the overview of eCPRI specification. One part of the work would be to make a simple implementation of the specification. The implementation will later be extended to be communication protocol of hardware frontend developed in Comnet (Aalto) and a Ubuntu Linux server.

References:

[1] <http://www.nomor.de/uploads/5d/5f/5d5f51ce8bd3efebf1dc187f220d32df/2017-09-5G-RAN-Interfaces-and-eCPRI.pdf>

[2] <http://www.cpri.info/spec.html>

Prerequisites: Programming in C or C++.

Language: Suomi/English

Ryhmä tutkii tietoliikennejärjestelmien ja tietoverkkojen liikenteen matemaattista mallintamista, suorituskyvyn analysointia sekä optimaalista ohjausta ja resurssien allokointia. Käytetyt matemaattiset menetelmät perustuvat pääasiassa soveltavaan stokastiikkaan, jonoteoriaan, teleliikenneteoriaan, skeduloinnin teoriaan sekä stokastisen optimoinnin teoriaan. Näiden lisäksi tutkimuksessa tyypillisesti sovelletaan tapahtumapohjaista simulointia sekä muita numeerisia menetelmiä.

Aihe / Topic: *Replikoinnin vaikutus laskentatöiden viiveeseen laskentakeskuksissa*

Ohjaaja / Advisor: Pasi Lassila, pasi.lassila@aalto.fi

Aiheen kuvaus / Description of the task:

Datakeskus koostuu rinnakkaisista palvelimista, jotka palvelevat satunnaisesti saapuvia töitä. Kun työ saapuu systeemiin, tehdään reitityspäätös, mihin jonoon/palvelimeen saapunut työ laitetaan. Tavoitteena on minimoida töiden viive järjestelmässä. Nykyaikaisissa datakeskuksissa yksi tekniikka, jolla voidaan tehokkaasti pienentää viivettä, on käyttää ns. redundant requests tekniikkaa. Siinä saapuva työ voidaan replikoida suoritettavaksi useammalle palvelimelle samanaikaisesti. Työn valmistumiseen riittää, että mikä tahansa näistä kopiaista valmistuu. Tällaista tekniikkaa on käytetty mm. Googlen Big Table sovelluksessa [1].

Artikkelissa [2] on analysoitu töiden replikoinnin vaikutusta olettamalla, että töitä saapuu Poisson-prosessin mukaisesti, töitä palvellaan FIFO jonokurin mukaan, töiden palveluajat ovat eksponentiaali-jakautuneita ja riippumattomia eri palvelimilla ja että työn poistamisesta jonosta ei ole mitään lisäkustannusta. Artikkelissa on johdettu tasapainojakauma ja keskiviiveet erilaisille kahden/kolmen jonon perustatapauksille replikoinnin hyödyntämiseksi, eli ns. N, W ja M malleille.

Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan N mallia, ja oletetaan, että palvelimet palvelevat töitä PS jonokurin mukaisesti. Töiden koko oletetaan eksponentiaaliseksi, jolloin systeemi voidaan mallintaa 2-ulotteisena Markov prosessina. Tehtävänä on numeerisesti laskea tästä prosessista töiden viive PS jonokurilla. Tätä voidaan sitten verrata tunnettuihin tuloksiin FIFO jonokurilla. Työtä on mahdollista laajentaa niin, että tarkastellaan myös M ja W malleja. Kandityön menestykseks suorittaminen edellyttää hyviä tietoja kurssilta ELEC-C7210 Tietoverkkojen mallinnus ja analyysi ja sopivan matematiikkaohjelmiston (matlab/Mathematica) käytön hallitsemista.

Lähteitä / References:

- [1] Jeffrey Dean and Luiz André Barroso. 2013. The tail at scale. Commun. ACM 56, 2 (February 2013), 74-80.
- [2] Kristen Gardner, Samuel Zbarsky, Sherwin Doroudi, Mor Harchol-Balter, and Esa Hyttia. 2015. Reducing Latency via Redundant Requests: Exact Analysis. In Proceedings of the 2015 ACM SIGMETRICS International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems (SIGMETRICS '15). ACM, New York, NY, USA, 347-360.

Avainsanat / Keywords: jonojärjestelmät, Markov prosessit, töiden replikointi, palvelinkeskukset

Työn ohjauskieli / Language of the instruction: Suomi
