

Željka Lučev Vasić¹, Yueming Gao², Min Du², Mario Cifrek¹

萨格勒布大学电气工程与计算学院与福州大学合作的十年

¹ 萨格勒布大学电气工程与计算机学院

² 福州大学物理与信息工程学院

2011年2月的一个午后，一位来自福州大学物理与信息工程学院的高跃明博士浏览了中国科技部官方网站的一条项目征集指南。随即他给邮箱通讯录中萨格勒布大学电气工程与计算学院的博士生 Željka Lučev Vasić 发了一份邮件，提议由双方科研导师共同申报克罗地亚-中国科技政府间科技合作项目。当时两个团队正从两条不同的技术路线上开展人体通信技术研究，共同致力于如何将人体本身作为通信信道来实现体表和内部各种生理、健康设备之间的低功耗数据传输。功夫不负有心人。2011年10月，合作项目“体域网中人体通信技术研究”获得双方政府资助。该项目负责人是萨格勒布大学 Mario Cifrek 教授和福州大学兼职教授、澳门大学副教授韦孟宇。图1所示，该项目研究人员来自三所高校。



图1 合作单位：福州大学，萨格勒布大学，澳门大学

从那次合作起，克中双方一直保持着良好的合作，包括人体通信以及用于健康和康复监测的无线设

备和网络领域。主要的研究课题是电流耦合和电容耦合人体通信系统模型、信道测量以及收发电路设计，最近又扩展了肌阻抗图和运动生理参数监测等领域的研究。

克罗地亚和中国的研究人员具有相同的学术背景和研究方向，但又侧重于相似研究问题的不同方面。克方在电容式人体通信，生物力学中的肌肉疲劳评估、生物医学传感器（如 EMG, ECG, EEG），超带宽(UWB)和生物医学信号处理等领域有丰富的经验。中方(福州大学和澳门大学)擅长于电流耦合人体通信，生物医学系统的电磁建模，多种生化参数的实时监测以及医疗器械的设计。他们也拥有医疗器械开发的产业化和认证经验。迄今为止，合作团队承担了4个双边政府间合作项目1个中国科技部国际合作项目和2个福建省科技厅对外合作项目：

- 1、2011-2013，“体域网中人体通信技术研究”，双边项目，Mario Cifrek 教授和韦孟宇副教授
- 2、2013-2015，“体域网中人体通信多耦合技术的合作研究”，中国科技部国际科技合作项目，韦孟宇副教授和 Mario Cifrek 教授
- 3、2015-2017，“健康物联网中人体通信关键技术的研究”，双边项目，Mario Cifrek 教授和高跃明研究员
- 4、2018-2020，“体内通信技术在健康体域网中的应

用研究”，双边项目，Željka Lučev Vasić 助理教授和高跃明研究员

- 5、2018-2021，“基于肌肉阻抗描记法的穿戴式肌肉疲劳程度检测技术合作研究”，福建省科技计划项目，Željka Lučev Vasić 助理教授和高跃明研究员
- 6、2020-2022，“用于运动疲劳监测的体域网研究”，双边项目，Mario Cifrek 教授和高跃明研究员
- 7、2021-2024，“多频激励阻抗谱在腰背肌肉状态动态评估中的合作研究”，福建省科技计划项目，Željka Lučev Vasić 助理教授和高跃明研究员

克罗地亚在这些项目中的主要研究人员有：Željka Lučev Vasić 助理教授、Mario Cifrek 教授、Igor Krois 教授、Silvio Hrabar 教授、Josip Lončar 助理教授、Ivana Čuljak 博士以及 Krešimir Friganović 博士。中国在这些项目的主要研究人员有：高跃明研究员、杜民教授、韦孟宇副教授、潘少恒副教授、麦炳源助理教授，如图 2 至图 7。双方已经合作培养了 4 名博士（克罗地亚 1 名，中国澳门 2 名，中国内地 1 名）和 37 名硕士（克罗地亚 16 名，中国澳门 4 名，中国内地 17 名）。

在提交第一个项目提案后两周内，福州大学的高跃明和萨格勒布大学的 Željka Lučev Vasić 于 2011 年 5 月在中国杭州召开的 IEEE 国际仪器仪表与测量技术会议 (PMTIC 2011) 首次会面，如图 2。

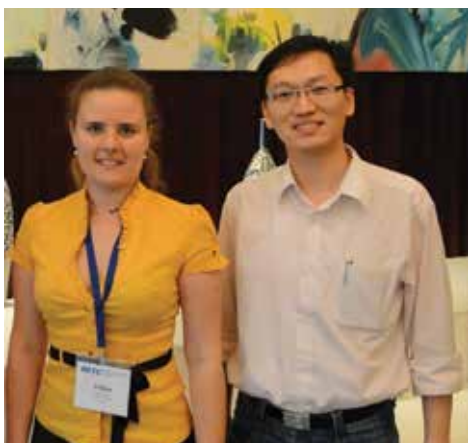


图2 在中国杭州 IEEE国际仪器仪表与测量技术会议的第一次会面，Željka Lučev Vasić (萨格勒布大学) 和高跃明 (福州大学)

在2012年5月中国北京的 IFMBE 世界医学物理与生物医学工程学术大会期间，新成立的项目合作组进行了第一次工作会议，如图 3。

此外，研究人员多次互访实验室，并做演讲和实验。在2013年5月，由 IFMBE 和 IEEE 资助的国际人体通信研讨会在萨格勒布举行。来自克罗地亚和中国的研究组成员，以及萨格勒布大学的研究人员介绍了他们关于人体通信和人体信号传输方面的工作。

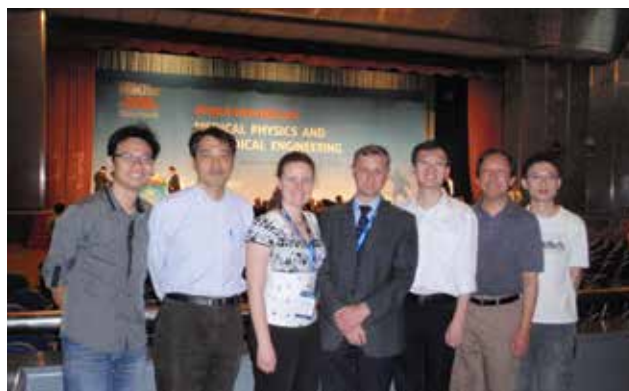


图3 2012年5月的会面，潘少恒(澳门大学)，麦炳源(澳门大学)，Željka Lučev Vasić (萨格勒布大学)，Mario Cifrek (萨格勒布大学)，高跃明(福州大学)，韦孟宇(澳门大学)，Pedro Antonio Mou (澳门大学)



图4 2013年5月在萨格勒布大学的实验测量，潘少恒(澳门大学)，麦炳源(澳门大学)，高跃明(福州大学)，韦孟宇(澳门大学)，Željka Lučev Vasić (萨格勒布大学)

2015年6月，科技部李萌副部长在中国驻克罗地亚大使陪同下来访萨格勒布大学。在听完萨格勒布大学与中国研究团队已完成的双边项目的介绍之后，代表团参观了双方在人体通信研究成果并合影留念，如图5。

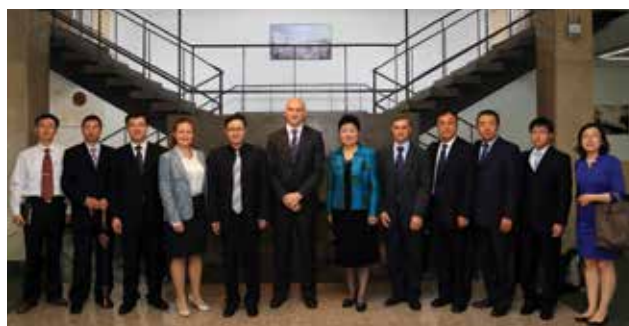


图5 2015年6月中国科技部代表团和中国驻克罗地亚大使馆于萨格勒布大学参观项目组合作情况，高跃明(左一)，Željka Lučev Vasić (左四)，李萌副部长(左五)，Gordan Gledec 副院长(左六)，邓英大使(左七)，Mario Cifrek 教授(右五)

由于在学术、科学和文化事务等方面的共同兴趣和持续合作，秉承着促进教育和研究的学术合作的目的

标, 福州大学物理与信息工程学院与萨格勒布大学电气工程与计算学院在 2018 年签署了国际合作备忘录。

在 2019 年 4 月中国国家总理李克强先生出席在克罗地亚杜布罗夫尼克举办的第八次中国-中东欧国家领导人会晤, 期间参观了“中国-中东欧国家教育合作交流展”。展会上萨格勒布大学, 福州大学和澳门大学的合作交流事迹被选为克罗地亚与中国教育机构的三项合作典型之一向克强总理介绍。

在 2020 年 5 月的 2020 年 IEEE 国际仪器仪表与测量技术会议 (I2MTC 2020), 高跃明与 Željka Lučev Vasić 组织并共同主持了一场“体域网的人体通信”特别会议, 并提交了 5 篇论文。

时至今日, 克中双方在生物医学工程等领域仍保持着密切的合作, 并且多个新的合作项目和论文正在申报和评审中。

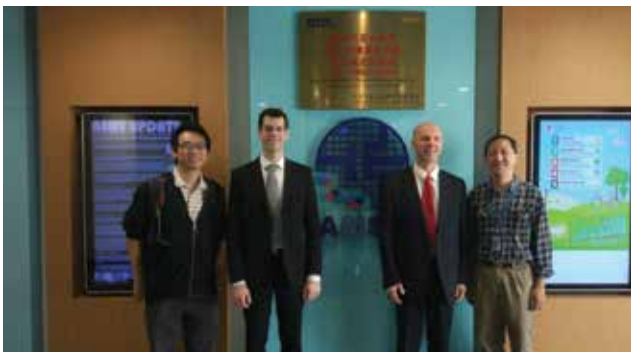


图6 2017 年 12 月在澳门, 潘少恒(澳门大学), Josip Lončar (萨格勒布大学), Silvio Hrabar (萨格勒布大学), 韦孟宇(澳门大学)

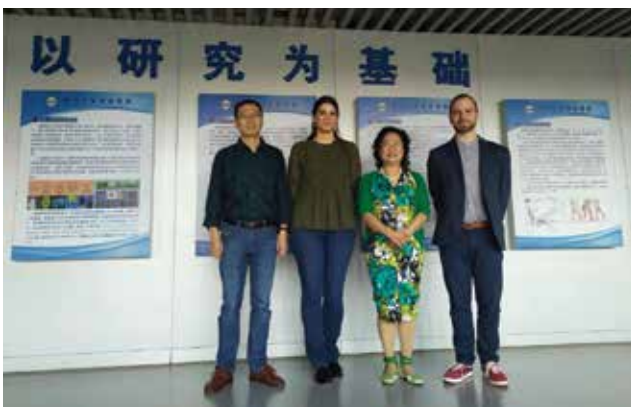


图 7 2019 年 10 月在福州, 高跃明(福州大学), Ivana Čuljak (萨格勒布大学), 杜民(福州大学), Krešimir Friganović (萨格勒布大学)

参考书目:

自 2013 年首次共同发表论文以来, 除各组独立发表的论文外, 克中双方已合作发表 11 篇期刊论文, 其中 9 篇可在 Web of Science 数据库中检索 (1 篇 Q1, 3 篇 Q2, 3 篇 Q3 和 2 篇 Q4)。剩下两篇文章发表在一个新期刊上, 暂未收录在 WoS 中, 但已经包含在 Scimago 数据库的 Q2 中, 研究人员还

参加了 11 次会议, 发表 16 篇会议论文。其中共同发表的论文 “An Investigation of the FEM Simulation for the Galvanic Coupling IBC Based on Visible Human Data” 在 2015 年 4 月在中国深圳举行的 2015 IEEE International Conference on Consumer Electronics - China 国际会议上获得最佳论文奖。

共同发表的期刊论文:

- [1] Bin Zhou, Yuandong Zhuang, Yueming Gao, Željka Lučev Vasić, Ivana Čuljak, Mario Cifrek, Min Du, "Electrical Impedance Myography for Evaluating Muscle Fatigue Induced by Neuromuscular Electrical Stimulation", IEEE Journal of Electromagnetics, RF and Microwaves in Medicine and Biology, 2021, pp. 1–11. doi: 10.1109/JERM.2021.3092883.
- [2] Linnan Huang, Yueming Gao, Dongming Li, Željka Lučev Vasić, Mario Cifrek, Mang I Vai, Min Du, Sio Hang Pun, „A Leg Phantom Model Based on the Visible Human Data for Intra-Body Communication“, IEEE Journal of Electromagnetics, RF and Microwaves in Medicine and Biology, 2020, pp. 1–11. doi: 10.1109/JERM.2020.3043955.
- [3] Dongming Li, Lin Nan Huang, Yangrong Wen, Yueming Gao, Željka Lučev Vasić, Mario Cifrek, Min Du, "Analysis of Electrical Impedance Myography Electrodes Configuration for Local Muscle Fatigue Evaluation Based on Finite Element Method", IEEE Access (8), 2020, pp. 172233–172243. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3025150.
- [4] JianNan Wang, HaiYan Zhou, Yueming Gao, JieJie Yang, Željka Lučev Vasić, Mario Cifrek, Min Du, „Optimization of the Electrode Configuration of Electrical Impedance Myography for Wearable Application“, Automatika: Journal for Control, Measurement, Electronics, Computing and Communications. 61 (2020), 3, pp. 475–481. doi: 10.1080/00051144.2020.1783615.
- [5] Weikun Chen, Ziliang Wei, Yueming Gao, Željka Lučev Vasić, Mario Cifrek, Mang-I Vai, Min Du, Sio-Hang Pun, „Design of Galvanic Coupling Intra-body Communication Transceiver using Direct Sequence Spread Spectrum Technology“, IEEE Access (8), 2020, pp. 84123–84133. doi:10.1109/ACCESS.2020.2991206.
- [6] Lin Ke Huang, Lin Nan Huang, Yueming Gao, Željka Lučev Vasić, Mario Cifrek, Min Du, „Electrical Impedance Myography Applied to Monitoring of Muscle Fatigue during Dynamic Contractions“, IEEE Access (8), 2020, pp. 13056–13065. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2965982.
- [7] Hai Yan Zhou, Lin Ke Huang, Yueming Gao, Željka Lučev Vasić, Mario Cifrek, Min Du, „Estimating the Ankle Angle Induced by FES via the Neural Network-Based Hammerstein Model“, IEEE Access (7), 2019, pp. 141277–141286.
- [8] Yueming Gao, Hengfei Zhang, Shi Lin, Rui-Xin Jiang, Zhi-Ying Chen, Željka Lučev Vasić, Mang-I Vai, Min Du, Mario Cifrek, Sio-Hang Pun, „Electrical exposure analysis of galvanic-coupled intra-body communication based on the empirical arm models“, BioMedical Engineering OnLine. 17 (71), 2018, pp. 1–16.
- [9] David Naranjo-Hernández, M. Amparo Callejón, Željka Lučev Vasić, MirHojjat Seyedi, Yueming Gao, „Past

Results, Present Trends and Future Challenges in Intrabody Communication“, *Wireless communications and mobile computing*. 2018 (2018), ID 9026847, pp. 1–40.

- [10] Shi Lin, Yueming Gao, Juan Cai, Željka Lučev Vasić, Mang-I Vai, Min Du, Mario Cifrek, Sio-Hang Pun, „Biological Evaluation of the Effect of Galvanic Coupling Intrabody Communication on Human Skin Fibroblast Cells“, *Wireless communications and mobile computing*. 2017 (2017), ID 8674035, pp. 1–8.
- [11] Yueming Gao, Yan-Ting Ye, Shi Lin, Željka Lučev Vasić, Mang-I Vai, Min Du, Mario Cifrek, Sio-Hang Pun, „Investigation of implantable signal transmission characteristics based on visible data of the human leg“, *BioMedical Engineering OnLine*. 16 (88), 2017, pp. 1–14.

共同发表的会议论文:

- [1] Antonio Stanešić, Željka Lučev Vasić, Yueming Gao, Min Du, Mario Cifrek, „Integrated Intrabody Communication Node based on OOK modulation“, *IFMBE Proceedings of the International Conference on Medical and Biological Engineering 2021, CMBEBIH2021*, Mostar, Bosnia and Herzegovina, April 2021, pp. 1–9.
- [2] Željka Lučev Vasić, Mario Cifrek, Yueming Gao, Min Du, „Preliminary Characterization of Capacitive Intrabody Communication Channel under Implantable-Like Conditions“, *2020 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings, I2MTC 2020*, Dubrovnik, Croatia, May 2020, pp. 1–5.
- [3] Ziliang Wei, Weikun Chen, Mingjing Yang, Yueming Gao, Željka Lučev Vasić, Mario Cifrek, „Design and Implementation of Galvanic Coupling Intra-Body Communication Transceivers using Differential Phase Shift Keying“, *2020 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings, I2MTC 2020*, Dubrovnik, Croatia, May 2020, pp. 1–6.
- [4] DongmingLi, Jiahui Wu, Yueming Gao, Min Du, Željka Lučev Vasić, Mario Cifrek, „A Differential Analog Receiver Front-End for Galvanic-Coupled Human Body Communication“, *2020 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings, I2MTC 2020*, Dubrovnik, Croatia, May 2020, pp. 1–5.
- [5] Weikun Chen, Wenzhu Liu, Ivana Čuljak, Xingguang Chen, Haibo Zheng, Yueming Gao, Željka Lučev Vasić, Mario Cifrek, Min Du, „An Investigation on Phase Characteristics of Galvanic Coupling Human Body Communication“, *International Conference on Biomedical and Health Informatics (ICBHI 2019)* Taipei, Taiwan, April 2019, pp. 335–341.
- [6] Shi Lin, Yueming Gao, Hengfei Zhang, Željka Lučev Vasić, Mang-I Vai, Min Du, Mario Cifrek, Sio-Hang Pun, „An intra-body communication research platform based on virtual instrument“, *13th IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI'2017)*, Yangzhou, China, Oct. 2017, pp. 501–506.
- [7] Filip Grilec, Antonio Stanešić, Željka Lučev Vasić, Yueming Gao, Min Du, Cifrek, Mario, „Single-Chip Intrabody Communication Node“, *International Conference on Medical and Biological Engineering 2017, CMBEBIH 2017*, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, March 2017, pp. 305–310.
- [8] Yueming Gao, Ziqin Jiang, Wenshu Ni, Željka Lučev Vasić, Mario Cifrek, Min Du, Mang I Vai, Sio Hang Pun, „A Novel Gait Detection Algorithm Based on Wireless Inertial Sensors“ *International Conference on Medical and Biological Engineering 2017, CMBEBIH 2017*, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, March 2017, pp. 300–304.
- [9] Filip Grilec, Željka Lučev Vasić, Wenshu Ni, Yueming Gao, Min Du, Cifrek, Mario, „Wireless intrabody communication sensor node realized using PSoC microcontroller“, *39th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO 2016*, Opatija, Croatia, May 2016, pp. 426–429.
- [10] Wenshu Ni, Yueming Gao, Željka Lučev Vasić, Sio Hang Pun, Mario Cifrek, Mang I Vai, Min Du, „Human posture detection based on human body communication with multi-carriers modulation“, *39th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO 2016*, Opatija, Croatia, May 2016, pp. 273–276.
- [11] Han-Bin Shen, Yueming Gao, Min Du, Mang I Vai, Željka Lučev Vasić, Mario Cifrek, „The Analysis of Channel Characteristics and Implementation of Modem Based on Virtual Instrument in Intra-body Communication“, *2015 International conference on biomedical engineering and life science (BELS 2015)*, Wuhan, China, Nov. 2015, pp. 242–247.
- [12] Yueming Gao, Juan Cai, Zhumei Wu, Željka Lučev Vasić, Min Du, Mario Cifrek, „The design and experiment of the leg model based on galvanic coupled intra-body communication“, *9th International Workshop, MIWAI 2015 Proceedings*, Fuzhou, China, Nov. 2015, pp. 306–313.
- [13] Yueming Gao, Zhu Mei Wu, Mang I Vai, Željka Lučev Vasić, Mario Cifrek, „An Investigation of the FEM Simulation for the Galvanic Coupling IBC Based on Visible Human Data“, *ICCE-China 2015*, Shenzhen, China, April 2015 (best paper award).
- [14] Yueming Gao, Xiuxiang Li, Željka Lučev Vasić, Siohang Pun, PunUn Mak, Igor Krois, Mario Cifrek, MangI Vai, „Investigation of Power Consumption with Different MAC Layer Protocols for Galvanic Coupling Intra-body Communication“, *MBEC 2014*, Dubrovnik, Croatia, Sep. 2014, pp. 655–658.
- [15] Yueming Gao, Xiuxiang Li, Željka Lučev Vasić, Siohang Pun, PunUn Mak, Igor Krois, Mario Cifrek, MangI Vai, „Channel Modeling and Simulation for Galvanic Coupling Intra-body Communication“, *15th International Conference on Biomedical Engineering, ICBME 2013*, Singapur, Dec. 2013, pp. 655–658.
- [16] Željka Lučev Vasić, Yueming Gao, Siohang Pun, PunUn Mak, MangI Vai, Igor Krois, Mario Cifrek, „Effect of Transmitter and Receiver Electrodes Configurations on the Capacitive Intrabody Communication Channel from 100 kHz to 100 MHz“, *15th International Conference on Biomedical Engineering, ICBME 2013*, Singapur, Dec. 2013, pp. 613–616.