IMPI ÉMENTATIONS TEMPS RÉFL D'UN RÉCEPTEUR OUASI-CYCLIC SHORT PACKET (OCSP)

Camille MONIÈRE

Lab-STICC, CNRS UMR 6285, Université de Bretagne Sud, 56100 Lorient, France, Email: camille.moniere@univ-ubs.fr

IMS, CNRS UMR 5218, Université de Bordeaux, 33400 Talence, France, Email : camille.moniere@ims-bordeaux.fr

04/01/2023















IMPLÉMENTATIONS TEMPS RÉFI D'UN RÉCEPTEUR OCSP

C MONIÈRE

Avant-propos

Introduction



Introduction

Cette thèse s'est déroulée sous la direction d'Emmanuel BOUTILLON¹, et l'encadrement de Bertrand LE GAL².

Ces travaux de thèse ont été financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR)

Ouasi-Cyclic Short Packet (OCSP), identifiant ANR-19-CF25-0013-01.

française, et s'inscrivent ainsi dans le projet



OF FINANCÉ PAR

^{1.} Pr. Lab-STICC, CNRS UMR 6285, Université de Bretagne Sud, 56100 Lorient, France, Email : emmanel.boutillon@univ-ubs.fr

^{2.} MCF, IMS, CNRS UMR 5218, Université de Bordeaux, 33400 Talence, France, Email : bertrand.legal@ims-bordeaux.fr

Introductio

QCSP

Étude algorithmique

. Implémentations

Expériences grandeur-natures

Conclusion

- 1. Introduction
- 2. QCSP
- 3. Étude algorithmique
- 4. Implémentations
- 5. Expériences grandeur-natures
- 6. Conclusion

Sommaire

1. Introduction

Contexte Le projet Quasi-Cyclic Short Packet (QCSP) IMPLÉMENTATIONS TEMPS RÉEL D'UN RÉCEPTEUR QCSP

C. MONIÈRE

Avant-propos

Sommaire

Introduction Contexte

Le projet Quasi-Cycli Short Packet (QCSP)

QCSF

Étude algorithmique

. Implémentations

Evnériences

grandeur-natui

onclusion

Avant-propos

Sommaire

Introduction
Contexte

Short Packet (Q

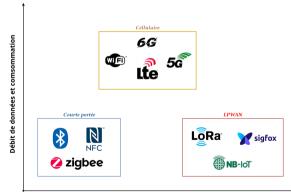
QCSF

Étude algorithmique

Implémentations

Expériences

Conclusion



6G WFi 5G

NFC zigbee



Portée

IMPLÉMENTATIONS TEMPS RÉEL D'UN RÉCEPTEUR QCSP

C. MONIÈRE

Avant-propos

sommaire

Contexte

Le projet Quasi-Cyclic
Short Packet (OCSP)

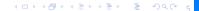
CCB

Étude algorithmique

mplémentations

Expériences

onclusion



Sommaire

2. QCSP

Principes Émission Détection **Synchronisation**

Décodage

IMPLÉMENTATIONS TEMPS RÉEL D'UN RÉCEPTEUR QCSP

C. MONIÈRE

Avant-propos

QCSP

Principes

TODO

IMPLÉMENTATIONS TEMPS RÉEL D'UN RÉCEPTEUR QCSP

C. MONIÈRE

Principes

Émission

TODO

IMPLÉMENTATIONS TEMPS RÉEL D'UN RÉCEPTEUR QCSP

C. MONIÈRE

Avant-propo:

ommaire

Introduction

QCSF

Princip

Émission

Détection

Décodage

Étude algorithmique

angoritimique

mplémentations

xpériences

Conclusion

Détection

TODO

IMPLÉMENTATIONS TEMPS RÉEL D'UN RÉCEPTEUR QCSP

C. MONIÈRE

Détection

Synchronisation

TODO

IMPLÉMENTATIONS TEMPS RÉEL D'UN RÉCEPTEUR QCSP

C. MONIÈRE

Décodage

TODO

IMPLÉMENTATIONS TEMPS RÉEL D'UN RÉCEPTEUR QCSP

C. MONIÈRE

Décodage

Étude algorithmique

3. Étude algorithmique

Sensibilité à un facteur d'échelle Corrélation glissante dans le temps (*Time sliding*)

Sensibilité à un facteur d'échelle

TODO

IMPLÉMENTATIONS TEMPS RÉEL D'UN RÉCEPTEUR QCSP

C. MONIÈRE

Avant-propos

Sommaire

Introduction

QCS

Étude algorithmique Sensibilité à un facteur d'échelle

temps (*Time sliding*)

Implémentations

Expériences grandeur-natures

Conclusion

Corrélation glissante dans le temps (*Time sliding*)

TODO

IMPLÉMENTATIONS TEMPS RÉEL D'UN RÉCEPTEUR QCSP

C. MONIÈRE

Corrélation glissante dans

le temps (Time sliding)

IMPLÉMENTATIONS TEMPS RÉEL D'UN RÉCEPTEUR QCSP

C. MONIÈRE

Avant-propos

50.....

Introducti

QCSP

Étude algorithmique

Implémentations

L'émetteur

Le détecteur

xpériences randeur-natures

onclusion

Bibliography

4. Implémentations L'émetteur Le détecteur

L'émetteur

TODO

IMPLÉMENTATIONS TEMPS RÉEL D'UN RÉCEPTEUR QCSP

C. MONIÈRE

L'émetteur

Le détecteur

TODO

IMPLÉMENTATIONS TEMPS RÉEL D'UN RÉCEPTEUR QCSP

C. MONIÈRE

Étude du parallélisme

IMPLÉMENTATIONS TEMPS RÉEL D'UN RÉCEPTEUR QCSP

C. MONIÈRE

Les corrélations

TODO

Expériences grandeur-natures

5. Expériences grandeur-natures En ville En mer

En ville

TODO

IMPLÉMENTATIONS TEMPS RÉEL D'UN RÉCEPTEUR QCSP

C. MONIÈRE

En ville

En mer

TODO

IMPLÉMENTATIONS TEMPS RÉEL D'UN RÉCEPTEUR QCSP

C. MONIÈRE

Avant-propos

Sommane

Introduction

QCSF

Étude algorithmique

Implémentations

Expériences

randeur-nature

n ville n mer

onclusion

liography

Sommaire

Introducti

OCED

QCSF

Étude algorithmique

Implémentation:

Expériences grandeur-natures

Conclusion

Synthèse

Perspectives futures

libliography

6. Conclusion
Synthèse
Perspectives futures

Conclusion

TODO

IMPLÉMENTATIONS TEMPS RÉEL D'UN RÉCEPTEUR QCSP

C. MONIÈRE

Conclusion

TODO

IMPLÉMENTATIONS TEMPS RÉEL D'UN RÉCEPTEUR QCSP

C. MONIÈRE

Perspectives futures

Introduction

CSP

Étude algorithmique

Implémentation:

Expériences grandeur-nature

Conclusio

- [1] O. ABASSI, « Etude Des Décodeurs LDPC Non-Binaires, » thèse de doct., 2014.
- [2] O. ABASSI et al., « Non-Binary Low-Density Parity-Check Coded Cyclic Code-Shift Keying, » in 2013 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), IEEE, avr. 2013, p. 3890-3894. DOI: 10.1109/WCNC.2013.6555196.
- [3] N. ABRAMSON, «THE ALOHA SYSTEM: Another alternative for computer communications, » in *Proceedings of the November 17-19, 1970, Fall Joint Computer Conference on AFIPS '70 (Fall),* Houston, Texas: ACM Press, 1970, p. 281. DOI: 10.1145/1478462.1478502.
- [4] AHMED ABDMOULEH, « Non-Binary LDPC Codes Associated to High Order Modulations, » Theses, Université de Bretagne Sud, sept. 2017. adresse: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01769283.
- E. ARIKAN, « Channel Polarization : A Method for Constructing Capacity-Achieving Codes for Symmetric Binary-Input Memoryless Channels, » *IEEE Transactions on Information Theory*, t. 55, no 7, p. 3051-3073, juill. 2009, ISSN: 0018-9448, 1557-9654. DOI: 10.1109/TIT.2009.2021379.
- [6] ARM, NEON Programmer's Guide, 1.0. ARM, 2013. adresse: https://documentation-service.arm.com/.
- [7] A. Azarı et al., « Grant-Free Radio Access for Short-Packet Communications over 5G Networks, » in GLOBECOM 2017 2017 IEEE Global Communications Conference, Singapore : IEEE, déc. 2017, p. 1-7, ISBN : 978-1-5090-5019-2. DOI : 10.1109/GLOCOM. 2017. 8255054.
- [8] P. BARONTI et al., « Wireless sensor networks : A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards, » Computer Communications, t. 30, no 7, p. 1655-1695, mai 2007, ISSN: 01403664. DOI: 10.1016/j.comcom.2006.12.020.
- [9] M. A. BEN TEMIM et al., « A New LoRa-like Transceiver Suited for LEO Satellite Communications, » Sensors, t. 22, n^o 5, p. 1830, fév. 2022, ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s22051830.
- [10] C. Berrou et al., « Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding : Turbo-codes. 1, » in *Proceedings of ICC*'93 IEEE International Conference on Communications, t. 2, Geneva, Switzerland : IEEE, 1993, p. 1064-1070, ISBN:
 978-0-7803-0950-0. DOI: 10.1109/ICC.1993.397441.

CSP

tude lgorithmique

mplémentatior

xpériences randeur-nature

Conclusio

- [11] S. BEYME et al., « Efficient computation of DFT of Zadoff-Chu sequences, » Electronics Letters, t. 45, no 9, p. 461, 2009, ISSN 10135194, DOI: 10.1049/e1. 2009. 3330
- [12] T. BJERREGAARD et al., « A survey of research and practices of Network-on-chip, » ACM Computing Surveys, t. 38, n^o 1, p. 1, juin 2006, ISSN: 0360-0300, 1557-7341. DOI: 10.1145/1132952.1132953.
- [13] L. S. Blackford et al., « An Updated Set of Basic Linear Algebra Subprograms (BLAS), » ACM Transactions on Mathematical Software, t. 28, nº 2, p. 135-151, 2002.
- [14] B. BLOESSL et al., « mSync : Physical Layer Frame Synchronization without Preamble Symbols, » IEEE Transactions on Mobile Computing, t. 17, n° 10, p. 2321-2333, oct. 2018, ISSN : 1536-1233, 1558-0660, 2161-9875. DOI : 10.1109/TMC.2018.2808968.
- [15] C. BOCKELMANN et al., «Towards Massive Connectivity Support for Scalable mMTC Communications in 5G Networks,»

 IEEE Access, t. 6, p. 28 969-28 992, 2018, ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2837382.
- [16] M. BOSSERT, Channel Coding for Telecommunications. Chichester, England; New York: Wiley, 1999, ISBN: 978-0-471-98277-7.
- [17] M. Braun et al., « RFNoC: RF Network-on-Chip, » Proceedings of the GNU Radio Conference, t. 1, no 1, sept. 2016. adresse: https://pubs.gnuradio.org/index.php/grcon/article/view/3.
- [18] A. CASSAGNE et al., « A Flexible and Portable Real-time DVB-S2 Transceiver Using Multicore and SIMD CPUs, » in 2021 11th International Symposium on Topics in Coding (ISTC), août 2021, p. 1-5. DOI: 10.1109/ISTC49272.2021.9594063.
- [19] E. CASSEAU et al., «C- BASED RAPID PROTOTYPING FOR DIGITAL SIGNAL PROCESSING, » in EUSIPCO, Turkey: EUSIPCO, 2005, p. 1-4. adresse: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00080466.
- [20] J. CASTIÑEIRA MOREIRA et al., Essentials of Error-Control Coding. West Sussex, England: John Wiley & Sons, 2006, ISBN: 978-0-470-03571-9.
- [21] Cellular IoT Evolution & digitization | Whitepaper, jan. 2019. adresse: https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/white-papers/cellular-iot-evolution-for-industry-digitalization.

CCD

tude Ilgorithmique

implémentation

xpériences

Conclusion

- [22] F. CERQUEIRA et al., « A Comparison of Scheduling Latency in Linux, PREEMPT-RT, and LITMUS RT, », 2013.
- [23] R. CHAUVAT et al., « Efficient LDPC-coded CCSK Links for Robust High Data Rates GNSS, » IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, p. 1-13, 2022, ISSN: 1557-9603. DOI: 10.1109/TAES.2022.3190819.
- [24] A. CHECKO et al., « Cloud RAN for Mobile Networks—A Technology Overview, » IEEE Communications Surveys & Tutorials, t. 17, no 1, p. 405-426, sept. 2015, ISSN: 1553-877X. DOI: 10.1109/COMST.2014.2355255.
- [25] C.-S. CHOI et al., « LoRa Based Renewable Energy Monitoring System with Open IoT Platform, » in 2018 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC), Honolulu, HI, USA: IEEE, Jan. 2018, p. 1-2. DOI: 10.23919/ELINFOCOM, 2018. 8330550.
- [26] K. CHUGG et al., « MLSE for an Unknown Channel .I. Optimality Considerations, » *IEEE Transactions on Communications*, t. 44, no 7, p. 836-846, juill. 1996, ISSN: 00906778. DOI: 10.1109/26.508303.
- [27] D. CHU, « Polyphase Codes with Good Periodic Correlation Properties (Corresp.), » *IEEE Transactions on Information Theory*, t. 18, no 4, p. 531-532, juill. 1972, ISSN: 1557-9654. DOI: 10.1109/TIT.1972.1054840.
- [28] VOLPIN, LÉA et al., « Efficient LoRa-like Transmitter Stacks for SDR Applications, » in *Proceedings of the IEEE International Conference on Circuits and Systems (ICECS)*, Glasgow, UK, oct. 2022, P-P.
- [29] P. Coussy et al., *High-Level Synthesis : From Algorithm to Digital Circuit*, 1. éd. Berlin : Springer Science + Business media B.V. 2008. ISBN : 978-1-4020-8588-8.
- [30] D. AKOPIAN, « Fast FFT based GPS satellite acquisition methods, » *IEE Proceedings Radar, Sonar and Navigation*, t. 152, n^o 4, p. 277-286, août 2005, ISSN: 1350-2395. DOI: 10.1049/ip-rsn: 20045096.
- [31] M. DAVEY et al., « Low-density parity check codes over GF(q), » *IEEE Communications Letters*, t. 2, n^o 6, p. 165-167, juin 1998, ISSN: 1089-7798. DOI: 10.1109/4234.681360.
- [32] J. Day et al., «The OSI Reference Model, » Proceedings of the IEEE, t. 71, no 12, p. 1334-1340, déc. 1983, ISSN: 1558-2256. DOI: 10.1109/PROC.1983.12775.

- [33] Y. DELOMIER et al., « Model-Based Design of Flexible and Efficient LDPC Decoders on FPGA Devices, » *Journal of Signal Processing Systems*, fév. 2020, poi: 10.1007/s11265-020-01519-0.
- [34] Y. DELOMIER et al., « Model-Based Design of Hardware SC Polar Decoders for FPGAs, » ACM Transactions on Reconfigurable Technology and Systems (TRETS), t. 13, n° 2, mai 2020. adresse: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02612069.
- [35] C. DENG et al., « IEEE 802.11be Wi-Fi 7: New Challenges and Opportunities, » IEEE Communications Surveys & Tutorials, t. 22, no 4, p. 2136-2166, 2020, ISSN: 1553-877X. DOI: 10.1109/COMST.2020.3012715.
- [36] R. DHAR et al., «Supporting Integrated MAC and PHY Software Development for the USRP SDR, » in 2006 1st IEEE Workshop on Networking Technologies for Software Defined Radio Networks, sept. 2006, p. 68-77. DOI: 10.1109/SDR.2006.4286328.
- [37] S. K. DHURANDHER et al., « QDV: A Quality-of-Security-Based Distance Vector Routing Protocol for Wireless Sensor Networks Using Ant Colony Optimization, » in 2008 IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, oct. 2008, p. 598-602. doi: 10.1109/WiMob.2008.61.
- [38] G. DILLARO et al., « Cyclic code shift keying: A low probability of intercept communication technique, » IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, t. 39, no 3, p. 786-798, Juill. 2003, ISSN: 0018-9251. DOI: 10.1109/TAES. 2003. 1238736.
- [39] G. Durisi et al., « Toward Massive, Ultrareliable, and Low-Latency Wireless Communication With Short Packets, » Proceedings of the IEEE, t. 104, n° 9, p. 1711-1726, sept. 2016, ISSN: 0018-9219, 1558-2256. DOI: 10.1109/ JPROC. 2016. 2537298.
- [40] ETTUS RESEARCH, USRP Hardware Driver and USRP Manual: Table Of Contents, adresse: https://files.ettus.com/manual/.
- [41] M. FINGEROFF, *High-Level Synthesis Blue Book.* New Jersey: Xlibris Corporation, 2010, ISBN: 978-1-4500-9724-6 978-1-4500-9723-9.

Références V

- [42] M. FITZ, « Further results in the fast estimation of a single frequency, » IEEE Transactions on Communications, t. 42, no 2/3/4, p. 862-864, fév. 1994, ISSN: 0090-6778, pot: 10, 1109/TCOMM, 1994, 588190.
- [43] M. J. FLYNN, «Some Computer Organizations and Their Effectiveness, » IEEE Transactions on Computers, t. C-21, no 9, p. 948-960, sept. 1972, ISSN: 0018-9340. DOI: 10.1109/TC.1972.5009071.
- [44] M. FLYNN, «Very High-Speed Computing Systems, » Proceedings of the IEEE, t. 54, no 12, p. 1901-1909, 1966, ISSN: 0018-9219, DOI: 10.1109/PROC.1966.5273.
- [45] M. FRIGO et al., « The Design and Implementation of FFTW3, » Proceedings of the IEEE, t. 93, no 2, p. 216-231, fév. 2005, ISSN: 1558-2256, pol: 10.1109/JPROC. 2004. 840301.
- [46] T. FUJITA et al., « A Burst Modulation/Demodulation Method for Short-Packet Wireless Communication Systems, » in
- [47] R. GALLAGER, «Low-density parity-check codes, » IEEE Transactions on Information Theory, t. 8, no 1, p. 21-28, jan. 1962, ISSN: 0018-9448, pot: 10.1109/TTT. 1962, 1057683.
- [48] D. Godard, «Self-Recovering Equalization and Carrier Tracking in Two-Dimensional Data Communication Systems, » IEEE Transactions on Communications, t. 28, no 11, p. 1867-1875, nov. 1980, ISSN: 0096-2244. DOI: 10.1109/TCIM. 1980. 1894608.
- [49] C. GOURSAUD et al., « Dedicated networks for IoT: PHY / MAC state of the art and challenges, » EAI Endorsed Transactions on Internet of Things, t. 1, n° 1, p. 150597, oct. 2015, ISSN: 2414-1399. DOI: 10.4108/eai.26-10-2015.150597.
- [50] R. GUPTA et al., « High-Level Synthesis: A Retrospective, » in *High-Level Synthesis*, P. Coussy et al., éd., Dordrecht: Springer Netherlands, 2008, p. 13-28, ISBN: 978-1-4020-8587-1 978-1-4020-8588-8. DOI: 10.1007/978-1-4020-8588-8. 2.
- [51] HackRF One Great Scott Gadgets, adresse: https://greatscottgadgets.com/hackrf/one/.
- [52] M. D. HILL et al., « Amdahl's Law in the Multicore Era, » Computer, t. 41, nº 7, p. 33-38, juill. 2008, ISSN: 1558-0814. DOI: 10.1109/MC.2008.209.
- [53] G. J. HOLZMANN et al., *The Early History of Data Networks*. IEEE Computer Society Press, 1995.

IMPLÉMENTATIONS TEMPS RÉEL D'UN RÉCEPTEUR QCSP

C. MONIÈRE

Avant-propos

mmaire

Introduction

SP.

tude lgorithmique

mplémentations

Expériences grandeur-natures

Conclusion

- **[54]** I. Hoypis et al., « Sionna : An Open-Source Library for Next-Generation Physical Layer Research. », 2022, poi : 10.48550/ARXIV.2203.11854.
- [55] « IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks. » IEEE, rapp. tech. poi: 10.1109/IEEESTD.2020.9144691.
- « IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks-Amendment 2: Low Power Wide Area Network (LPWAN) Extension to **[56]** the Low-Energy Critical Infrastructure Monitoring (LECIM) Physical Layer (PHY), » IEEE, rapp. tech. DOI: 10 1109/TEFESTD 2020 9206104
- I. III. « Software Radio Architecture Evolution : Foundations, Technology Tradeoffs, and Architecture Implications, » IEICE Transactions on Communications, t. E83B, p. 1165-1173, juin 2000.
- **[58]** R. IMAD et al., « Blind Frame Synchronization and Phase Offset Estimation for Coded Systems, » in 2008 IEEE 9th Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications, juill. 2008. p. 11-15. doi: 10.1109/SPAWC.2008.4641560.
- **[59]** R. IMAD et al., « Frame Synchronization Techniques for Non-Binary LDPC Codes over GF(q), » in 2010 IEEE Global Telecommunications Conference GLOBECOM 2010, Miami, FL, USA: IEEE, déc. 2010, p. 1-6, ISBN: 978-1-4244-5636-9, DOI: 10.1109/GLOCOM.2010.5683422.
- [60] INTEL®, Architecture Instruction Set Extensions Programming Reference, juin 2022, adresse: https://cdrdv2.intel.com/v1/dl/getContent/671368?explicitVersion=true.
- [61] C.-L. I et al., « Recent Progress on C-RAN Centralization and Cloudification, » IEEE Access, t. 2, p. 1030-1039, 2014, ISSN: 2169-3536 DOI: 10 1109/ACCESS 2014 2351411
- [62] « ISM radio band, » Wikipedia, oct. 2022. adresse : https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=ISM radio band&oldid=1116815889.
- « ISO/IEC/IEEE International Standard Floating-point Arithmetic, » ISO/IEC 60559:2020(E) IEEE Std 754-2019, p. 1-86, mai 2020, por: 10, 1109/TEFESTD, 2020, 9091348.
- R. KASTNER et al., Parallel Programming for FPGAs, mai 2018, arXiv: 1805.03648 [cs], addresse: **[64]** http://arxiv.org/abs/1805.03648.

- B. KHAILANY et al., « A Modular Digital VLSI Flow for High-Productivity SoC Design, » in Proceedings of the 55th Annual Design Automation Conference, sér. DAC '18, New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018, ISBN: 978-1-4503-5700-5, por: 10.1145/3195970.3199846.
- **[661** N. KHAIRUDIN et al., « Implementing Root Raised Cosine (RRC) Filter for WCDMA Using Xilinx, », p. 203-207, avr. 2011. DOI: 10 1109/TCFDSA 2011 5959095
- [67] A. KHALIFEH et al., « A Survey of 5G Emerging Wireless Technologies Featuring LoraWAN, Sigfox, NB-ToT and LTE-M, » in 2019 International Conference on Wireless Communications Signal Processing and Networking (WiSPNET), mars 2019, p. 561-566. doi: 10.1109/WiSPNET45539.2019.9032817.
- S. KIM et al., « A Delay-Robust Random Access Preamble Detection Algorithm for LTE System, » in 2012 IEEE Radio and [68] Wireless Symposium, Santa Clara, CA, USA: IEEE, jan. 2012, p. 75-78, ISBN: 978-1-4577-1155-8 978-1-4577-1153-4 978-1-4577-1154-1 por 10 1109/RWS 2012 6175341
- [69] L. Kong et al., « Millimeter-Wave Wireless Communications for IoT-Cloud Supported Autonomous Vehicles: Overview, Design, and Challenges, w IEEE Communications Magazine, t. 55, no 1, p. 62-68, jan, 2017, ISSN: 0163-6804, DOI: 10.1109/MCOM.2017.1600422CM.
- A. KOREN et al., « Modelling an Energy-Efficient ZigBee (IEEE 802.15.4) Body Area Network in IoT-based Smart Homes, » in 2018 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), mai 2018, p. 0356-0360, por : 10, 23919/MTPRO, 2018, 8400068.
- **[71]** E. Kreinar, « RFNoC Neural Network Library using Vivado HLS, » Proceedings of the GNU Radio Conference, t, 2, no 1, p. 7-7. sept. 2017. adresse: https://pubs.gnuradio.org/index.php/grcon/article/view/27.
- A. LAVRIC et al., « Long Range SigFox Communication Protocol Scalability Analysis Under Large-Scale, High-Density Conditions. » IEEE Access, t. 7, p. 35 816-35 825, 2019, ISSN: 2169-3536, DOI: 10.1109/ACCESS, 2019, 2903157.
- B. LE GAL et al., « High-Throughput FFT-SPA Decoder Implementation for Non-Binary LDPC Codes on x86 Multicore **[73]** Processors, * Journal of Signal Processing Systems, t, 92, no 1, p, 37-53, ian, 2020, ISSN: 1939-8018, 1939-8115, poi; 10 1007/511265-019-01447-8

Références VIII

- IMPLÉMENTATIONS TEMPS RÉFI D'UN RÉCEPTEUR OCSP
 - C MONIÈRE
- Avant-propos
- Introduction

- Bibliography

- G. LIVA et al., « Codes on High-Order Fields for the CCSDS next Generation Uplink. » in 2012 6th Advanced Satellite [74] Multimedia Systems Conference (ASMS) and 12th Signal Processing for Space Communications Workshop (SPSC), sept. 2012. p. 44-48, pot: 10, 1109/ASMS-SPSC, 2012, 6333104.
- [75] G. LIVA et al., «Short Turbo Codes over High Order Fields, » IEEE Transactions on Communications, t, 61, no 6. p. 2201-2211, juin 2013, ISSN: 0090-6778, DOI: 10.1109/TC0MM. 2013. 041113. 120539.
- LORENZO ORTEGA ESPLUGA, « Signal Optimization for Galileo Evolution, » Thesis, Toulouse, INPT, nov. 2019. adresse: http://www.theses.fr/2019INPT0118.
- R. MAIDEN et al., Build More Cost-Effective and More Efficient 5G Radios with Intel Agilex FPGAs (WP-01312-1.0), Manual, INTEL. Intel Programmable Solution Group.
- **[78]** C. MARCHAND et al., « Hybrid Check Node Architectures for NB-LDPC Decoders, » IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, t. 66, no 2, p. 869-880, fév. 2019, ISSN: 1558-0806, DOI: 10.1109/TCST. 2018. 2866882.
- [79] B. MARTINEZ et al., « Exploring the Performance Boundaries of NB-IoT. » IEEE Internet of Things Journal, t. 6, no 3, p. 5702-5712, juin 2019, ISSN: 2327-4662, poi: 10.1109/JIOT. 2019. 2904799.
- E. MARTIN et al., « GAUT : An Architectural Synthesis Tool for Dedicated Signal Processors, » in Proceedings of EURO-DAC [80] 93 and EURO-VHDL 93- European Design Automation Conference, sept. 1993, p. 14-19, poi : 10.1109/FURDAC.1993.410610.
- G. MARTIN et al., « High-Level Synthesis: Past, Present, and Future, » IEEE Design & Test of Computers, t. 26, no 4, p. 18-25. [81] iuill, 2009, ISSN: 1558-1918, poi: 10.1109/MDT, 2009, 83.
- **[82]** C. MAYROMOUSTAKIS et al., éd., Advances in Mobile Cloud Computing and Big Data in the 5G Era (Studies in Big Data). Springer International Publishing, 2017, ISBN: 978-3-319-45143-5, poi: 10.1007/978-3-319-45145-9.
- G. D. MICHELL, « High-Level Synthesis of Digital Circuits, » in Advances in Computers, t. 37, Elsevier, 1993, p. 207-283, ISBN: 978-0-12-012137-3, DOI: 10.1016/S0065-2458(08)60406-4.
- I. MITOLA. «The Software Radio Architecture. » IEEE Communications Magazine. t, 33, no 5, p, 26-38, mai 1995. ISSN: [84] 1558-1896 por 10 1109/35 393001

Références IX

- [85] CAMILLE MONIÈRE et al., « Efficient Software and Hardware Implementations of a QCSP Communication System, » in Design and Architecture for Signal and Image Processing, KAROL DESNOS et al., éd., t. 13425, Cham: Springer International Publishing, juin 2022, p. 29-41, ISBN: 978-3-031-12747-2 978-3-031-12748-9, DOI: 10.1007/978-3-031-12748-9 3.
- [86] CAMILLE MONIÈRE et al., « Implémentations Logicielles et Matérielles Efficientes d'une Chaîne de Communications QCSP, » in Conférence Francophone d'informatique En Parallélisme, Architecture et Système, comPAS'2022, Amiens, France, iuill. 2022. adresse : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03699091.
- [87] CAMILLE MONIÈRE et al., « Time Sliding Window for the Detection of CCSK Frames, » in IEEE Workshop on Signal Processing Systems (SiPS'2021), Combria, Portugal: IEEE, oct. 2021, p. 99-104, poi: 10.1109/SiPS52927.2021.00026.
- [88] R. Mort et al., « Non-Binary Polar Codes Using Reed-Solomon Codes and Algebraic Geometry Codes, » in 2010 IEEE Information Theory Workshop, DublinI, Ireland: IEEE, août 2010, p. 1-5, ISBN: 978-1-4244-8262-7. DOI: 10.1109/CTG. 2010. 5592755
- [89] K.-H. Noo et al., « Cube-Split: A Structured Grassmannian Constellation for Non-Coherent SIMO Communications, » arXiv:1905.08745 [cs, math], Juin 2020. arXiv:1905.08745 [cs, math]. adresse: http://arxiv.org/abs/1905.08745.
- [90] N. NIKAEIN et al., « OpenAirInterface: An Open LTE Network in a PC, » in Proceedings of the 20th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, 2014, p. 305-308.
- [92] OPEN SERVICE SIGNAL B2B, BeiDou Navigation Satellite System Signal In Space Interface Control Document, juill. 2020. adresse: http://www.beidou.gov.cn/xt/gfxz/202008/P020200803362059116442.pdf.
- [93] OpenStreetMap, adresse: https://www.openstreetmap.org/copyright.
- [94] M. R. PALATTELLA et al., « Internet of Things in the 5G Era: Enablers, Architecture, and Business Models, » IEEE Journal on Selected Areas in Communications, t. 34, no 3, p. 510-527, mars 2016, ISSN: 1558-0008. DOI: 10. 1109/ ISAC 2016. 2525418.

IMPLÉMENTATIONS TEMPS RÉEL D'UN RÉCEPTEUR QCSP

C. MONIÈRE

Avant-propos

Sommaire

Introduction

SP

tude lgorithmique

Implémentations

Expériences grandeur-nature

onclusion

Étude algorithmique

mplémentations

xpériences randeur-natures

onclusion

- [95] H. D. PFISTER et al., « Accumulate-Repeat-Accumulate Codes: Capacity-Achieving Ensembles of Systematic Codes for the Erasure Channel With Bounded Complexity, » IEEE Transactions on Information Theory, t. 53, no 6, p. 2088-2115, juin 2007. ISSN: 1557-9654. pol: 10.1109/ITIT. 2007. 896873.
- [96] S. PFLETSCHINGER et al., « Getting Closer to MIMO Capacity with Non-Binary Codes and Spatial Multiplexing, » in 2010 IEEE Global Telecommunications Conference GLOBECOM 2010, Miami, FL, USA: IEEE, déc. 2010, p. 1-5, ISBN: 978-1-4244-5636-9. doi: 10.1109/GLOCOM.2010.5684077.
- [97] V. PIGNOLY et al., « Fair Comparison of Hardware and Software LDPC Decoder Implementations for SDR Space Links, » in 2020 27th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS), nov. 2020, p. 1-4. DOI: 10.1109/ICECS49266.2020.9294906.
- [98] Y. POLYANSKIY, « Asynchronous Communication: Exact Synchronization, Universality, and Dispersion, » IEEE Transactions on Information Theory, t. 59, n° 3, p. 1256-1270, mars 2013, ISSN: 0018-9448, 1557-9654. DOI: 10.1109/TITI. 2012. 2230682.
- [99] C. POULLIAT et al., « Design of Non Binary LDPC Codes Using Their Binary Image: Algebraic Properties, » in 2006 IEEE International Symposium on Information Theory, Seattle, WA: IEEE, juill. 2006, p. 93-97, ISBN: 978-1-4244-0505-3 978-1-4244-0504-6, pol: 10. 1109/ISTI. 2006. 261681.
- [100] Quasi Cyclic Small Packet Oct 2019 Oct 2023, adresse: https://qcsp.univ-ubs.fr/.
- [101] A. R. et al., « GNU Radio Based Control System, » in 2012 International Conference on Advances in Computing and Communications, août 2012, p. 259-262. DOI: 10.1109/ICACC.2012.59.
- [102] M. RADY et al., «A Historical Twist on Long-Range Wireless: Building a 103 km Multi-Hop Network Replicating Claude Chappe's Telegraph, » Sensors, t. 22, nº 19, p. 7586, oct. 2022, ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s22197586.
- [103] H. RAHBARI et al., « Exploiting Frame Preamble Waveforms to Support New Physical-Layer Functions in OFDM-Based 802.11 Systems, » IEEE Transactions on Wireless Communications, t. 16, n^o 6, p. 3775-3786, juin 2017, ISSN: 1536-1276. DOI: 10.1109/TWC.2017.2688405.

Introduction

_SP

itude algorithmique

mplémentations

xpériences grandeur-natures

onclusion

Bibliography

, ii Treprint,

- [104] S. V. S. RANGANATHAN et al., « Non-binary low density parity check (NB-LDPC) codes for communication systems, » US9692451B2, juin 2017. adresse: https://patents.google.com/patent/US9692451B2/en.
- [105] JIM SKEA (UNITED KINGDOM), PRIYADARSHI R SHUKLA (INDIA), ANDY REISINGER (NEW ZEALAND), RAPHAEL et al., « Climate Change 2022, » Intergovernemantal Panel on Climate Change, rapt. tech. 6th. adresse: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wq3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII Full Report.pdf.
- [106] B. LE GAL et al., « Multi-Gb/s Software Decoding of Polar Codes, » IEEE Transactions on Signal Processing (TSP), t. 63, n° 2, p. 349-359, jan. 2015.
- [107] B. LE GAL et al., « High-Throughput Multi-Core LDPC Decoders Based on X86 Processor, » IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems (TPDS), t. 27, n° 5, p. 1373-1386, mai 2016.
- [108] B. LE GAL et al., « Low-Latency and High-Throughput Software Turbo-Decoders on Multi-Core Architectures, » Annals of Telecommunications, Springer, t. 75, p. 27-42, aout 2019. adresse: https://doi.org/10.1007/15.12043-019-007277-5%0A%0A.
- [109] M. ROBERT et al., «The Software-Defined Radio as a Platform for Cognitive Radio, » in Cognitive Radio Technology, Elsevier, 2009, p. 65-103, ISBN: 978-0-12-374535-4. DOI: 10.1016/B978-0-12-374535-4.00003-5.
- [110] T. J. ROUPHAEL, « High-Level Requirements and Link Budget Analysis, » in Signal Processing for Software-Defined Radio, Elsevier, 2009, p. 87-122, ISBN: 978-0-7506-8210-7. DOI: 10.1016/B978-0-7506-8210-7.00004-7.
- [111] K. SAIED et al., « Quasi Cyclic Short Packet for asynchronous preamble-less transmission in very low SNRs, », n^o Preprint, juin 2020. poi: hal-02884668.
- [112] K. SAIED, « Quasi-Cyclic Short Packet (QCSP) Transmission for IoT, » Theses, Université Bretagne Sud, mars 2022. adresse: https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-03628626.
- [113] K. SAIED et al., « Short Frame Transmission at Very Low SNR by Associating CCSK Modulation With NB-Code, » IEEE Transactions on Wireless Communications, t. 21, no 9, p. 7194-7206, sept. 2022, ISSN: 1536-1276, 1558-2248. doi: 10.1109/TWC.2022.3156628.

Introduction

CSP

Étude algorithmique

. Implémentations

xpériences Irandeur-natures

onclusion

ibliography

- [114] K. SAIED et al., «Time-Synchronization of CCSK Short Frames, » in 17th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WIMob 2021), Bologna, Italy, oct. 2021. addresse; https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03404770.
- [115] M. SCHLÜTER et al., « Bounds on Phase, Frequency, and Timing Synchronization in Fully Digital Receivers With 1-Bit Quantization and Oversampling, » IEEE Transactions on Communications, t. 68, nº 10, p. 6499-6513, oct. 2020, ISSN: 1558-0857. DOI: 10.1109/TCOMM. 2020. 3005738.
- [116] T. SCHMIDL et al., « Robust Frequency and Timing Synchronization for OFDM, » IEEE Transactions on Communications, t. 45. n° 12. p. 1613-1621. Dec./1997. ISSN: 00906778, DOI: 10.1109/26.650240.
- [117] M. SEVER et al., « Use of GNU Radio as a Validation and Visualization Tool in Communications Electronic Support Project, » in 2020 28th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), oct. 2020, p. 1-5. DOI: 10.1109/STII49456.2020.9302461.
- [118] M. SHAFI et al., « 5G : A Tutorial Overview of Standards, Trials, Challenges, Deployment, and Practice, » IEEE Journal on Selected Areas in Communications, t. 35, nº 6, p. 1201-1221, juin 2017, ISSN: 1558-0008. DOI: 10. 1109/ JSAC. 2017. 2692307
- [119] S. K. SHARMA et al., « Toward Massive Machine Type Communications in Ultra-Dense Cellular IoT Networks: Current Issues and Machine Learning-Assisted Solutions, » *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, t. 22, nº 1, p. 426-471, 2020, ISSN: 1553-877X. DOI: 10.1109/COMST. 2019.2916177.
- [120] R. S. SINHA et al., « A survey on LPWA technology : LoRa and NB-IoT, » *ICT Express*, t. 3, n^o 1, p. 14-21, mars 2017, ISSN : 24059595. DOI: 10.1016/j.icte.2017.03.004.
- [121] W. SUŁEK, « Non-binary LDPC Decoders Design for Maximizing Throughput of an FPGA Implementation, » Circuits, Systems, and Signal Processing, t. 35, no 11, p. 4060-4080, nov. 2016, ISSN: 1531-5878. DOI: 10.1007/s00034-015-0235-x.
- [122] K. TAN et al., « Sora : High-Performance Software Radio Using General-Purpose Multi-Core Processors, » Communications of the ACM, t. 54, nº 1, p. 99-107, 2011.

Références XIII

- **[123]** I. TAPPAREL et al., « An Open-Source LoRa Physical Layer Prototype on GNU Radio, » in 2020 IFFE 21st International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC). mai 2020. p. 1-5. DOI: 10 1109/SPAWC48557 2020 9154273
- [124] TBEU, Theu/Matio, avr. 2020. adresse: https://github.com/theu/matio.
- **[125]** M.-T. Tran. « Towards Hardware Synthesis of a Flexible Radio from a High-Level Language, » These de Doctorat, Rennes 1. nov. 2018. adresse: https://www.theses.fr/2018REN1S072.
- [126] K. TRIFUNOVIC et al., « Polyhedral-Model Guided Loop-Nest Auto-Vectorization, » in 2009 18th International Conference on Parallel Architectures and Compilation Techniques, sept. 2009, p. 327-337, poi : 10, 1109/PACT, 2009, 18,
- [127] A, VOICILA et al., « Low-Complexity Decoding for Non-Binary LDPC Codes in High Order Fields, » IEEE Transactions on Communications, t. 58, no 5, p. 1365-1375, mai 2010, ISSN: 0090-6778, DOI: 10.1109/TCOMM.2010.05.070096.
- **[128]** P. WALK et al., « MOCZ for Blind Short-Packet Communication : Practical Aspects. » IEEE Transactions on Wireless Communications, t. 19, no 10, p. 6675-6692, oct. 2020, ISSN: 1536-1276, 1558-2248, pot: 10, 1109/TWC, 2020, 3004588.
- **[129]** I. S. WALTHER, « A unified algorithm for elementary functions, » in Proceedings of the May 18-20, 1971, Spring Joint Computer Conference on - AFIPS '71 (Spring), Atlantic City, New Jersey: ACM Press, 1971, p. 379, DOI: 10.1145/1478786.1478840.
- **[130]** R. WILSON, Intel FlexRAN Reference Designs Deployed in 5G Infrastructure, juin 2018.
- **[131]** G. Wu et al., « Low Complexity Time-Frequency Synchronization for Transform Domain Communications Systems, » in 2015 IEEE China Summit and International Conference on Signal and Information Processing (ChinaSIP), juill. 2015, p. 1002-1006, por: 10.1109/ChinaSIP.2015.7230555.
- **[132]** A. M. Wygunski et al., « Revolutionizing Software Defined Radio : Case Studies in Hardware, Software, and Education, » *IEEE Communications Magazine*, t. 54, no 1, p. 68-75, jan. 2016, ISSN: 1558-1896, DOI: 10.1109/MCOM.2016.7378428.
- **[133]** XILINX, Vitis High-Level Synthesis User Guide UG1399 (v2021.1), 2021.
- **[134]** XILINX, Vivado Desian Suite User Guide: High-Level Synthesis (UG902), 2019.

IMPLÉMENTATIONS TEMPS RÉFI D'UN RÉCEPTEUR OCSP

C MONIÈRE

Avant-propos

Introduction

Références XIV

- IMPLÉMENTATIONS TEMPS RÉEL D'UN RÉCEPTEUR QCSP
 - C. MONIÈRE
- Avant-propos
- -----
- Introduction
- QCSP
- Étude algorithmique
- Implémentations
- Expériences grandeur-natures
- Conclusion
- Bibliography

- [135] I. ZECENA et al., « Evaluating the Performance and Energy Efficiency of N-Body Codes on Multi-Core CPUs and GPUs, » in 2013 IEEE 32and International Performance Computing and Communications Conference (IPCCC), déc. 2013, p. 1-8. DOI: 10.1109/PCCC.2013.6742789.
- [136] ZHENZHEN YE et al., « A Synchronization Design for UWB-Based Wireless Multimedia Systems, » IEEE Transactions on Broadcasting t. 56, no 2, p. 211-225, juin 2010, ISSN: 0018-9316, 1557-9611, pot: 10, 1109/TBC, 2010, 2042499.
- [137] G. ZHOU et al., « An Embedded Solution to Visual Mapping for Consumer Drones, » in 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, juin 2014, p. 670-675, pol; 10, 1109/CVPRW, 2014, 102.