

Sistemas Ciberfísicos e formas avançadas de Computação e Comunicação

A - Âmbito

Os sistemas Ciberfísicos são um novo tipo de sistemas que alterarão a forma como interagimos com o mundo à nossa volta. Um sistema Ciberfísico pode ser definido como um sistema que integra computação, comunicação, interações distribuídas e processos físicos. Estes últimos são monitorizados através de uma rede e tipicamente controlados por sistemas computacionais distribuídos locais (embebidos), que estabelecem um ciclo de realimentação primário, muitas vezes articulado com ciclos de realimentação de nível mais elevado, estabelecidos através de sistemas centralizados remotos (na nuvem).

Esta agenda inclui igualmente as formas avançadas de computação e comunicação, incluindo a dinamização de infraestruturas e condições adequadas de computação científica para análise de grandes volumes de dados, bem como a formação generalizada de competências digitais, considerando um leque alargado de aplicações que passam pela futura plataforma de comunicações móveis (5G), pela condução autónoma, pela Internet das Coisas, pela Energia e Saúde Inteligentes, e, não menos importante, pelos instrumentos e ferramentas para uma Produção Inteligente.

Transversais a todas estas aplicações, são considerados relevantes para esta Agenda os temas da confiabilidade, da otimização energética, da qualidade de serviço e do interface homem-máquina.

B - Contexto internacional

O largo espectro de tecnologias e aplicações previstos na Agenda Temática de I&I para os sistemas ciberfísicos e formas avançadas de computação e comunicação, pode ser encontrado em vários documentos estratégicos de caris público e privado. Por um lado, destacam-se as políticas públicas emanadas da comissão Europeia e inseridas no contexto do Mercado Único Digital, nomeadamente a Agenda Estratégica Europeia de Investigação e Inovação para os Sistemas Ciberfísicos,¹ onde são identificadas cinco áreas chave, a saber: os transportes, a energia, o bem-estar, a industria e as infraestruturas; bem como políticas específicas relativas à Industria Digital Europeia,² à Iniciativa Europeia de *Cloud*,³ à Infraestrutura Europeia de

¹ Ver CyPhERS - Cyber-Physical European Roadmap & Strategy, Research Agenda and Recommendations for Action, disponível em ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=10077

² Ver COM(2016) 180 final, COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS, Digitising European Industry, Reaping the full benefits of a Digital Single Market.

³ Ver COM (2016) 178 final, COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS, European Cloud Initiative - Building a competitive data and knowledge economy in Europe.

Dados (EDI)⁴, à Computação de Alto Desempenho (HPC),⁵ ou, ainda, à Iniciativa em tecnologias quânticas.⁶ Por outro lado destacam-se as iniciativas de várias associações privadas no desenho de estratégias de investigação e Inovação nesta área, nomeadamente o “2016 *Multi Annual Strategic Research and Innovation Agenda for ECSEL Joint Undertaking*”⁷ da *Association for European Nanoelectronics Activities (ANEAS)* ou o “*European Technology Multi-annual Roadmap Towards Exascale*”,⁸ do *European Technology Platform for High-Performance Computing (ETP4HPC)*.

C - Questões e Temas em análise

Um primeiro tema em análise diz respeito à componente infraestrutural dos sistemas Ciberfísicos e sistemas de computação avançados. Dentro deste tema destacam-se a I&I em plataformas de computação, nomeadamente nas questões relativas à adaptabilidade do *middleware*, dos sistemas operativos, da organização dos componentes hardware do sistema; e em circuitos e arquiteturas computacionais que realizam computação, sendo a computação probabilística e hardware probabilístico duas das linhas a seguir. Em contextos com requisitos funcionais exigentes relativamente ao tempo de resposta e à dispersão dos vários componentes, exigem I&I em modelos síncronos e assíncronos para computação concorrente, modelos de tempo contínuo para sistemas dinâmicos, sistemas híbridos para integração de evolução discreta e contínua, requisitos de correção e garantia de progresso, bem como em algoritmos de escalonamento para tempo real.

Relativamente à computação avançada, e em particular à computação de elevado desempenho (HPC), é importante a participação nacional nos projetos internacionais, e em particular na iniciativa Europeia *Exascale*, incluindo, entre outros a colaboração no desenvolvimento e teste de hardware, incluindo novos processadores, memória rápida e novas redes de interligação; a colaboração com as comunidades científicas que desenvolvem aplicações para HPC, em particular as de ciência de materiais e engenharia, em que a Europa é líder. É igualmente importante a I&I de novos *middleware* para gestão de recursos e na gestão eficiente de energia. Em termos de sistemas operativos e suporte tecnológico é importante o desenvolvimento de sistemas de ficheiros paralelos, para aumentar a robustez e desempenho; a melhoria dos escalonadores e gestores de tarefas; de implementações de *checkpointing*, e de técnicas de resiliência a falhas.

Os sistemas móveis são uma categoria muito específica dos sistemas Ciberfísicos, que apresentam características particulares como a dimensão, autonomia energética e, muitas vezes, limitações de capacidade. Destacam-se aqui a I&I em sistemas sensíveis ao contexto (*context-aware*) e os sensores vertíveis (*wearables*). A I&I deve focar a utilização de plataformas virtuais com capacidade para interagir com de forma a providenciar contextos e cenários realistas.

Ainda no tema infraestrutural, em relação a *comunicações quânticas*, é importante o desenvolvimento de protocolos de segurança da informação com privacidade reforçada por recursos quânticos; o desenho de redes para comunicações quânticas, e respetivos protocolos de roteamento; implementação com sistemas fotónicos, por cabo e por satélite, tendo em

⁴ Ver European Cloud Initiative, disponível em <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/european-cloud-initiative>.

⁵ Ver Computação de Alto desempenho, disponível em <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/taxonomy/term/76000>

⁶ Ver Tecnologias Quânticas, disponível em <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/policies/quantum-technologies>

⁷ Ver <https://aeneas-office.org/publication/download/aeneas-strategic-agenda-2016.pdf>

⁸ Ver https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/etp4hpc_sra_2016_preview_single.pdf

vista ligações metropolitanas, intercidades, e internacionais (nomeadamente, ligação à *internet* quântica, em desenvolvimento na Europa); desenvolvimento de repetidores quânticos, e de transdutores para conversão de frequências (e.g. de micro-ondas para óticas); e a participação e contribuição para os *standards* internacionais para comunicações quânticas. Em relação a *sensores e metrologia quânticos*, é importante a I&I de métodos de controlo quântico, explorando métodos clássicos como filtragens lineares e não-lineares; o desenvolvimento de software quântico para metrologia quântica; o desenvolvimento de sensores óticos e para magnetometria com precisão aumentada por recursos quânticos; a utilização de relógios atómicos e novos padrões de frequência, e processamento de sinal de rádio-frequência, micro-ondas e ótico para aplicações em comunicações quânticas, sincronização em redes, etc.; a deteção remota com tecnologias quânticas. Em termos de *ciência fundamental* é importante contribuir para o desenvolvimento da teoria da informação quântica; contribuir para a compreensão e desenvolvimento da física quântica a nível fundamental, nomeadamente nos sistemas abertos/com ruído, entrelaçamento multipartido, grafos e redes quânticas, e termodinâmica quântica.

Um segundo grande tema desta agenda trata as questões transversais aos sistemas Ciberfísicos, nomeadamente a necessidade de aprofundar os aspetos da confiabilidade dos sistemas computacionais e comunicacionais, bem como dos dados transmitidos, processados e/ou armazenados, incluindo a segurança a privacidade a resiliência e a tolerância a falhas dos mesmos; os aspetos de usabilidade e interface homem-máquina. Neste contexto destaca-se a investigação em algoritmos de reconhecimento de fala e de língua natural, reconhecimento gestual, agentes conversacionais para ambientes convencionais, mas também para os novos ambientes imersivos e de realidade aumentada. Criar novos interfaces inteligentes, que ajudam o utilizador na sua tomada de decisão requer a integração de componentes de inteligência artificial capazes de aprender e adaptar-se ao utilizador; bem como a questão da eficiência energética, nomeadamente a necessidade de modelos de execução cientes do consumo energético, aumentando as capacidades de introspeção do hardware e software.

Outro tema relevante, trata as metodologias, ferramentas e conceção de sistemas Ciberfísicos e de sistemas avançados de computação. Neste contexto destaca-se a I&I em modelos de programação com vista à computação distribuída entre sensores e atuadores e plataformas na nuvem; à utilização eficiente dos recursos computacionais disponíveis; à simples programação de requisitos não funcionais, incluindo questões de segurança, consumo de energia, requisitos temporais, etc.; ou ainda com vista à evolução dos sistemas durante a execução, sem paragem do mesmo, por exemplo através do modelo de *live programming*. Relativamente às ferramentas de suporte ao desenvolvimento de software, salientam-se as questões relativas à especificação, validação e verificação de sistemas ciberfísicos compostos por múltiplos componentes distribuídos; à modelação e simulação de ambientes Ciberfísicos; à monitoração e otimização dinâmica da execução dos sistemas e aplicações; à otimização do código que permita aumentar o paralelismo das computações; e ao suporte à inter-operabilidade entre múltiplos sistemas individuais. Relativamente às metodologias de desenvolvimentos de software, serão importantes a modelação do sistema ciberfísico completo, incluindo a modelação dos diferentes componentes do sistema e do sistema composto; o co-desenho software/hardware; o suporte para a auto-adaptação e evolução contínua dos sistemas; a diminuição do custo e tempo de desenvolvimento dos sistemas; e a integração de mecanismos de teste, validação e certificação do software.

Finalmente, merece destaque nesta Agenda o tema das tecnologias e aplicações emergentes, onde se inclui a I&I em algoritmos de aprendizagem automática (*machine learning*), em técnicas de análise de grandes volumes de dados (*big data*) e, de uma forma generalizada, a investigação em sistemas inteligentes, nas suas mais variadas formas.

No plano da Inovação, a Agenda de I&I em Sistemas Ciberfísicos e Formas Avançadas de Computação e Comunicação reúne um conjunto de temas da maior relevância estratégica para

a nossa indústria, alinhados com as principais orientações do país e da União Europeia. A integração de várias das tecnologias atrás referidas abre novas oportunidades em quase todos os sectores da sociedade, pelo que destacamos aqui o setor da saúde (Saúde Inteligente), Energia (Energia Inteligente), Internet das Coisas e ambientes remotos (Sociedade Inteligente) ou os transportes (condução autónoma). Também no setor produtivo, a aplicação destas tecnologias serve de mote para o que chamamos de Indústria 4.0. Neste plano destaca-se ainda o desenvolvimento da próxima geração de comunicações móveis (5G). Finalmente destaca-se a aplicação destas tecnologias na melhoria da eficácia e da eficiência na gestão do funcionamento e das redes dos prestadores de serviços públicos de água, eletricidade e gás; na gestão do tráfego rodoviário; ou ainda em sistemas de vigilância eficazes e sistemas de resposta a emergência fiáveis, em várias escalas, i.e. cidade ou região.