

# Tactile Internet

Alberto Faria, César Augusto, and Diogo Nogueira

Universidade do Minho, Departamento de Informática, 4710-057 Braga, Portugal  
e-mail: {a79077,a79014,a78957}@alunos.uminho.pt

**Resumo** Apresentando-se como o próximo passo evolutivo a seguir à internet móvel e à *Internet of Things*, a *Tactile Internet* promete tornar possíveis interfaces hápticas remotas entre homem e máquina. Para se realizarem estas aplicações, uma latência de round-trip de no máximo 1 milissegundo é obrigatória, juntamente com fortes requisitos de fiabilidade e segurança de transmissão. Este ensaio descreve diversas possíveis aplicações da *Tactile Internet*, elaborando também os requisitos necessários ao nível da infraestrutura para realizar essa visão.

## 1 Introdução

A internet, desde o seu aparecimento e, em especial, desde a sua adoção em massa a partir de finais do século XX, tem vindo a revolucionar a nossa sociedade e economia. Com o aparecimento da internet móvel, a internet tornou-se ininterruptivelmente disponível para uma grande parte da população mundial (cerca de 3.5 mil milhões de utilizadores em finais de 2016 [1]), conectando actualmente milhares de milhões de smartphones e outros dispositivos móveis a nível global. Actualmente, verifica-se o aparecimento da *Internet of Things* (IoT), caracterizada pela construção de uma rede de milhares de milhões de dispositivos heterogêneos, tipicamente de reduzido poder computacional (e.g. sistemas embutidos, sensores e atuadores), pretendendo elevar a sua eficiência tirando partido da rede, procurando uma maior integração do mundo físico com os sistemas computacionais, e eventualmente resultando numa reduzida necessidade de intervenção humana [2,3]. A *Tactile Internet* aparece como o próximo passo evolutivo da internet, desta vez focando-se na comunicação com latências muito reduzidas e elevadas fiabilidade e segurança de transmissão.

Actualmente, a internet com fios e a internet móvel são utilizadas extensivamente para a disponibilização de serviços como a telefonia, mensagens escritas, vídeo e partilha de ficheiros. A IoT está presentemente a criar um novo paradigma de comunicação entre máquinas. A *Tactile Internet*, conversamente, permitirá a construção de interfaces hápticas (táteis) entre máquinas e humanos [2] (a própria designação “Tactile Internet”, cunhada em 2014 por G. P. Fettweis, faz referência a este tipo de aplicações). Isto tornará possível, entre muitos outros, a cirurgia remota, o controlo remoto de robôs de propósitos diversos, e a condução remota de veículos [2]. A *Tactile Internet* trocará então o paradigma atual de transmissão de conteúdos por um de transmissão de trabalho e de perícia humanos.

Em vários sistemas hápticos, como a realidade virtual e a realidade aumentada com capacidade de interface tátil, é estritamente necessária uma latência de round-trip de 1 milissegundo — quando um humano antecipa uma resposta do sistema a uma dada ação realizada pelo mesmo, o tempo de reação é na ordem de 1 milissegundo [2,4]. A *Tactile Internet* terá então de ser capaz de assegurar esse nível máximo de latência. A este requisito junta-se a necessidade de transmissão fiável; um valor frequentemente apresentado dita que a disponibilidade deve ser na ordem dos 99.999% [5]. Também devido à natureza das aplicações previstas para a *Tactile Internet*, existe um grande foco na segurança de transmissão [2].

O design da *Tactile Internet* centra-se precisamente no problema da transmissão com latências de round-trip na ordem de 1 milissegundo. Este é também um dos objetivos da quinta geração (5G) de redes móveis [5]. (Redes 4G estado-da-arte conseguem latências na ordem dos 20 milissegundos sob condições ideais [3].)

Além de tornar tais interfaces hápticas possíveis, a reduzida latência e elevada fiabilidade da *Tactile Internet* permitirão também a construção de sistemas controlados por rede, nos quais sensores e actuadores estão interligados e processos altamente dinâmicos são controlados [3]. No entanto, este ensaio foca-se nas aplicações que envolvem interfaces hápticas, por serem inerentes à maioria das aplicações previstas para a *Tactile Internet* [3].

Na secção 2 são descritas diversas possíveis aplicações da *Tactile Internet*. Vários requisitos para a infraestrutura necessária à *Tactile Internet* são elaborados na secção 3. O ensaio é concluído na secção 4.

## 2 Campos de aplicação

Conforme já mencionado, a *Tactile Internet* pretende proporcionar comunicações com latências de round-trip na ordem de 1 milissegundo, e com elevadas fiabilidade e segurança. Isto permitirá o desenvolvimento de diversas aplicações em inúmeras áreas [2].

Enumeram-se de seguida várias das prováveis aplicações que a *Tactile Internet* tornará possíveis, em áreas nas quais se prevê que essas tenham maior impacto.

### 2.1 Robótica

O potencial cada vez mais promissor da robótica tem sido, nos últimos anos, demonstrado nas mais diversas áreas. Só no ano de 2013, a Google adquiriu 8 empresas de robótica, sendo uma delas a “Boston Dynamics” [6], um dos maiores fabricantes nessa área. Esta aquisição aumentou em muito a consciencialização pública acerca do grande potencial da robótica.

Num futuro mais próximo, os robôs apenas testemunharão evolução em áreas de aplicações bastante específicas, e.g. a condução autónoma. No entanto, num futuro mais distante, os robôs, além de conduzirem autonomamente, poderão ainda ser controlados remotamente. Esta evolução por parte dos robôs é importantíssima para diversas áreas de aplicação. Um exemplo é a construção e manutenção em áreas mais agrestes e perigosas onde estes robôs seriam mais-valias para a diminuição de riscos sobre a vida humana.

O grande “mas” é a necessidade de uma tecnologia rápida, fiável e de alta disponibilidade. Isto porque um dos grandes pré-requisitos para o uso destes robôs passa por uma solução de controlo remoto ou até mesmo tele-presença com feedback visual-háptico em tempo real, o que necessita de um tempo de transmissão de round-trip de menos de alguns milissegundos.

### 2.2 Saúde

Várias são as aplicações potenciais da *Tactile Internet* ao nível dos cuidados de saúde. Como exemplo temos o tele-diagnóstico, a tele-cirurgia, a tele-operação e a tele-reabilitação.

Atualmente existem hospitais onde se encontram vinculados os médicos nas mais diversas especialidades. O futuro que se projeta ao nível da saúde com o uso da tecnologia em discussão passa por um cenário onde o médico poderá fazer um tele-diagnóstico, ou seja, o médico poderá comandar todos os movimentos de um determinado robô localizado ao lado do paciente e desta forma receber não só informações audiovisuais do estado do doente mas também feedback háptico, essencial ao tratamento pelo médico.

Claro está que, partindo do mesmo princípio técnico podem conjecturar-se outras aplicações, tais como possíveis intervenções tele-cirúrgicas, poupando assim ao paciente a necessidade de se mover para o mesmo local do cirurgião.

O que se espera de todo este processo à distância é uma interação fiável a nível do paciente e do médico de modo a que todo este procedimento decorra com normalidade e sem qualquer tipo de falhas. A *Tactile Internet* surge precisamente com a necessidade de não haver lapsos nos diversos tipos de operações tele-médicas possibilitando a alta fidelidade necessária para as mesmas.

## 2.3 Educação

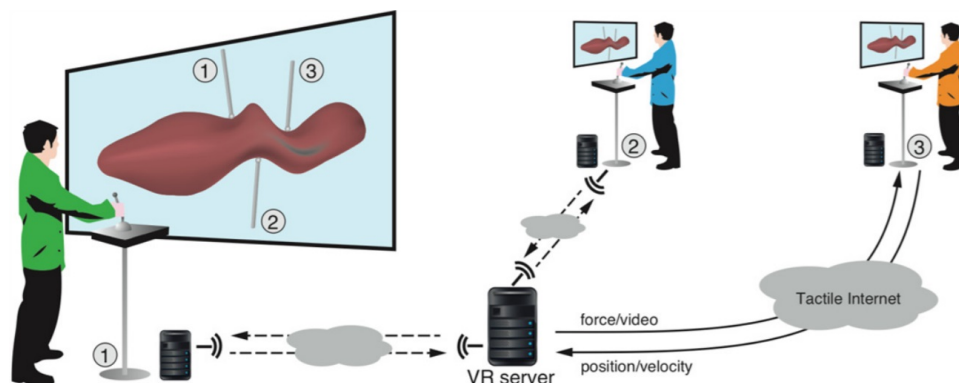
Relativamente à educação, é importante focar a interação entre professor e aluno. Um grande exemplo de uma possível e relevante aplicação é o caso de crianças com dificuldades motoras ou até mesmo pessoas que precisem de recuperar de atrofias na sequência de um lesão ou doença. Esta interação consiste na assistência em movimentos motores precisos e coordenados que a deficiência colocou impossível para realizar. O professor/treinador sente a trajetória de uma determinada tarefa executada pelo aluno e atua no sentido de corrigir as ações incorretas possibilitando assim uma melhoria substancial na aprendizagem. Dessa forma, o aluno acabaria por experimentar uma aprendizagem mais precisa do que simplesmente captar informações audiovisuais.

Outro exemplo são estudantes de medicina passarem a poder testar uma cirurgia com os olhos, mãos e movimentos de um cirurgião experiente na área.

A Tactile Internet permitirá o ensino remoto por um professor através da sobreposição háptica com o aluno permitindo ao professor auxiliar nos trabalhos educativos de forma instantânea.

## 2.4 Realidade Virtual

A *Tactile Internet* beneficiará a área da Realidade Virtual, fornecendo uma comunicação com baixa latência de round-trip permitindo a coexistência de vários utilizadores humanos no mesmo ambiente virtual. Isto consiste num ambiente onde vários utilizadores são fisicamente conectados por via de uma simulação de Realidade Virtual para executar tarefas que requerem habilidades motoras precisas (cf. figura 1). Assim, o feedback háptico é um pré-requisito para a interação de alta fidelidade, permitindo ao utilizador usufruir da Realidade Virtual não só através do áudio e da visão mas também através do toque.



**Figura 1.** Conexão entre vários utilizadores através de uma simulação de Realidade Virtual com feedback háptico.

Os sistemas de Realidade Virtual hoje em dia sofrem alguns atrasos a nível da comunicação demasiado grandes para permitirem uma coordenação estável entre os utilizadores. Uma interação de alta fidelidade só é possível se a latência de round-trip da comunicação entre os utilizadores estiver na ordem de alguns milissegundos. Durante estes poucos milissegundos, os movimentos dos utilizadores precisam de ser transmitidos para o servidor de Realidade Virtual, onde a simulação física é calculada e o resultado é retornado aos utilizadores na forma de feedback háptico.

Nesta perspetiva, mesmo a comunicação com fios pode não ser suficiente para os utilizadores a longas distâncias. Taxas de atualização típicas para a simulação física e a exibição de informações hápticas são da ordem de 1000 Hertz, o que corresponde a uma latência

ideal de comunicação de round-trip de 1 milissegundo. Uma visão local consistente da Realidade Virtual para todos os utilizadores só pode ser alcançada se os atrasos forem mantidos reduzidos.

### 3 Desafios tecnológicos e requisitos infraestruturais

Para alcançar latências de round-trip de um milissegundo, é necessário revolucionar a infra-estrutura actual.

As principais aplicações da *Tactile Internet*, como a cirurgia remota ou o controlo remoto de exoesqueletos consideram latências de 1 milissegundo cruciais para a sua viabilidade. Dado que a rede móvel 4G oferece latências na ordem dos 20 ms, um ponto chave das redes móveis de quinta geração, “5G”, será a latência de 1 ms para uma viagem de ida e volta de um sinal. Uma vez que a luz percorre cerca de 300 km em 1 milissegundo, não é possível haver transmissão com latência de 1 ms de ida e volta entre dois terminais a uma distância superior a 150 Km.

Tal como existem codecs standard de áudio e de vídeo, será necessário desenvolver codecs de dados hápticos. Tecnologia actual faz sampling de sinais hápticos a 1 kHz, mas a transmissão desses sinais num ambiente com largura de banda limitada pode ser difícil, por isso já se tem investigado formas de comprimir esses sinais ao tirar partido de limitações na percepção táctil do ser humano.

Devido ao facto de que a internet táctil vai ter aplicações em áreas cruciais da sociedade, requer uma fiabilidade extremamente alta, muito próxima dos 100%. Sinais hápticos com perda de pacotes são sujeitos a alta interferência. Com a introdução de sinais hápticos na rede móvel, a alocação de recursos rádio pode tornar-se complicada porque os recursos disponíveis têm de ser partilhados entre vários tipos de serviços móveis já existentes podendo haver conflitos entre os vários.

Além do feedback háptico, a internet táctil deve considerar também a entrega de sinais visuais e auditivos porque o cérebro integra e analisa informação de diferentes vias sensoriais, sendo que a entrega de mais sinais ajuda a aproximação à realidade. O desafio aqui é a assincronia na entrega dos sinais, já que há diferentes requisitos em termos de latência, de sampling e de taxa de dados para cada um. Uma pesquisa inicial levou à conclusão que o uso de um multiplexador adaptativo designado por Admux, poderá resolver este problema, contudo a performance sob ambientes altamente dinâmicos ou em taxas de dados não fixas ainda não foi estudada, sendo ainda desconhecida também a qualidade do hipotético multiplexador em ambientes com perda de pacotes.

A Qualidade da Experiência (QoE) é actualmente analisada com testes subjectivos, isto é, feita e avaliada por seres humanos. Tal metodologia revela-se cara e de possível produção de dados pouco credíveis devido a vários factores como o tipo de avaliadores usados, se a selecção de avaliadores foi adequada, o tamanho da amostra, o ambiente em que foram realizados, etc. Por outro lado, a análise da QoE feita por métodos objectivos é feita sem a imprevisibilidade inerente ao ser humano, através da medição de vários parâmetros relacionados com a disponibilidade do serviço. O problema da medição objectiva é a falta de documentação científica e a falta de investigação em metodologias que permitam o mapeamento de métricas de performance numa rede de sinais hápticos. É necessária ainda a investigação sobre a percepção da qualidade do sinal por parte do utilizador e a unificação de métricas auditivas, visuais e tácteis.

À primeira vista a criação de uma rede dedicada à transmissão de dados hápticos parece ser boa ideia, mas o consenso geral da indústria é o de que a rede 5G deve ser desenhada de forma flexível e partilhada eficientemente entre diferentes aplicações. Tal partilha deve ser possível através de um maior grau de abstracção das redes 5G, onde slices são alocadas para as diferentes aplicações.

## 4 Conclusão

A *Tactile Internet* irá continuar o processo revolucionário iniciado pelo aparecimento e disseminação da internet, prevendo-se que tenha grande impacto na sociedade em geral e enorme potencial para a economia global [3].

Após ter exposto várias das aplicações da principal tecnologia que será possibilitada pela *Tactile Internet* — interfaces hápticas remotas —, este ensaio elaborou os respectivos desafios tecnológicos e os requisitos que a mesma irá impôr a nível infraestrutural.

A *Tactile Internet* deverá encontrar aplicações em inúmeras áreas, incluindo a saúde, tornando possíveis o tele-diagnóstico e a tele-cirurgia, a educação, possibilitando o ensino remoto com recurso a interfaces hápticas, e a robótica em geral, com o desenvolvimento, por exemplo, de interfaces hápticas que permitam a um operador humano controlar um dispositivo robótico para realizar um dado trabalho que não possa ser, por alguma razão, realizado diretamente por uma pessoa [2].

Similarmente à IoT e 5G, estas aplicações requerem latências muito reduzidas e grandes fiabilidade e segurança de transmissão [5]. O objetivo de permitir comunicação a latências de 1 milissegundo ou menos apenas será possível com uma reestruturação da infraestrutura atual. Desafios tecnológicos para a realização da *Tactile Internet* incluem a criação de codecs para codificação de informação háptica, a transmissão conjunta de sinais hápticos e sinais audio-visuais (os quais apresentam diferentes requisitos de latência e fiabilidade) e a garantia de sincronia entre esses vários sinais, o desenvolvimento de testes objetivos e determinísticos de qualidade de experiência (por oposição a avaliar essa mesma qualidade através da classificação subjetiva realizada por humanos), e a dificuldade inerente em partilhar uma só rede de comunicação com outras aplicações que apresentem requisitos distintos daqueles da *Tactile Internet* [3].

## Referências

1. ITU, Gerhard Fettweis: ICT Facts and Figures 2016 (2016)
2. Gerhard Fettweis et al: The Tactile Internet: ITU-T Technology Watch Report (2014)
3. Adnan Aijaz et al: Realizing the Tactile Internet: Haptic Communications over Next Generation 5G Cellular Networks (2017)
4. Gerhard Fettweis, Siavash Alamouti: 5G - Personal Mobile Internet Beyond What Cellular Did to Telephony (2014)
5. Martin Maier et al: The Tactile Internet: Vision, Recent Progress, and Open Challenges (2016)
6. [https://elpais.com/tecnologia/2013/12/16/actualidad/1387180149\\_080434.html](https://elpais.com/tecnologia/2013/12/16/actualidad/1387180149_080434.html)