

● CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

ESTUDOS SOBRE O USO DO KINECT EM APLICAÇÕES ROBÓTICAS

*Lucas Ferreira Moura¹, André Luiz França Batista²,
Ailton Luiz Dias Siqueira Júnior³, Rodrigo Grassi Martins⁴*

RESUMO: Esse artigo apresenta uma pesquisa científica para o desenvolvimento de uma interface natural para o controle de estruturas robóticas. A proposta dessa interface é ser usada como ferramenta para inclusão social de pessoas portadoras de necessidades especiais. Para o desenvolvimento, usamos: (a) um sensor de movimento corporal; (b) uma estrutura robótica no formato de um braço mecânico; e (c) um *software* para a comunicação entre o sensor de movimento e o braço mecânico. Realizaram-se experimentos para verificar se essa interface é eficaz, identificar possíveis falhas e realizar melhorias. Os resultados desses experimentos demonstraram que essa interface funciona satisfatoriamente.

Palavras-chave: Interface natural. Estruturas robóticas. Sensores de movimento.

STUDIES ABOUT USING KINECT IN ROBOTICS APPLICATIONS

ABSTRACT: This article presents a scientific research aiming the development of a natural interface for the control of robotic structures. The purpose of this interface is to be used as a tool for the social integration of people with special needs. On studies we used (a) a body motion sensor; (b) an *arm robot mechanical structure*; and (c) a *software* for communication between the motion sensor and the robot arm. Experiments were performed to verify the effectiveness of this interface, to identify possible failures, and implement improvements. The main results indicated that the interface works satisfactorily.

Keywords: Natural interface. Robotics structures. Moving sensor.

¹Técnico em Informática, Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), Ituiutaba, MG, Brasil. lucasmoura.iftm@gmail.com

²Professor, Mestre em Engenharia de Sistemas, Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), Ituiutaba, MG, Brasil. andreluiz@iftm.edu.br

³Professor, Doutor em Engenharia Elétrica, Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), Ituiutaba, MG, Brasil. ailton@iftm.edu.br

⁴Professor, Mestre em Ciência da Computação, Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), Ituiutaba, MG, Brasil. rodrigograssi@iftm.edu.br

INTRODUÇÃO

Estruturas robóticas podem ser controladas remotamente por meio de diversos dispositivos tais como *joysticks*, teclados, *mouses* e outros dispositivos de entrada. Com o avanço da tecnologia, surgiram dispositivos de entrada de dados que possuem uma interface homem-máquina diferente dos dispositivos tradicionais. Uma dessas novas interfaces de interação é a interface natural por meio de gestos. Com essa interface natural gestual, é possível imergir o usuário em um ambiente de realidade virtual no qual ele pode interagir com outros dispositivos tanto no mundo real quanto no mundo virtual conforme esclarece Kirner et al. (2006).

O uso de gestos para controle de robôs é uma linha de pesquisa que tem crescido muito recentemente mediante as tecnologias disponíveis. No Japão, tem-se dado especial atenção ao uso de robôs nas atividades diárias, logo, o uso de uma interface natural para comunicação com esses robôs é algo que mudará significativamente a forma como ocorre a interação com as máquinas. Diante dessa percepção, este projeto objetivou desenvolver *softwares* que: a) reproduzam ambientes de realidade virtual; b) reproduzam ambientes que permitam o usuário fazer uso de uma interface natural para interagir remotamente com estruturas robóticas.

Para a realização dessa pesquisa, utilizou-se das estruturas robóticas que fazem parte dos kits de robótica da Lego, chamados de Lego *Mindstorms*. De acordo com Cruz-Martín et al. (2012) e Kelly et al. (2010), estes kits são compostos por *software* e *hardware* para criação de pequenos e personalizáveis robôs programáveis. Uma vez que o *Kinect* é um dispositivo de entrada que permite capturar gestos e sons (fala) do usuário, o mesmo pode interagir de uma forma natural tanto com *softwares* quanto com outros dispositivos através do envio de comandos específicos (CORREA et al., 2012; LEYVAND et al., 2011; ZHANG et al., 2012).

Ao se pensar em um humano interagindo com uma máquina, normalmente vem à mente que essa interação é feita por meio de botões, sejam disponibilizados em um *mouse*, um teclado, um controle remoto ou algum dispositivo artificial criado para tal finalidade.

Entretanto, destaca-se o problema de que, às vezes, esses dispositivos são limitados para serem utilizados como dispositivos de interface com o usuário. Essas limitações vêm de diversos fatores, dentre eles a falta da naturalidade na interação com o usuário, segundo argumento de Lazar et al. (2010). Para solucionar esse e outros problemas de interface com usuário, propôs-se o uso de um dispositivo como o *Kinect*, para realizar a interface homem-máquina de um modo mais natural ao usuário.

Essa pesquisa se justifica porque, atualmente, na área de Computação, existem duas áreas de pesquisa que vêm apresentando uma evolução significativa: a utilização de interfaces naturais e a realidade aumentada.

Diante disso, formulou-se a seguinte hipótese: é possível controlar uma estrutura robótica remotamen-

te, em que a interface homem-máquina seja realizada de modo mais natural ao usuário? Supondo que sim, existe sim uma maneira de utilizar um *software* que possua uma interface de entrada mais natural ao usuário, foram desenvolvidas algumas aplicações utilizando o dispositivo *Kinect* como forma de interação entre homem e um braço robótico construído com um kit de robótica da Lego.

A partir da hipótese estabelecida, os objetivos principais desta pesquisa foram desenvolver *softwares* que: a) reproduzam ambientes de realidade virtual; b) crie ambientes que permitam aos usuários fazer uso de uma interface natural para interagir com dispositivos externos, por exemplo, o braço robótico. Outros objetivos residem na realização de testes com usuários para avaliar se o uso do *Kinect* permite realmente uma interação mais natural do homem com estruturas robóticas.

Nesse caminho, foram escolhidos alguns alunos do Ensino Médio para usarem os *softwares* educacionais utilizando o *Kinect*. Após o uso, esses alunos responderam a um questionário com perguntas sobre a interface que eles testaram. Além dos questionários, foram feitas observações ao longo da utilização dos *softwares* pelos usuários.

Com essas observações, foi possível perceber se os usuários tiveram facilidade em utilizar o *software*, ou se apresentaram dificuldades com a nova interação. Com os dados coletados, foi possível realizar uma análise e concluir que a hipótese estabelecida foi confirmada.

Em Computação, a interface homem máquina é o estudo da interação entre o usuário e o computador. Dentro dessa linha de pesquisa, surge o tema interface natural, uma vez que, ao longo dos tempos, muito se falou sobre interface homem máquina. Um estudo realizado por Oliveira et al. (2010) mostra a evolução das interfaces ao longo dos tempos, começando com interfaces textuais cujo foco eram os comandos, passando pelas interfaces gráficas cujo foco era principalmente o *mouse*, até chegar as interfaces naturais.

O *Kinect*, segundo Correa et al. (2012), é um dispositivo de entrada de dados capaz de rastrear o esqueleto humano com todas as suas articulações (mãos, punhos, cotovelos, ombros, cabeça, peito, bacia, joelhos, pés, dentre outros). Com esse dispositivo também é possível a captura de voz, por meio da fala do usuário. De acordo com Leyvand et al. (2012) e Zhang et al. (2012), o *Kinect* é um sensor de movimentos desenvolvido e mantido pela Microsoft que oferece uma SDK, um kit de desenvolvimento para esse dispositivo.

O ambiente de interface natural para controle remoto de estruturas robóticas foi desenvolvido com a utilização das classes fornecidas pela SDK do *Kinect*. Esse kit de desenvolvimento provê uma série de classes e métodos para auxiliar o processo de interação com o usuário. Todas essas classes estão implementadas na linguagem de programação C# da plataforma de programação .NET, desenvolvida pela Microsoft. Uma das bibliotecas do kit é respon-

sável pela captura dos movimentos realizados pelo usuário. A biblioteca possui uma implementação que devolve a posição no espaço (x,y,z) de cada uma das articulações do corpo humano.

Realidade Aumentada é a ciência que estuda a integração do mundo real e elementos virtuais ou dados criados pelo computador. Segundo Kirner et al. (2006), a realidade aumentada permite ao usuário retratar e interagir com situações imaginárias, como os cenários de ficção, envolvendo objetos reais e virtuais estáticos e em movimento. Permite também reproduzir, com fidelidade, ambientes da vida real como a casa virtual, a universidade virtual, o banco virtual, a cidade virtual etc., de forma que o usuário possa entrar nesses ambientes e interagir com seus recursos de forma natural, usando as mãos (com ou sem aparatos tecnológicos, como a luva) e, eventualmente, comandos de voz.

Cruz-Martín et al. (2012) afirma que os kits LEGO fornecem aos estudantes um conjunto de materiais ricos e flexíveis que podem ser usados para construção de unidades robóticas. Tais kits são classificados como laboratórios abertos, pois têm a habilidade de conectar-se com diversos softwares e plataformas, tais como *Simulink*, *Matlab*, *App Inventor*, *LabView* e, também, possuem bibliotecas de funções em diversas linguagens de programação, como Java (*LEJOS*), C# (*NXT Codeplex*), dentre outras. O bloco de comando NXT do kit contém um microcontrolador ARM7 de 32 bits.

A biblioteca de funções para o kit LEGO possui funções para diversas ações do comando NXT do kit, como, por exemplo, ajustar o estado de um motor do robô o qual é definido por parâmetros como velocidade, angulação e rotação. Há diversos kits educacionais de robótica disponibilizados pela Lego, sendo que o que difere um kit de outros é a quantidade de peças para a montagem das estruturas. Cada kit contém um bloco de comando, sensores de luz, toque, som e peças de montagem, conforme afirma Cruz-Martín et al. (2012).

METODOLOGIA

Os materiais utilizados nessa pesquisa são: o dispositivo de entrada Kinect, juntamente com o seu kit de desenvolvimento (SDK) disponibilizado no *website* da *Microsoft Developers*; e o kit básico de robótica da Lego.

Para desenvolvimento do software de interface entre o Kinect e as estruturas robóticas, foi utilizado um computador com processador Intel Core i5, 3.0 GHz, DDR3 de 4 GB, com Windows 7 de 64-bit. Para realizar a comunicação entre o computador e o braço robótico foi utilizado um adaptador *bluetooth*.

Para se montar um braço robótico, utilizou-se o kit de robótica da Lego. O esquema de montagem desse braço está disponível no link citado e representado na Figura 1.

Figura 1 • Braço robótico construído com o Kit Lego



Fonte: nxtprograms.com, 2007-2011

O braço robótico construído possui três motores independentes, sendo que dois controlam a movimentação (horizontal e vertical) do braço e o terceiro, a garra (abrir e fechar) do robô.

Como o Kinect retorna as posições das juntas do corpo humano em coordenadas cartesianas, inicialmente converteu-se as coordenadas cartesianas (x, y, z) para coordenadas esféricas (raio r , ângulo θ , ângulo φ). A tentativa foi proposta, pois o Kinect retorna os pontos rastreados em três dimensões e, depois da conversão dos valores dos ângulos θ e φ das coordenadas esféricas, serão enviados aos motores A (inferior, horizontal) e B (superior, vertical), respectivamente. A tentativa não funcionou corretamente, o braço não respondia aos movimentos com precisão e, frequentemente, realizava movimentos inesperados.

Diante da tentativa frustrada, foi proposta outra metodologia para que o braço realizasse os movimentos com fidelidade ao usuário: a utilização de seis posições fixas, sendo três para o motor A e três para o motor B. Definindo-se, também, as seguintes posições:

- Motor A horizontal: -20° graus, 0° graus, 45° graus;
- Motor B vertical: 0° graus, 45° graus, 90° graus.

Com a definição das posições para os motores do braço robótico, fez-se a identificação dessas posições do braço humano rastreado pelo Kinect. De todos os dados retornados pelo Kinect, utilizaram-se as seguintes articulações:

- Cotovelo direito (x_c, y_c, z_c) e ombro direito (x_b, y_b, z_b) para que o motor A respondesse ao braço (porção proximal) do usuário;
- Pulso direito (x_a, y_a, z_a) e cotovelo direito (x_c, y_c, z_c) para que o motor B respondesse ao antebraço do usuário.

Para cada articulação do esqueleto humano, o Kinect retorna uma tripla, conforme visto acima, com os valores dos pontos x, y, z em um espaço tridimensional R^3 . Para identificar as posições de -20° graus, 0° graus, 45° graus, 90° graus, do braço e antebraço do

usuário foram utilizadas as referências presentes na Tabela 1.

Tabela 1 • Referências para o posicionamento do braço robótico

Braço (porção proximal)	Antebraço
0° graus: $x_b \approx x_c$	0° graus: $y_a \approx y_c$
45° graus: $x_c > (x_b + 50)$	45° graus: $(x_a - x_c) \approx (y_a - y_c)$
-20° graus: $-35 < (x_c - x_b) < -25$	90° graus: $x_a \approx x_c$

Baseado nas referências descritas acima, foi possível utilizar os movimentos do usuário capturados pelo Kinect e replicá-los no braço robótico. Quando quaisquer das condições acima é satisfeita, o software envia um comando específico para o motor correspondente e, assim, o movimento humano é replicado no braço robótico.

PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Após a montagem do braço robótico e desenvolvimento do sistema de comunicação entre ele e o Kinect, realizou-se testes experimentais com usuários voluntários. Esses experimentos testaram a hipótese estabelecida anteriormente.

Para a montagem do experimento, utilizaram-se os mesmos materiais descritos anteriormente, posicionando-se o computador em uma mesa juntamente com o sensor Kinect. Em outra mesa, colocou-se o braço robótico conectado via bluetooth com o computador. Em frente à mesa com computador e o Kinect, posicionou-se uma cadeira para que o usuário se sentasse em frente ao Kinect, de modo que o usuário pudesse ver o braço robótico replicando os seus movimentos.

Antes que cada usuário testasse a interface natural para controle remoto de estruturas robóticas, eram transmitidas a cada voluntário as informações básicas sobre a pesquisa. E, também, as informações sobre como cada voluntário deveria proceder para que pudesse controlar remotamente o braço robótico corretamente por meios dos seus movimentos. A Figura 2 mostra a configuração do laboratório no momento dos experimentos e, também, dois dos pesquisadores repassando as informações para um dos voluntários.

Figura 2 • Voluntário recebe instruções dos pesquisadores



Fonte: Registro fotográfico desta pesquisa.

Após os procedimentos iniciais de orientações, os voluntários iniciavam os movimentos do seu braço para controlar o braço robótico. As imagens na Figura 3 mostram alguns voluntários testando o sistema.

Figura 3 • Voluntários testando a interface proposta.



Fonte: Registro fotográfico desta pesquisa.

Após utilizar o sistema, o voluntário era convidado pelos pesquisadores a responder um questionário, cujo objetivo era colher informações sobre o voluntário e sobre as percepções e impressões ao utilizar o sistema. Tal questionário foi construído utilizando a ferramenta *Google Docs* e estava disponível no laboratório para que os voluntários o respondessem. Na Figura 4, têm-se imagens dos voluntários respondendo nos computadores disponíveis.

Figura 4 • Voluntários respondendo ao questionário proposto.



Fonte: Registro fotográfico desta pesquisa.

Algumas das informações coletadas tinham finalidades específicas elencadas a seguir: sobre idade para perceber se existe alguma correlação entre a dificuldade de controlar um robô e a idade do controlador; sobre estatura para analisar se existe uma relação entre o tamanho do esqueleto rastreado pelo sensor Kinect e a qualidade desse rastreamento; sobre o tom de pele para verificar se o sensor Kinect possui alguma limitação relacionada ao tom de pele do usuário, uma vez que esse sensor utiliza algumas fontes de luz para captura de movimentos.

As demais informações solicitadas relacionam-se às percepções dos voluntários após testarem o sistema, as quais são referentes à fadiga do braço utilizado e à capacidade e velocidade do robô em replicar os movimentos. Um campo também foi aberto para que os usuários manifestassem as suas impressões, críticas e sugestões sobre esta pesquisa. Os resultados dos experimentos e as análises realizadas estão na próxima Seção.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os voluntários que participaram tinham idade entre 15 e 41 anos, e a média de idade foi de 28 anos. A estatura dos voluntários variou entre 1.56m e 1.90m, com média de altura de 1.73m. Cada usuário controlou o braço robótico por um período médio de um minuto. Esse tempo foi suficiente para que cada usuário realizasse todos os movimentos disponíveis no sistema. Foram realizados 34 (trinta e quatro) experimentos, sendo 17 (dezesete) homens e 17 (dezesete) mulheres.

A primeira questão de percepção pedia ao voluntário para classificar o nível de dificuldade que ele encontrou ao controlar o braço robótico com o sensor Kinect. Havia três respostas possíveis: fácil, moderado e difícil. O gráfico da Figura 5 apresenta o sumário dessas respostas para essa questão.

Figura 5 • Gráfico das respostas sobre o nível de dificuldade

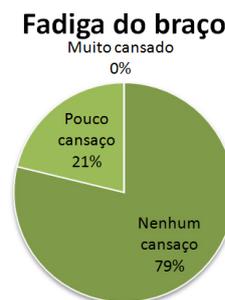


Fonte: Respostas do questionário respondido pelos voluntários.

Nota-se que grande maioria dos voluntários classificou o sistema como um sistema de fácil utilização, e apenas um voluntário considerou o sistema de difícil utilização. Esses números mostram que a interface natural proposta não possui muitas dificuldades de utilização.

A outra pergunta do questionário sobre a percepção do usuário foi referente à fadiga do braço utilizado para realizar o controle do robô. A Figura 6 mostra as respostas.

Figura 6 • Gráfico das respostas sobre a fadiga do braço.



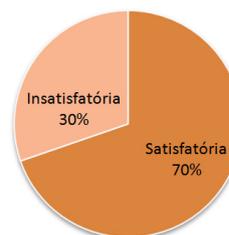
Fonte: Respostas do questionário respondido pelos voluntários.

Na Figura 6, observamos que controlar o braço por um período aproximado de um minuto, não gerou fadiga na maioria dos voluntários. Nenhum dos voluntários relatou muita fadiga ao utilizar a interface proposta.

Em outra questão, perguntou-se sobre a quantidade de movimentos disponíveis no braço robótico. Havia duas alternativas: quantidade satisfatória e quantidade insatisfatória. Na Figura 7, temos o sumário das respostas para essa pergunta.

Figura 7 • Gráfico sobre a quantidade de movimento.

Quantidade de movimentos



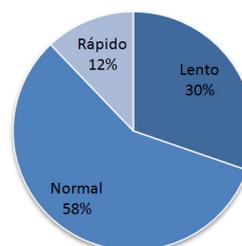
Fonte: Respostas do questionário respondido pelos voluntários.

A Figura 7 mostra que mesmo com uma quantidade de movimentos limitados (três movimentos verticais, três movimentos horizontais, nove movimentos combinados), 70% dos usuários consideram satisfatória essa quantidade de movimentos. Futuramente, serão adicionados novos movimentos verticais, horizontais e o movimento da garra do braço.

Na Figura 8, têm-se as respostas da pergunta sobre a velocidade de resposta do braço robótico ao movimento do braço humano. Havia três alternativas: lento, normal e rápido.

Figura 8 • Gráfico das respostas sobre a velocidade de resposta.

Velocidade de resposta



Fonte: Respostas do questionário respondido pelos voluntários.

Na Figura 8, percebe-se que pouco mais da metade dos usuários classificou a velocidade de resposta como normal, um terço dos voluntários classificou como lento e apenas 12% classificaram como rápida o tempo de resposta. Isso mostra que 70% dos voluntários consideram que o tempo de resposta está aceitável, ou seja, não há demora ou lentidão entre o movimento do braço humano e o movimento do braço robótico.

Os possíveis problemas relacionados ao tom de pele ou a estatura do usuário não foram confirmadas. O sensor rastreou 100% dos usuários voluntários independente do tom de pele ou da estatura.

Dessa forma, os dados mostram de uma maneira geral que os voluntários consideram a interface proposta como sendo de fácil utilização, com quantidade de movimentos adequada, com velocidade de resposta dentro da normalidade, tudo isso sem ocasionar fadiga no braço do usuário.

Seguem algumas transcrições dos comentários dos usuários, como críticas e sugestões:

"Ao abrir as mãos, as garras poderiam abrir ou fechar."

"Eu achei interessante, só achei que o tempo de resposta entre o meu braço e o do robzinho demorou um pouco, mas tá legal."

"Achei muito bom, bem criativo. Sei que não é fácil, mas quem sabe podem ser adicionados outros movimentos."

"Sugestão: movimentar os dedos."

"Submeter o comando de mão junto ao movimento do braço."

"Seria interessante conseguir aumentar a velocidade de resposta e, também, instalar meios de conseguir movimentos com os dedos."

"Muito interessante, principalmente se puder fazer parcerias com outras áreas científicas."

"Muito interessante, já que o mesmo promete ser bastante útil em futuras aplicações, principalmente médicas."

Foram expostas aqui apenas algumas das críticas e sugestões. Vemos que um ponto de consenso a ser melhorado no projeto é o controle da garra do robô por meio do rastreamento da mão do usuário. Outras sugestões interessantes dos voluntários residem nas aplicações em outras áreas científicas, como Medicina, Construção Civil, Engenharia Mecânica.

No próximo tópico, serão apresentadas as conclusões deste relatório de pesquisa e, também, os trabalhos futuros a serem desenvolvidos.

CONCLUSÕES

Após análise dos resultados, pode-se perceber que a utilização do Kinect como sensor para prover uma interface natural para controle remoto de estruturas robóticas. O uso deste dispositivo permitiu que voluntários controlassem um robô remotamente utilizando uma interface homem-máquina mais natural, evitando problemas de controles desconhecidos.

A análise dos dados mostra que a interface proposta está adequada, mas ainda há o que melhorar, em que se destacam os seguintes pontos: aumentar a quantidade movimentos do braço, aumentar os graus de liberdade que ele possui atualmente e incrementar a velocidade de resposta.

Assim, percebeu-se que outros trabalhos se desenvolverão a partir desse, como o controle da garra por meio do rastreamento da mão do usuário; adicionar mais graus de liberdade ao braço robótico; e aumentar a velocidade de resposta na replicação de movimentos.

REFERÊNCIAS

CORREA, D. S. O.; SCIOTTI, D. F.; PRADO, M. G.; SALES, D.; WOLF, D. F.; OSORIO, F. S. Mobile Robots Navigation in Indoor Environments Using Kinect Sensor. In: BRAZILIAN CONFERENCE ON CRITICAL EMBEDDED SYSTEMS (IEEE, SBC) - CBSEC, 2., 2012. *Anais...* P. 36-41.

CRUZ-MARTÍN, A.; FERNÁNDEZ-MADRIGAL, J. A.; GALINDO, C.; GONZÁLEZ-JIMÉNEZ, J.; STOCKMANS-DAOU, C.; BLANCO-CLARACO, J. L. A LEGO Mindstorms NXT approach for teaching at Data Acquisition, Control Systems Engineering and Real-Time Systems undergraduate courses. *Computers & Education*, v. 59, n. 3, p.974-988, 2012.

KELLY, J. F. *Lego Mindstorms NXT-G Programming Guide*. Apress, 2010.

KIRNER, C.; TORI, R. Fundamentos de Realidade Aumentada. In: TORI, R. ; KIRNER, C. ; SISCOUTO, R. (Org.). *Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada*. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação - SBC, v. 1, p.23-37, 2006.

LAZAR, J.; FENG, J. H.; HOCHHEISER, H. *Research methods in human-computer interaction*. Wiley, 2010.

LEYVAND, T.; MEEKHOF, C.; WEI, Y. C.; SUN, J.; GUO, B. Kinect identity: Technology and experience. *Computer*, v. 44, n. 4, p.94-96, 2011.

NXTPROGRAMS.COM. *Robot Arm*. 2007-2011. Disponível em: <http://www.nxtprograms.com/robot_arm/index.html>. Acesso em: 15 maio 2016.

OLIVEIRA, I. A. Interface de Usuário: a interação Homem-Computador através dos tempos. *Olhar Científico*, v. 1, n. 2, p.178-184, 2010.

ZHANG, Z. Microsoft Kinect Sensor and Its Effect, *MultiMedia, IEEE*, v.19, n.2, pp.4,10, fev. 2012.