CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI

ANA PAULA GENARI MARTIN

IMPLEMENTAÇÃO DO CÁLCULO DE OCLUSÃO DE INTERVALO A PARTIR DE MÚLTIPLOS PONTOS DE VISTA

São Bernardo do Campo
2017

ANA PAULA GENARI MARTIN

IMPLEMENTAÇÃO DO CÁLCULO DE OCLUSÃO DE INTERVALO A PARTIR DE MÚLTIPLOS PONTOS DE VISTA

Dissertação de Mestrado, apresentada ao Centro Universitário da FEI para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica. Orientado pelo Prof. Dr. Paulo Eduardo Santos.

São Bernardo do Campo

2017

Martin, Ana Paula.
Implementação do Cálculo de Oclusão de Intervalo a partir de Múltiplos Pontos de Vista / Ana Paula Martin. São Bernardo do Campo, 2017.
98 f. : il.

Dissertação - Centro Universitário FEI.
Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo Santos.

1. Raciocínio Espacial Qualitativo. 2. Colaboração. 3. Álgebra de Allen. 4. Pontos de Vista. I. Santos, Paulo Eduardo , orient. II. Título.

Elaborada pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da FEI com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

centro universitário FEI

APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO
ATA DA BANCA EXAMINADORA

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Elétrica

Mestrado

PGE-10

Aluno: Ana Paula Genari Martin **Matrícula:** 114301-5

Título do Trabalho: Implementação do cálculo de oclusão de intervalo a partir de múltiplos pontos de vista.

Área de Concentração: Inteligência Artificial Aplicada à Automação

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo Santos

Data da realização da defesa: 21/02/2017

ORIGINAL ASSINADA

Avaliação da Banca Examinadora:

São Bernardo do Campo, 21 / 02 / 2017.

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA	
Prof. Dr. Paulo Eduardo Santos	Ass.: _____
Prof. Dr. Guilherme Alberto Wachs Lopes	Ass.: _____
Prof.ª Dr.ª Leliane Nunes de Barros	Ass.: _____

A Banca Julgadora acima-assinada atribuiu ao aluno o seguinte resultado:

APROVADO ☒ REPROVADO ☐

VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO

APROVO A VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO EM QUE FORAM INCLUÍDAS AS RECOMENDAÇÕES DA BANCA EXAMINADORA

_____

Aprovação do Coordenador do Programa de Pós-graduação

_____

Prof. Dr. Carlos Eduardo Thomaz

A Deus pelo fôlego de vida e a minha família sem a qual não chegaria a lugar nenhum.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por me dar a vida e me permitir descobrir o mundo criado por Ele. À minha família e amigos que entenderam, ou não, muitas ausências para a concretização desse trabalho. Ao professor Paulo Eduardo Santos por compartilhar seu conhecimento e exigir sempre o melhor e mais correto, ao centro universitário da FEI pelo espaço e recursos concedidos, aos professores da pós graduação e aos funcionários da secretaria que nos atendem tão prontamente.

“E conhecereis a verdade, e a verdade vos libertará. João 8:32”

RESUMO

Com o aumento da interação de agentes robóticos com humanos, a área de Raciocínio Espacial Qualitativo provê formalismos que permitem que robôs sejam capazes de raciocinar e fazer representações espaciais semelhantes ao modo como os humanos o fazem. Sendo a visão uma característica fundamental para o raciocínio espacial, muitos trabalhos foram desenvolvidos utilizando a oclusão como base para verificar como as entidades espaciais se relacionam e como representar essas relações.

Em um grupo de trabalho que contenha múltiplos agentes (robóticos e humanos) se faz necessário que cada agente seja capaz de interpretar as informações espaciais fornecidas pelos outros agentes, no entanto, na literatura são encontrados poucos trabalhos que integrem múltiplos pontos de vista.

Esse trabalho propõe a implementação do Cálculo de Oclusão de Intervalo (COI) que integra os pontos de vista de diferentes agentes robóticos, permitindo que esses agentes raciocinem sobre sua localização e a localização dos demais agentes e objetos presentes em diferentes cenários.

Além disso, é proposta uma extensão do Cálculo de Oclusão de Intervalo de modo que para qualquer forma que os objetos e agentes estejam posicionados em um ambiente, seja possível aplicar o Cálculo de Oclusão de Intervalo utilizando uma tabela de transformação de perspectiva para cada situação.

Os experimentos foram realizados em ambiente simulado utilizando o ROS e o GAZEBO com os modelos do robô Husky A200 e um quadrotor. Os mesmos experimentos foram realizados com robôs reais no laboratório de robótica do Centro Universitário da FEI utilizando um robô Husky A200, equipado com um Kinect e o quadrotor Pelican.

Através da análise dos resultados obtidos foi possível verificar que o COI pode ser aplicado em um ambiente com múltiplos agentes de forma colaborativa, de forma que os agentes sejam capazes de fazer a transformação de perspectivas e checar a consistência dessas informações.

Palavras-chave: Raciocínio espacial qualitativo. Colaboração. Álgebra de Allen. Pontos de vista.

ABSTRACT

With increasing interaction of robotic agents with humans, the Qualitative Space Reasoning field provides formalisms that allow robots to be able to reason and make spatial representations similar to the way humans do. Since vision is a fundamental feature of spatial reasoning, many works have been developed using occlusion as a basis for verifying how spatial entities relate to and how to represent those relationships.

In a team that contains multiple agents (robotics and humans) it is necessary that each agent is able to interpret the spatial information provided by the other agents, however, in the literature are found few works that integrate multiple points of view.

This work proposes the implementation of the Interval Occlusion Calculus (IOC) that integrates the points of view of different robotic agents, allowing these agents to reason about their location and the location of other agents and objects present in different scenarios.

In addition, it is proposed an extension of the Interval Occlusion Calculus so that for whatever way the objects and agents are positioned in an environment, it is possible to apply the Interval Occlusion Calculus using a perspective transformation table for each situation.

The experiments were performed in a simulated environment using ROS and GAZEBO with the Husky A200 robot models and a quadrotor. The same experiments were carried out with real robots in the robotics laboratory of Centro Universitário da FEI using a Husky A200 robot, equipped with a Kinect and the Pelican quadrotor.

Through the analysis of the obtained results it was possible to verify that the IOC can be applied in an environment with multiple agents in a collaborative way, so that the agents are able to transform perspectives and check the consistency of these informations.

Keywords: Qualitative spatial reasoning. Colaborative. Allen's algebra. Point of view.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama conceitual de vizinhança do CCR-8. 18
Figura 2 – Diagrama de direções cardinais do CDC 19
Figura 3 – Diagrama de setores e quadrante referentes a um ponto orientado. 20
Figura 4 – Doze das quatorze relações do cálculo de linhas de visão. 21
Figura 5 – Oclusão entre dois objetos. 22
Figura 6 – As relações básicas do cálculo de oclusão de regiões. 22
Figura 7 – Oclusão, obstrução e cobertura entre duas regiões. 23
Figura 8 – As 13 relações básicas de Allen entre dois intervalos *x* e *y* 26
Figura 9 – Exemplo de uma rede de restrições para 3 intervalos A, B e C. 29
Figura 10 – Cálculo de Oclusão de Ponto 29
Figura 11 – Dois objetos circulares A e B e um ponto de vista Σ 31
Figura 12 – Linhas de visão entre dois objetos A e B e relações básicas do COI 32
Figura 13 – Rede de transição do COI 33
Figura 14 – Exemplo para construção de uma tabela de transformação 34
Figura 15 – Representação da interação entre os componentes do *ROS* 38
Figura 16 – Modelos dos robôs Husky e Pelican no simulador GAZEBO. 39
Figura 17 – Robô Husky A200. 39
Figura 18 – Robô Pelican 40
Figura 19 – Exemplo para construção de uma tabela de transformação 42
Figura 20 – Linhas de Visão entre dois objetos *A* e *B* e as relações básicas do COI para A e B do mesmo tamanho. 43
Figura 21 – Linhas de Visão entre dois objetos *A* e *B* externamente conectados e as relações básicas do COI 43
Figura 22 – Linhas de visão para a configuração $EC(A,B)$ com Σ_1 observando $a\ m\ b$ . . 44
Figura 23 – Linhas de Visão entre dois objetos *A* e *B* onde A sobrepõe parcialmente B $(PO(A,B))$ e as relações básicas do COI. 45
Figura 24 – Linhas de visão para a configuração $PO(A,B)$ com Σ_1 observando $a\ o\ b$ . . 45
Figura 25 – Mapa de regiões qualitativas entre dois objetos *A* e *B* e as relações básicas do COI 46
Figura 26 – Linhas de visão para a configuração $TPP(A,B)$ com Σ_1 observando $a\ s^{-}\ b$ 47
Figura 27 – Mapa de regiões qualitativas para $EQ(A,B)$ 47
Figura 28 – Diagrama da solução 48
Figura 29 – Cenário com dois objetos desconectados 57
Figura 30 – Vista global para o cenário com dois objetos desconectados. 57
Figura 31 – Vista de Σ_1 para o cenário apresentado na figura 29. 58
Figura 32 – Vista frontal de Σ_2 para o cenário apresentado na figura 29 58
Figura 33 – Linha de simetria para o cenário com dois objetos desconectados. 59

Figura 34 – Linhas de visão com Σ_1 posicionado na região o^+ 60
Figura 35 – Cenário com dois objetos com dois objetos, B e R em que $TPP(B,R)$ . . . 60
Figura 36 – Vista global para o cenário com dois objetos com dois objetos, B e R em que $TPP(B,R)$ 61
Figura 37 – Vista frontal Σ_1 para o cenário da figura 35. 61
Figura 38 – Vista frontal de Σ_2 para o cenário da figura 35. 62
Figura 39 – Cenário com dois objetos desconectados em ambiente real 67
Figura 40 – Vista global para o cenário com dois objetos desconectados 68
Figura 41 – Vista frontal de Σ_1 para o cenário com dois objetos desconectados 69
Figura 42 – Vista frontal de Σ_2 para o cenário com dois objetos desconectados 69
Figura 43 – Vista frontal de Σ_2 para o cenário com dois objetos desconectados com filtro ajustado 70
Figura 44 – Vista global para o cenário com dois objetos, B e R em que $TPP(B,R)$. . . 71
Figura 45 – Vista frontal de Σ_1 para o cenário com dois objetos, B e R em que $PP(B,R)$. 71
Figura 46 – Vista frontal de Σ_2 para o cenário com dois objetos, B e R em que $TPP(B,R)$. 72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relações entre pares de objetos no CCR. 17
Tabela 2 – Relações entre pares de objetos no CCR-8. 18
Tabela 3 – Tabela de composição para o CCR-8 19
Tabela 4 – Definição das 13 relações de Allen entre um intervalo x e um intervalo y . . . 27
Tabela 5 – tabela de composição das relações de Allen. 28
Tabela 6 – tabela de transformação do COI 35
Tabela 7 – Parte da tabela de transformação para dois objetos externamente conectados $EC(A,B)$. 44
Tabela 8 – Tabela de transformação para dois objetos na configuração $PO(A,B)$. 46
Tabela 9 – Tabela de transformação para dois objetos na configuração $TPP(A,B)$. . . . 46
Tabela 10 – Resultado da implementação do COI para o cenário apresentado na figura 29. 59
Tabela 11 – Resultado da implementação do COI para o cenário apresentado na figura 35. 62
Tabela 12 – Resultado da implementação do COI para o cenário apresentado na Figura 29. 63
Tabela 13 – Resultado da implementação do COI para o cenário com dois objetos desconectados com Σ_1 posicionado na região o^+. 63
Tabela 14 – Resultado da implementação do COI para o cenário apresentado na Figura 29 variando a posição de Σ_1 e Σ_2 64
Tabela 15 – Resultado da implementação do COI para o cenário apresentado na figura 35. 65
Tabela 16 – Resultado da implementação do COI para o cenário apresentado na figura 35. 66
Tabela 17 – Resultado da implementação do COI para o cenário apresentado na Figura 39. 73
Tabela 18 – Resultado da implementação do COI para o cenário com dois objetos B e R onde $TPP(B,R)$ em ambiente real. 74
Tabela 19 – Tabela de transformação para dois objetos externamente conectados $DC(A,B)$ para Σ_1 posicionado de forma a observar $a\ p\ b$. 83
Tabela 20 – Tabela de transformação para dois objetos externamente conectados $EC(A,B)$ para Σ_1 posicionado de forma a observar $a\ m\ b$. 84
Tabela 21 – Tabela de transformação para dois objetos A e B onde $PO(A,B)$ para Σ_1 posicionado de forma a observar $a\ o\ b$. 85
Tabela 22 – Tabela de transformação para dois objetos A e B onde $TPP(A,B)$ para Σ_1 posicionado de forma a observar $a\ s^-\ b$. 86
Tabela 23 – Tabela de transformação para dois objetos A e B onde $NTPP(A,B)$. 87

LISTA DE ALGORITMOS

Algoritmo 1 – Algoritmo utilizado na obtenção dos intervalos. 49
Algoritmo 2 – Algoritmo utilizado na obtenção das relações entre os intervalos. 50
Algoritmo 3 – Algoritmo utilizado na obtenção das relações de conexão entre os intervalos. 51
Algoritmo 4 – Algoritmo utilizado na obtenção da relação transformada a partir da tabela de transformação 52
Algoritmo 5 – Algoritmo utilizado na verificação da consistência das relações par a par . 53
Algoritmo 6 – Algoritmo utilizado na verificação da consistência das relações através da composição 54
Algoritmo 7 – Algoritmo utilizado na obtenção da relação transformada a partir da tabela de transformação 54

SUMÁRIO

1 Introdução . . . 15
2 Raciocínio Espacial Qualitativo . . . 17
2.1 Raciocínio Espacial Colaborativo . . . 24
3 Conceitos Fundamentais . . . 26
3.1 Álgebra de Intervalo de Allen . . . 26
3.1.1 Consistência . . . 27
3.2 Cálculo de Oclusão de Pontos . . . 29
3.3 Pontos de vista nas relações de Allen . . . 30
3.4 Cálculo de Oclusão de Intervalos . . . 31
3.4.1 Tabela de Transformação do COI . . . 34
4 Recursos Utilizados . . . 36
4.1 Sistema Operacional . . . 36
4.2 Simulador . . . 38
4.3 Robôs Reais . . . 39
5 Desenvolvimento e Implementação . . . 41
5.1 Desenvolvimento Teórico . . . 41
5.1.1 Definição de regiões para construção da tabela de transformação . . . 41
5.1.2 Desenvolvimento do COI para qualquer configuração . . . 42
5.2 Algoritmos . . . 48
5.2.1 Identificação de objetos . . . 48
5.2.2 Identificação das relações entre objetos . . . 50
5.2.3 Construção da tabela de Transformação . . . 51
5.2.4 Consistência das informações recebidas . . . 52
6 Testes e Resultados . . . 56
6.1 Testes em ambiente simulado . . . 56
6.1.1 Teste com dois objetos desconectados . . . 56
6.1.2 Teste com dois objetos, B e R em que $TPP(B,R)$ . . . 59
6.2 Testes com robôs reais . . . 67
6.2.1 Teste com dois objetos desconectados . . . 67
6.2.2 Teste com dois objetos, B e R em que $TPP(B,R)$ . . . 70
6.3 Discussão de Resultados . . . 75
7 Conclusão . . . 77
7.1 Trabalhos Futuros . . . 77
REFERÊNCIAS . . . 79
APÊNDICE A – Tabelas de Transformação . . . 82
APÊNDICE B – Artigo Submetido . . . 88

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos tempos muito tem se falado sobre equipes que trabalham de forma colaborativa, seja no meio corporativo, acadêmico, segurança pública e outras áreas de atuação. O trabalho em equipe tem sido muito valorizado pois equipes multidisciplinares alcançam resultados de forma mais rápida e eficiente. Recentemente o uso de robôs tem aumentado gradativamente para apoiar equipes humanas na realização de diversas tarefas, como por exemplo, busca e resgate de vítimas em situações de desastres (KARACAPILIDIS; PAPADIAS; EGENHOFER, 1995).

Em cenários de desastres naturais, onde há vítimas e uma grande quantidade de cenas desconhecidas e desordenadas, o uso de robôs é útil para diminuir a exposição dos humanos aos riscos que essas situações oferecem, aumentar a velocidade de acessos à áreas obstruídas e estender o alcance à áreas antes inacessíveis.

Além disso, em uma equipe com múltiplos robôs trabalhando de forma colaborativa as tarefas podem ser distribuídas entre os membros da equipe de acordo com a habilidade de cada um, de modo que ao invés de um agente ser capacitado com muitas habilidades, estas são distribuídas entre a equipe, inclusive as que são pertinentes a agentes humanos (DOHERTY; HEINTZ; LANDÉN, 2010).

Outro benefício do uso de agentes robóticos é que em muitas situações se faz necessário uma habilidade específica em determinado assunto, por exemplo, um cão farejador que seja capaz de identificar gases tóxicos necessita de um longo período de treinamento, o animal pode correr risco de vida, além de ser um recurso limitado. O uso de agentes robóticos permite que robôs com capacidades semelhantes sejam produzidos em escala, de forma que em caso de defeito ou perda possam ser rapidamente substituídos.

Uma iniciativa de trabalho que integra agentes humanos e robóticos é chamada de iniciativa mista (DOHERTY; HEINTZ; LANDÉN, 2010). Para que esses agentes possam trabalhar de forma colaborativa é preciso que utilizem uma linguagem de comunicação comum. Com isso, surge a necessidade de aproximar a linguagem utilizada pelos agentes robóticos à forma natural de humanos se expressarem e raciocinarem.

Uma subárea da Inteligencia Artificial (IA) chamada Raciocínio Espacial Qualitativo (REQ) fornece representações simbólicas e sistemas de inferência para entidades espaciais, que se aproximam da forma como humanos descrevem e raciocinam sobre o espaço, em contraste às técnicas numéricas de representação de distâncias, tamanhos, orientação, entre outros (Anthony G COHN; RENZ, 2008).

Para raciocinar sobre o espaço, a visão é uma característica fundamental no processo de aquisição de informações espaciais (TARQUINI et al., 2007), com isso muitos trabalhos foram desenvolvidos utilizando a oclusão como base para verificar como as entidades espaciais se relacionam e como representar essas relações.

Muitos trabalhos em Inteligência Artificial tem abordado a questão do raciocínio espacial qualitativo através do conceito da oclusão para um ponto de vista. No entanto, sabe-se que em uma situação real, a informação de um único ponto de vista pode fornecer informações imprecisas, carregadas de erros, ruídos e ainda pode não ser relevante caso a posição do agente não seja privilegiada. Para melhorar a qualidade da informação percebida de um ambiente, o melhor é integrar múltiplos agentes robóticos capazes de combinar suas percepções sobre o ambiente, e fornecer informação muito mais completa e precisa que um único agente.

Na literatura são encontrados poucos trabalhos que combinam múltiplos pontos de vista. Este trabalho tem o objetivo de implementar o Cálculo de Oclusão de Intervalo (COI) (Paulo E. SANTOS; LIGOZAT; SAFI-SAMGHABAD, 2015) de modo que múltiplos agentes possam raciocinar sobre informações espaciais a partir de dados sobre o ambiente. As principais contribuições deste projeto são:

a) Apresentar a primeira implementação do COI;

b) Integrar múltiplos pontos de vista em um aplicação robótica.

Neste trabalho, foram utilizadas técnicas de Raciocínio Espacial Qualitativo baseado no Cálculo de Oclusão de Intervalo (COI) proposto em Paulo E. Santos, Ligozat e Safi-Samghabad (2015) com o objetivo de realizar a primeira implementação dessa técnica e avaliar sua aplicabilidade em robôs reais.

Esse formalismo foi aplicado em um ambiente simulado e real com agentes aéreos e terrestres com a tarefa de se auto localizarem e identificarem a posição dos demais agentes a partir das informações coletadas e compartilhadas.

A presente dissertação está organizada da seguinte maneira, no capítulo 2 é apresentando o estado da arte da área de Raciocínio Espacial Qualitativo e Raciocínio Espacial Colaborativo. O capítulo 3 apresenta os conceitos fundamentais para a realização deste trabalho. No capítulo 4 são apresentados os recursos utilizados no desenvolvimento dessa dissertação. No capítulo 5 está descrito o desenvolvimento da teoria apresentada e como foi implementada. No capítulo 6 são apresentados os testes e resultados tanto da simulação quanto da aplicação no ambiente real e a discussão dos resultados e no capítulo 7 tem-se a conclusão e os trabalhos futuros.

Tabela 1 – Relações entre pares de objetos no CCR.

Relação	Descrição
P(x,y)	x é parte de y
O(x,y)	x se sobrepõe a y
PP(x,y)	x é parte própria de y
P$\imath$/2 e PP$\imath$/2	relações inversas de P/2 e PP/2
DC(x,y)	x é desconexo de y
EQ(x,y)	x é igual a y
PO(x,y)	x se sobrepõe parcialmente a y
DR(x,y)	x é distinto de y
EC(x,y)	x está externamente conectado a y
PP(x,y)	x é parte própria de y
TPP(x,y)	x é parte própria tangencial de y
NTPP(x,y)	x é parte própria não tangencial de y
TPP$\imath$/2 e *NTPP$\imath$/2*	relações inversas de *TPP/2* e *NTPP/2*, respectivamente

Fonte: D. A. Randell; Cui; Anthony G. Cohn, 1992.

2 RACIOCÍNIO ESPACIAL QUALITATIVO

Na vida real quando pessoas precisam descrever o espaço, suas necessidades e restrições para tomada de decisões, normalmente utilizam expressões linguísticas (KARACAPILIDIS; PAPADIAS; EGENHOFER, 1995), ao invés de expressões numéricas, como utilizado nas ciências exatas. O objetivo do raciocínio espacial qualitativo (REQ) é fornecer mecanismos que permitam a manipulação do conhecimento de forma qualitativa, buscando atingir o mesmo nível utilizado por pessoas no dia a dia (Anthony G COHN; RENZ, 2008). A representação espacial pode ser descrita de diversas maneiras. Inicialmente é preciso decidir sobre que tipo de entidades serão utilizadas para representar o espaço, como por exemplo, pontos, linhas, regiões, etc.

Uma vez definido o tipo de representação que será utilizado, é necessário estabelecer como as entidades escolhidas se relacionam considerando aspectos do espaço, como mereologia, topologia, orientação, forma, tamanho e distância entre entidades.

A mereologia corresponde a um dos aspectos da representação espacial, ela trata das relações de parte e todo de uma entidade e os conjuntos por eles formados. Outro aspecto fundamental é a topologia, que possibilita fazer distinções qualitativas relacionadas à conectividade de regiões espaciais. Dessa forma, ao integrar a mereologia com a topologia, temos a mereotopologia (Anthony G COHN; RENZ, 2008).

Um dos formalismos do REQ que estuda as relações mereotopológicas apresentado por D. A. Randell, Cui e Anthony G. Cohn (1992) é o Cálculo de Conexão de Regiões (CCR). O CCR é baseado em uma relação primitiva binária entre duas regiões x e y (C/2), onde *C(x,y)* é lido como "*x* está conectado a *y*". Com a relação C/2 são definidas as relações apresentadas na tabela 1.

Tabela 2 – Relações entre pares de objetos no CCR-8.

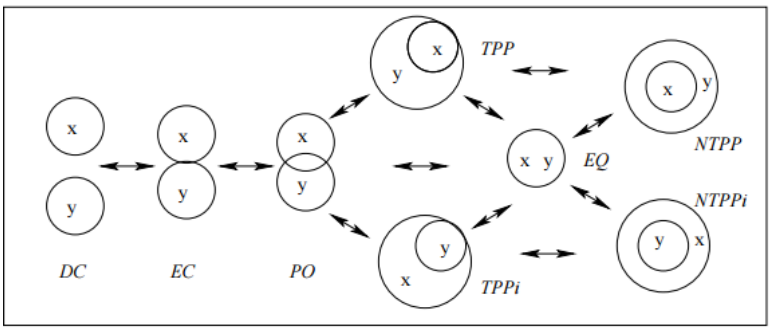
Relação	Descrição
DC(x,y)	x é desconexo de y
EQ(x,y)	x é igual a y
PO(x,y)	x se sobrepõe parcialmente a y
EC(x,y)	x está externamente conectado a y
TPP(x,y)	x é parte própria tangencial de y
NTPP(x,y)	x é parte própria não tangencial de y
TPPi/2 e *NTPPi/2*	relações inversas de *TPP/2* e *NTPP/2*, respectivamente

Fonte: D. A. Randell; Cui; Anthony G. Cohn, 1992.

Das relações apresentadas na tabela 1 existem oito relações que em conjunto formam relações exaustivas e mutuamente exclusivas (do inglês, *Jointly Exhautive and Mutually Disjoint (JEPD)*), essas relações são conhecidas como CCR-8 e estão apresentadas na tabela 2.

As relações presentes no CCR-8 são representadas graficamente por um diagrama conceitual de vizinhança (DCV), onde os vértices do grafo representam as relações espaciais entre objetos e as arestas representam as transições entre essas relações conforme pode-se observar na figura 1. O DCV foi apresentado por Freksa (1992) e tem sido utilizado em diversos formalismos de raciocínio espacial qualitativo e de raciocínio temporal qualitativo como ferramenta para prever qual estado, relação espacial e/ou temporal, poderá ser observado no futuro.

Figura 1 – Diagrama conceitual de vizinhança do CCR-8.



Fonte: D. A. Randell; Cui; Anthony G. Cohn, 1992

Um agente inteligente deve ser capaz de derivar novos conhecimentos a partir das informações dadas, checar a consistência dessas informações, atualizar seu conhecimento ou encontrar uma representação mínima.

Uma ferramenta que permite que um agente realize essas tarefas é a composição de relações, representada pelo símbolo matemático $\circ$. Dadas duas relações $R_1(a,b)$ e $R_2(b,c)$, pode-se extrair uma terceira relação $R_3(a,c)$, onde:

$$R_3(a,c) \subseteq (R_1(a,b) \circ R_2(b,c)). \tag{1}$$

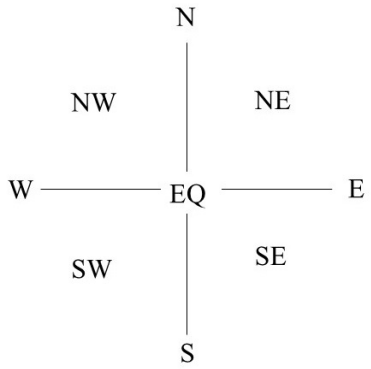
A tabela 3 representa a tabela de composição para todas as relações do CCR-8. Na primeira linha temos R_1*(a,b)*, na primeira coluna R_2*(b,c)* e na intersecção das linhas e colunas está a disjunção das relações: R_3*(a,c)*.

Tabela 3 – Tabela de composição para o CCR-8

	DC	EC	PO	TPP	NTPP	TTP_i	$NTTP_i$	EQ
DC	*no info.*	DR,PO,PP	DR,PO,PP	DR,PO,PP	DR,PO,PP	DC	DC	DC
EC	DR,PO,PP_i	DR,PO,TPP	DR,PO,PP	EC,PO,PP	PO,PP	DR	DC	EC
PO	DR,PO,PP_i	DR,PO,PP_i	*no info.*	PO,PP	PO,PP	DR,PO,PP_i	DR,PO,PP_i	PO
TPP	DC	DR	DR,PO,PP	PP	NTPP	DR,PO,TPP	DR,PO,PP_i	TPP
NTPP	DC	DC	DR,PO,PP	NTPP	NTPP	DR,PO,PP	*no info.*	NTPP
TPP_I	DR,PO,PP_i	EC,PO,PP_i	PO,PP_i	PO,TPP	PO,PP	PP_i	$NTPP_i$	TPP_i
$NTPP_I$	DR,PO,PP_i	PO,PP_i	PO,PP_i	PO,PP_i	O	$NTPP_i$	$NTPP_i$	$NTPP_i$
EQ	DC	EC	PO	TPP	NTPP	TPP_i	$NTPP_i$	EQ

O REQ ainda possui outros formalismos que levam em consideração a direção entre objetos, como o Cálculo de Direções Cardinais (CDC) (**frank**), onde são consideradas as oito relações *norte, sul, leste, oeste, nordeste, noroeste, sudeste e sudoeste* e a relação *EQ* que implica que dois objetos estão na mesma direção, como podemos observar na figura 2.

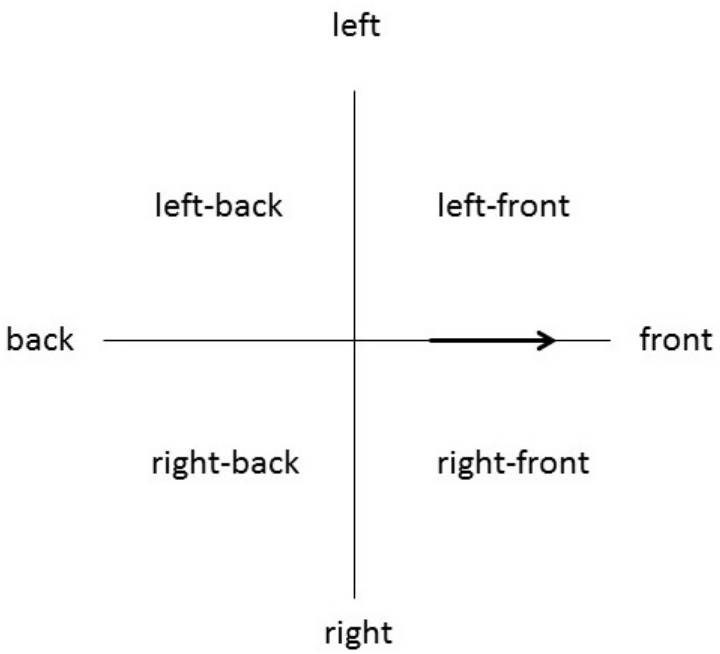
Figura 2 – Diagrama de direções cardinais do CDC.



Fonte: Frank, 1996

As abordagens apresentadas acima representam os objetos sem traços característicos de orientações, Moratz (2006) apresenta um cálculo de posição que tem como base objetos representados como pontos orientados, dessa forma o cálculo se baseia em segmentos de reta (dipolos). A álgebra de ponto orientado (do inglês *Oriented Point Algebra* ($OPRA_m$)) não leva em consideração o tamanhos dos objetos mas apenas a orientação, a figura 3 representa os setores e quadrantes referentes a um ponto orientado.

Figura 3 – Diagrama de setores e quadrante referentes a um ponto orientado.



Fonte: Moratz, 2006

O conceito de visibilidade é fundamental para execução de uma série de tarefas realizadas tanto por humanos quanto por agentes robóticos, com isso, este conceito está relacionado á muitos campos de aplicação, tais como navegação de robôs, computação gráfica e sistemas de telecomunicações (TARQUINI et al., 2007).

Muitos formalismos em Raciocínio Espacial Qualitativo (REQ) utilizam a visão como fonte de informações espaciais, utilizando o artifício da oclusão (Paulo E. SANTOS; LIGOZAT; SAFI-SAMGHABAD, 2015). A oclusão ocorre quando um corpo intercepta outro a partir de um determinado ponto de vista.

Um dos primeiros formalismos qualitativos sobre oclusão espacial foi proposto por Petrov e Kuzmin (1996), em que um conjunto de axiomas foi projetado para restringir as relações de oclusão. Dado um conjunto de localizações X, uma relação de oclusão em X é definida como a relação ternária <x,y,z>, que significa *"o ponto y oculta os pontos x e z"* e <$\overline{x,y,z}$> significa que não há oclusão entre os pontos x, y e z

Segundo Petrov e Kuzmin (1996) as relações da geometria espaço visual obedecem aos axiomas onde para quaisquer x, $y \in$ X, <x,x,y> e <y,x,x>:

a) há pelo menos três pontos em X que não formam uma tríade;

b) para quaisquer três pontos distintos x, $y \in$ X existem pontos z_1, z_2, $z_3 \in$ X tais que <z_1, x, y>, <x, z_2, y> e <x, y, z_3>;

c) se $x \neq y \neq z \in$ X e <x, y, z> então <$\overline{y, x, z}$> e <$\overline{x, z, y}$>;

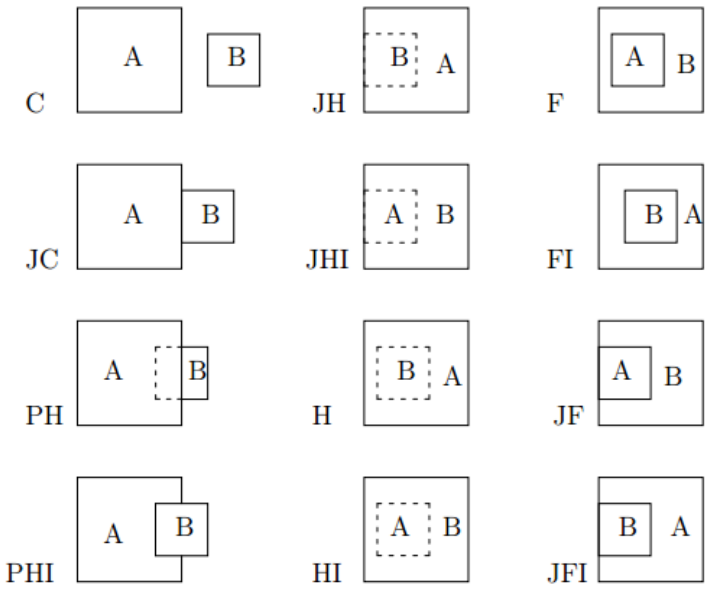
d) para qualquer tríade <x, y, z>, é verdade que <z, y, x> é uma tríade;

e) se <x_1, x_2, x_3> e <x_2, x_3, x_4> então <x_1, x_2, x_4> e <x_1, x_3, x_4>;

f) se <x_1, a, b> e <x_2, a, b> então <x_1, x_2, a> ou <x_2, x_1, a>.

Galton (1994) propôs um cálculo baseado em Linhas de Visão, que representa a posição relativa entre dois corpos sobre o ponto de vista de um observador derivando 14 relações distintas entre dois objetos A e B: EH (*A exactly hides B*), EHI (*A is exactly hidden by B*) e as doze relações representadas na figura 4 , C (*A is clear of B*), JC (*A is just clear of B*), PH (*A partially hides B*), JH (*A just hides B*), JHI(*A is just hidden by B*), H (*A hides B*), HI (*A is hidden by B*), EH(*A exactly hides B*), EHI (*A is exactly hidden by B*), F(*A is in front of B*), FI (*A has B in front of it*), JF (*A is just front of B*) and JFI (*A has B just in front of it*).

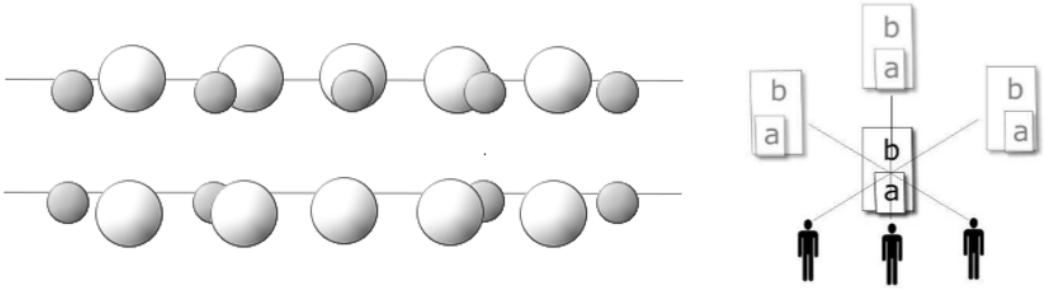
Figura 4 – Doze das quatorze relações do cálculo de linhas de visão.



Fonte: Galton, 1994

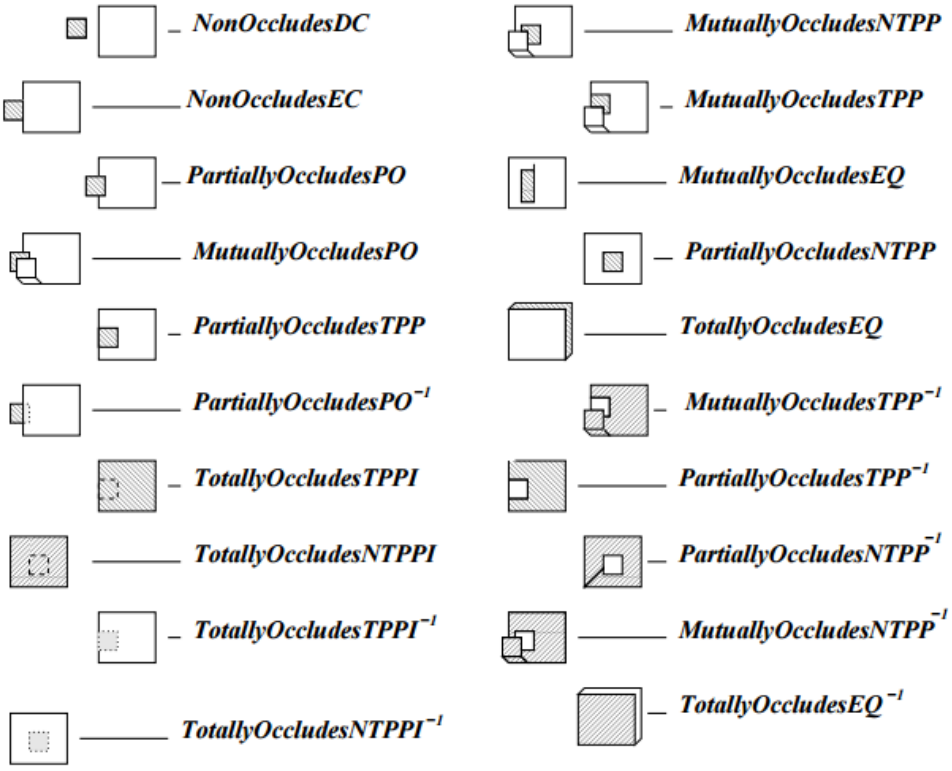
Baseado nessa ideia, D. Randell, Witkowski e Shanahan (2001a) propôs o Cálculo de Oclusão de Regiões (COR) definindo a oclusão como uma teoria mereotopológica. As relações do COR são compostas por *C/2* e *TotallyOccludes(x,y,v)*, que deve ser lido como "*x* oculta totalmente *y* a partir do ponto de vista *v*". Na figura 5 tem-se todas as relações que ocorrem durante o evento de oclusão pelo objeto menor. À direita pode-se observar como as relações entre dois objetos podem variar conforme o ponto de vista do observador. Na figura 6 estão representadas todas as vinte relações do cálculo de oclusão de regiões COR-20.

Figura 5 – Oclusão entre dois objetos.



Fonte: D. Randell; Witkowski; Shanahan, 2001

Figura 6 – As relações básicas do cálculo de oclusão de regiões.



Fonte: D. Randell; Witkowski; Shanahan, 2001

O trabalho descrito em (VILLEMAIRE; HALLÉ, 2012) propõe uma lógica modal sobre relações binárias representando visibilidade a partir das relações abaixo.

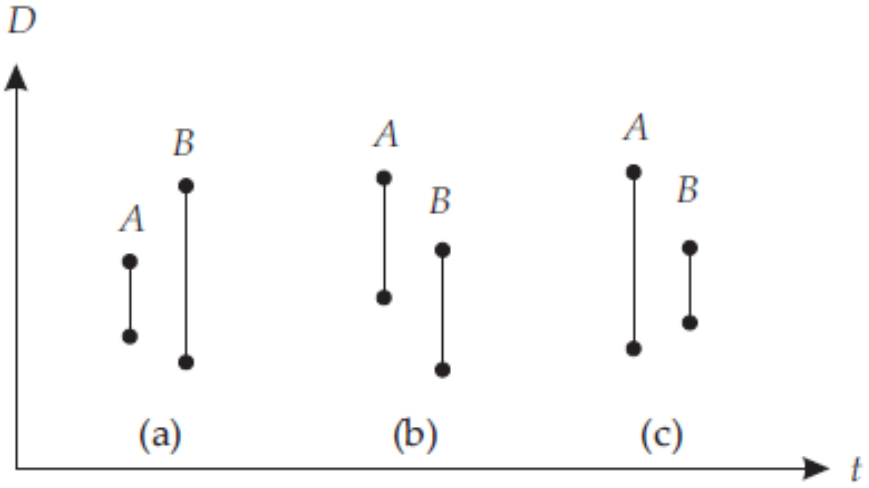
a) A oculta B, quando $A \subseteq B$, figura 7 (a);

b) A obstrui B, quando $A \cap \neq 0\ B$, figura 7 (b);

c) A cobre B, quando $A \supseteq B$, figura 7(c).

Com uma abordagem diferente, Guha, Mukerjee e Venkatesh (2011) propõe um conjunto de 14 relações de oclusão deixando explícito se um objeto observado está fragmentado

Figura 7 – Oclusão, obstrução e cobertura entre duas regiões.



Fonte: Villemaire; Hallé, 2012

ou não, e se está sendo ocultado por um objeto móvel ou pelo fundo da cena. Tassoni et al. (2011) desenvolve uma abordagem de REQ com uma abordagem tridimensional e Sabharwal (2015) estende o cálculo de oclusão de regiões com a noção de profundidade, fornecendo um novo conjunto de predicados para relações espaciais tridimensionais incluindo oclusão. Essa abordagem deriva relações de obscurecimento espacial e classificação da projeção de objetos 3D em um plano de projeção 2D e distância relativa dos objetos do observador.

Mainas e Petrakis (2014) propõe o CHOROS 2, um novo resolvedor de problemas espaciais para informações topológicas e direcionais incorporando otimizações e melhorias ao mecanismo de verificação de consistência de trajetória e representação espacial, incluindo um novo modelo de decomposição para as relações direcionais CDC. Nath e Hazarika (2015) apresenta uma estrutura que combina a representação diagramática com o raciocínio espacial e temporal qualitativo para a detecção de eventos de movimento em vídeo. Martino, Rodrigues e Paulo E Santos (2016) utiliza um formalismo para representação de localização qualitativa denominado Ego-Esfera Qualitativa, que discrimina o mundo em torno de um agente visual em setores, bem como com relação a distância relativa dos objetos do ponto de vista do observador.

Os formalismos apresentados acima, e a maioria dos trabalhos sobre REQ, abordam a questão a partir do ponto de vista de um único observador, no entanto, em geral, pesquisadores da área de inteligência artificial concordam que sistemas multiagentes se comportam de forma mais robusta e eficiente na realização de tarefas colaborativas (ARAI; PAGELLO; PARKER, 2002).

2.1 RACIOCÍNIO ESPACIAL COLABORATIVO

A distribuição de tarefas em um sistema multiagente proporciona maior adaptabilidade do que um sistema com um único agente, pois no surgimento de uma nova necessidade, é possível acrescentar um agente com as competências necessárias sem parar todo o processo já existente.

Além disso, em um sistema multiagente é possível especializar os agentes, tirando vantagem das melhores habilidades de cada agente (DOHERTY; HEINTZ; LANDÉN, 2010).

Em Bond e Gasser (2014) é apresentada uma série de outras vantagens no uso de sistemas multiagente, como o isolamento e autonomia dos agentes que fornece maior proteção à informação processada em cada agente, e permite a resolução de problemas de forma mais natural e paralelizada, aumentando a robustez e eficiência do sistema.

Uma das abordagens para o Raciocínio Espacial Colaborativo (REC) propõe a utilização de subprocessos, Kray (2001) propõe que cada agente seja especialista em cada subprocesso e suas informações sejam integradas para formalizar o raciocínio espacial.

Já Karacapilidis, Papadias e Egenhofer (1995) propõe uma abordagem onde o processo de decisão espacial deve conciliar as abordagens individuais de cada agente e encontrar soluções que satisfaçam todos os participantes que apresentam suas necessidades em forma de restrições qualitativas. Com isso, as restrições apresentadas pelos agentes devem ser traduzidas em um modelo único que descreva as diferentes perspectivas de forma coerente.

Uma vez considerados os agentes e suas restrições se faz necessário um mecanismo de inferência que seja capaz de representar o cenário em relações espaciais, verificar a consistência das informações apresentadas, encontrar a solução ou soluções que satisfaçam todas as restrições.

Para que seja possível a interação entre agentes, tanto humanos quanto robóticos, é necessário que haja uma plataforma de comunicação que permita troca de informações, raciocínio e negociação entre agentes. Doherty, Heintz e Landén (2010) propõe uma plataforma baseada em uma tríade composta por autonomia ajustável, delegação e iniciativa mista.

Autonomia ajustável diz respeito ao nível de autonomia que o agente terá para planejar e executar uma tarefa. A autonomia é ajustada de acordo com a quantidade de restrições impostas para a tarefa. A delegação trata-se de como um agente A, delegador, irá delegar uma tarefa para um agente B. E como dito anteriormente, essa tarefa pode conter uma série de restrições, portanto, a delegação segue o formato *Delegate(A,B,tarefa)*.

Doherty et al. (2010) propõe que o objetivo principal seja dividido em objetivos menores, desta forma reduz-se a carga computacional do agente, tem-se um controle detalhado das tarefas e permite-se que a distribuição dos agentes seja feita de acordo com suas habilidades, como Doherty, Heintz e Kvarnström (2013) propõe que as capacidades dos agentes sejam distribuídas ao invés de concentrar várias habilidades em único agente.

Além de demandar e realizar tarefas é necessário que os agentes consigam transmitir informações sobre o ambiente e sobre sua própria localização. E é necessário que os demais agentes envolvidos na tarefa sejam capazes de interpretar e raciocinar sobre essas informações.

Nesse sentido, LIGOZAT (1998) propõe um calculo de oclusão de intervalo (COI), do inglês *(*Interval Occlusion Calculus - IOC), abordando questões de oclusão e múltiplos pontos de vista, que será utilizado como ponto de partida para este trabalho. No próximo capítulo serão apresentados em detalhes alguns formalismos de Raciocínio Espacial Qualitativo, que formam a base deste trabalho.

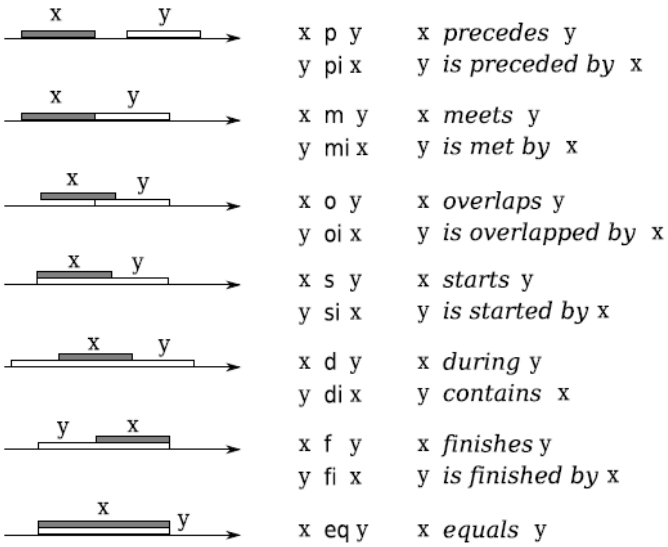
3 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Nesse capítulo são apresentados a Álgebra de Intervalos de Allen e o Cálculo de Oclusão de Intervalo (COI) que são conceitos fundamentais sobre os quais este trabalho foi desenvolvido.

3.1 ÁLGEBRA DE INTERVALO DE ALLEN

A Álgebra de Intervalos de Allen é definida por 13 relações do inglês, *joint exhaustive pairwise distinct* (JEPD) entre dois intervalos que são baseadas na ordenação relativa entre seus pontos de início e fim, como mostra a figura 8.

Figura 8 – As 13 relações básicas de Allen entre dois intervalos *x* e *y*



Fonte: Ligozat, 2013

Dados dois intervalos *x* e *y*, em que o intervalo *x* é delimitado por x_1, x_2 e $x_1 < x_2$ e o intervalo *y* por y_1, y_2 e $y_1 < y_2$, considerando que os intervalos são paralelos à linha dos números reais $\mathbf{R}$, tem-se:

a) Se x_2 é menor que y_1, então o intervalo *x* precede o intervalo *y*, com isso diz-se que *x p y*. E inversamente tem-se que *y* é precedido por *x*, representado por *y* p_i *x*.

b) Se x_2 é igual a y_1, então os intervalos *x* e *y* se encontram, portanto *x m y*, do inglês *meets*. Reciprocamente, *y* é encontrado por *x*, *y* m_i *x*.

c) A relação *x o y* significa que o intervalo *x* se sobrepõe parcialmente ao intervalo *y*, formalmente $y_1 < x_2$. A relação inversa representa que *y* é sobreposto por *x*, *y* o_i *x*.

d) A relação *x s y* significa que o intervalo *x* inicia o intervalo *y*, ou seja, *x* inicia no mesmo ponto que *y*, formalmente $x_2 = y_1$. Da relação inversa tem-se que *y* é iniciado por *x*, *y* s_i *x*.

e) A relação *x d y* significa que o intervalo *x* ocorre durante *y*, formalmente $y_1 < x_1$ e $x_2 < y_2$. Da relação inversa tem-se que *y* é contém *x*, *y* d_i *x*.

f) A relação *x f y* significa que o intervalo *x* finaliza o intervalo *y*, ou seja, *x* e *y* finalizam no mesmo ponto, $x_2 = y_2$, e o intervalo *x* inicia durante o intervalo *y*, $y_1 < x_1$. Da relação inversa tem-se que *y* é finalizado por *x*, *y* f_i *x*.

g) Finalmente, a relação *x eq y* significa que os intervalos são iguais, ou sejam, iniciam e finalizam no mesmo ponto, formalmente $x_1 = y_1$ e $x_2 = y_2$.

A tabela 4 traz todas as relações básicas da álgebra de Allen e as condições para essas ocorrerem.

Tabela 4 – Definição das 13 relações de Allen entre um intervalo *x* e um intervalo *y*

Relação Direta	Relação Inversa	Condição
x p y	*x* p_i *y*	$x_1 < x_2 < y_1 < y_2$
x m y	*x* m_i *y*	$x_1 < x_2 = y_1 < y_2$
x o y	*x* o_i *y*	$x_1 < y_1 < x_2 < y_2$
x s y	*x* s_i *y*	$x_1 = y_1 < x_2 < y_2$
x d y	*x* d_i *y*	$y_1 < x_1 < x_2 < y_2$
x f y	*x* f_i *y*	$y_1 < x_1 < x_2 = y_2$
x eq y		$x_1 = x_2 = y_1 = y_2$

Fonte: Ligozat, 2013

Um dos desafios do REQ é verificar se as informações fornecidas pelos agentes são consistentes, ou seja, verificar a existência de no mínimo um cenário em que as configurações fornecidas sejam possíveis. Um cenário descrito por um conjunto de relações de Allen pode ter sua consistência verificada a partir do fecho algébrico em uma rede de restrições.

3.1.1 Consistência

Uma rede de restrições é formada por um par *(N,C)*, onde *N* é um conjunto finito de vértices composto pelas variáveis do domínio e *C* é o conjunto de restrições que determinam como as variáveis se relacionam, neste caso, os vértices representam intervalos e as restrições entres os nós são as relações básicas de Allen.

Tomando uma rede de restrições com 3 vértices *(i,j,k)* a restrição *C(i,k)* deve ser compatível com a composição das restrições *C(i,j)* e *C(j,k)*, dessa forma:

$$C(i,j) \cap (C(i,k) \circ C(k,j)) \neq 0.$$

Se a intersecção acima for igual a zero, então a rede não é consistente, pois não existe um cenário que represente essas relações. Portanto, uma rede *(N,C)* é algebricamente fechada se para qualquer trio *(i,j,k)*:

$$C(i,j) \subseteq (C(i,k) \; o \; C(k,j)) \; .$$

A tabela 5 mostra a composição para todas as relações de Allen.

Tabela 5 – tabela de composição das relações de Allen.

○	p	m	o	s	d	fi	eq	f	di	si	oi	mi	pi
p	p	p	p	p	[p, d]	p	p	[p, d]	p	p	[p, d]	[p, d]	[p, pi]
m	p	p	p	m	[o, d]	p	m	[o, d]	p	m	[o, d]	[fi, f]	[di, pi]
o	p	p	[p, o]	o	[o, d]	[p, o]	o	[o, d]	[p, di]	[o, di]	[o, oi]	[di, oi]	[di, pi]
s	p	p	[p, o]	s	d	[p, o]	s	d	[p, di]	[s, si]	[d, oi]	mi	pi
d	p	p	[p, d]	d	d	[p, d]	d	d	1	[d, pi]	[d, pi]	pi	pi
fi	p	m	o	o	[o, d]	fi	fi	[fi, f]	di	di	[di, oi]	[di, oi]	[di, pi]
eq	p	m	o	s	d	fi	eq	f	di	si	oi	mi	pi
f	p	m	[o, d]	d	d	[fi, f]	f	f	[di, pi]	[oi, pi]	[oi, pi]	pi	pi
di	[p, di]	[o, di]	[o, di]	[o, di]	[o, oi]	di	di	[di, oi]	di	di	[di, oi]	[di, oi]	[di, pi]
si	[p, di]	[o, di]	[o, di]	[s, si]	[d, oi]	di	si	oi	di	si	oi	mi	pi
oi	[p, di]	[o, di]	[o, oi]	[d, oi]	[d, oi]	[di, oi]	oi	oi	[di, pi]	[oi, pi]	[oi, pi]	pi	pi
mi	[p, di]	[s, si]	[d, oi]	[d, oi]	[d, oi]	mi	mi	mi	pi	pi	pi	pi	pi
pi	[p, pi]	[d, pi]	[d, pi]	[d, pi]	[d, pi]	pi	pi	pi	pi	pi	pi	pi	pi

$[p, o] = \{p, m, o\}$ $[p, d] = \{p, m, o, s, d\}$ $[p, di] = \{p, m, o, fi, di\}$ $[p, pi] =$ all relations
$[d, oi] = \{d, f, oi\}$ $[d, pi] = \{d, f, oi, mi, pi\}$ $[s, si] = \{s, eq, si\}$ $[o, di] = \{o, fi, di\}$
$[o, oi] = \{o, s, d, fi, eq, f, di, si, oi\}$ $[o, d] = \{o, s, d\}$ $[di, pi] = \{di, si, oi, mi, pi\}$ $[di, oi] = \{di, si, oi\}$
$[oi, pi] = \{oi, mi, pi\}$ $[fi, f] = \{fi, eq, f\}$

Fonte: Ligozat, 2013

Como exemplo, a figura 9 (a) traz um cenário representado por três intervalos *A*, *B* e *C*, e em (b) está representada a rede de restrições para este cenário. Utilizando a composição para verificar a consistência dessa rede, tem-se:

a) $C(A,B) = A \circ B$;

b) $C(B,C) = B \circ C$;

Com isso:

$$C(A,C) \subseteq (\{o\} \circ \{o\} \;)$$

Na tabela 5, observa-se que a composição entre duas relações *o* é igual a [p,o]. Portanto:

Figura 9 – Exemplo de uma rede de restrições para 3 intervalos A, B e C.

(a) Cenário com três intervalos A, B e C

(b) Rede de restrições para o cenário apresentado em (a)

$$C(A,C) \subseteq [p,o]$$

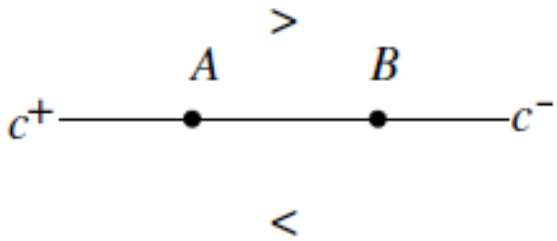
Da rede na figura 9 (b) a relação *C(A,C)* é igual a $\{o\}$, portanto a rede é consistente.

Na próxima seção será apresentado o Cálculo de Oclusão de Pontos que é ponto de partida para análise por ponto de vista.

3.2 CÁLCULO DE OCLUSÃO DE PONTOS

Nesta seção será introduzida uma definição para um cálculo de oclusão chamado de Cálculo de Oclusão de Pontos (COP) (Paulo E. SANTOS; LIGOZAT; SAFI-SAMGHABAD, 2015). O COP pode ser entendido como uma extensão do *Time Point Algebra* (TPA) (WELD; KLEER, 1990) que é definido por três relações binárias <, *eq*, > que, dado um par de pontos no tempo (t_1, t_2), respectivamente representam t_2 precede t_1 ($t_2 < t_1$), t_1 coincide com t_2 (t_1 *eq* t_2) e t_2 segue t_1 ($t_1 > t_2$).

Figura 10 – Cálculo de Oclusão de Ponto



Fonte: Paulo E. Santos; Ligozat; Safi-Samghabad, 2015

Considerando *A* e *B* um par de pontos distintos, como mostrado na figura 10, e um agente no plano fora da linha $\overline{AB}$, no cálculo de oclusão de ponto, se o agente estiver localizado à direita do sentido $\overrightarrow{AB}$, pode-se afirmar que o agente verá *A* < *B*, ou seja, do ponto de vista do agente *A* precede *B*. Se estiver localizado no plano oposto, ou seja, no lado esquerdo do sentido

$\overrightarrow{AB}$ então o agente perceberá $A > B$, ou seja, A é precedido por B. Outra possibilidade é se o agente estiver localizado na linha $\overline{AB}$, mas não entre os pontos A e B, neste caso, o agente poderá ver apenas o ponto A, que oculta completamente o ponto B ($A\ c^{+}\ B$), ou poderá ver apenas o ponto B, que oculta completamente o ponto A ($A\ c^{-}\ B$).

Vale ressaltar que o diagrama da figura 10 mostra as possibilidades do que o agente pode ver, e não exatamente o que ele está percebendo no momento, pois isso depende da sua orientação, o agente pode estar orientado para 'dentro da folha', por exemplo, e nesse caso não veria nenhum dos pontos.

Juntamente com a relação de igualdade (*eq*) forma-se o conjunto de relações básicas *{<, >,* c^{+}*,* c^{-}*, eq}* do Cálculo de Oclusão de Pontos, que permite que um agente seja capaz de descrever vistas relativas a respeito de dois objetos pontuais. O Cálculo de Oclusão de Pontos é o ponto de partida do Cálculo de Oclusão de Intervalo que estende as relações de múltiplos pontos de vista em relação a pontos para pontos de vista em relação a intervalos definidos em relação à Álgebra de Intervalo de Allen.

3.3 PONTOS DE VISTA NAS RELAÇÕES DE ALLEN

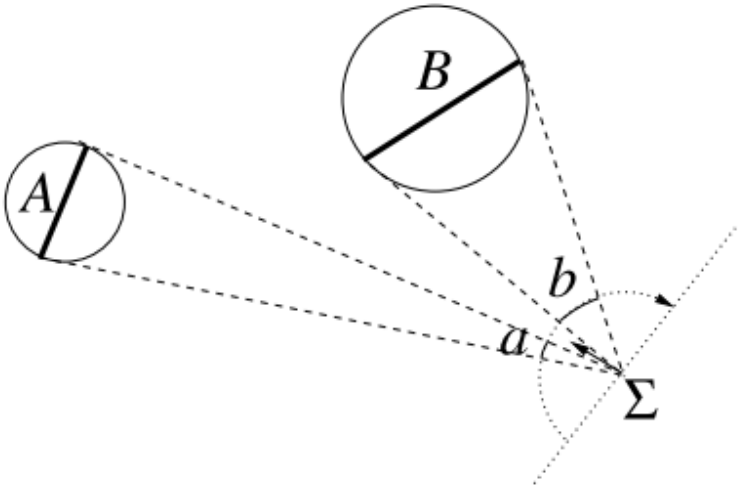
Paulo E. Santos, Ligozat e Safi-Samghabad (2015) considera duas entidades no plano Euclidiano: objetos e observadores. Objetos podem ser identificados pela posição 2D de seus centroides, enquanto observadores são representados por um par $\Sigma = (x_i, v_i)$, onde x_i representa a posição 2D do centroide do observador e v_i um vetor unitário que indica sua orientação. Um observador será considerado um objeto quando estiver no campo de visão de outro observador.

O campo de visão de determinado ponto de vista é definido como o semi-plano que inclui Σ cuja linha limite é perpendicular à direção de Σ, ou seja, está dentro do intervalo [-90,+90] da direção do ponto de vista.

Objetos são percebidos pelos observadores como uma função *image(x,*Σ*)* que mapeia o objeto *x* a partir do ponto de vista Σ. A imagem de um objeto a partir de um ponto de vista é definida pelo conjunto de semi-retas originadas em Σ, que estejam no campo de visão de Σ e interceptem o objeto (D. RANDELL; WITKOWSKI; SHANAHAN, 2001b).

Em um domínio bidimensional, imagens são intervalos definidos pelas extremidades dos objetos projetados no plano do observador, essa definição implica que os intervalos que representam os objetos observados são segmentos definidos em um semicírculo, como podemos observar na figura 11, um ponto de vista Σ mapeando as imagens *a* e *b* de dois objetos *A* e *B*, respectivamente.

Figura 11 – Dois objetos circulares A e B e um ponto de vista Σ.



Fonte: Paulo E. Santos; Ligozat; Safi-Samghabad, 2015

Em Paulo E. Santos, Ligozat e Safi-Samghabad (2015) foi considerado que cada observador em um ponto de vista seja capaz de descrever as relações entre objetos visíveis dentro de seu campo de visão. A descrição do ambiente, a partir do ponto de vista, será dada em termos das relações entre os intervalos que representam as projeções dos objetos observados, definindo o campo de visão de um observador. Assume-se que as observações feitas a partir de um ponto de vista estão disponíveis para os demais agentes a partir de um processo de troca de mensagens.

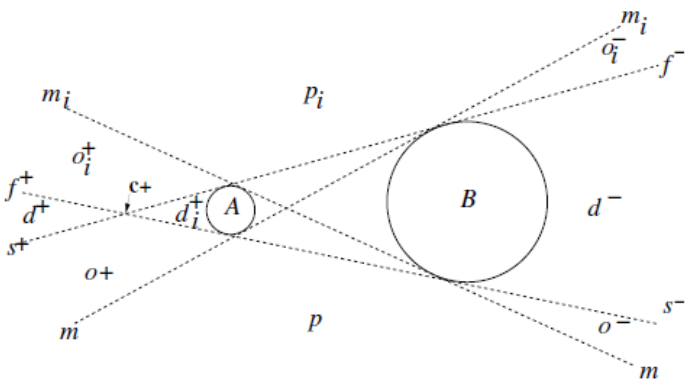
A partir das definições básicas descritas acima, o raciocínio sobre oclusão para múltiplos pontos de vista pode ser realizado usando uma extensão da Álgebra de Intervalo de Allen que leva em conta a relação entre os intervalos em um espaço bidimensional. Chamamos esta extensão de Cálculo de Oclusão de Intervalo (COI) que será apresentado na próxima seção.

3.4 CÁLCULO DE OCLUSÃO DE INTERVALOS

As relações básicas do Cálculo de Oclusão de Intervalo (COI) podem ser entendidas como uma distinção qualitativa da observação de pares de objetos, dadas suas linhas de visão como observado na figura 12, onde assumindo que um ponto de vista Σ esteja orientado de forma que os objetos A e B estão em seu campo de visão, temos, a=*image(*A,Σ*)* e b=*image(*B,Σ*)*.

Se Σ estiver na região demarcada por p na figura 12, então verá que a precede b, mas se estiver na região demarcada por m, verá que a encontra b, e assim sucessivamente para todas as regiões indicadas na figura. Um observador localizado na região entre A e B, orientado do topo da página será capaz de observar a precede b, se estiver na parte de baixo da página poderá observar que b precede a.

Figura 12 – Linhas de visão entre dois objetos A e B e relações básicas do COI.



Fonte: Paulo E. Santos; Ligozat; Safi-Samghabad, 2015

Um diagrama semelhante ao apresentado na figura 12 pode ser aplicado para qualquer par de objetos. Este diagrama pode ser considerado um mapa onde os agentes podem se auto localizar a partir das relações qualitativas entre os pares de objetos.

Além da sua posição relativa, um intervalo pode ser identificado pela distância que está do observador, com isso definem-se intervalos em camadas. Seja L linear, um intervalo em camadas é definido por $I = (I_a, \ell)$, onde I_a é um intervalo, ou seja, $I_a=(x_1,x_2)$ sendo x_1 o limite inferior e x_2 seu limite superior; e ℓ a camada de I com $\ell \in L$.

Para intervalos em camadas assumem-se duas funções: *ext(I)* que mapeia a extensão de um intervalo, e a função $\ell(I)$ que mapeia a camada de um determinado intervalo, onde ℓ representa a proximidade do objeto em relação ao observador. Quanto mais próximo o objeto estiver do observador maior será o valor ℓ.

Com isso, dados dois intervalos I e J ($I \neq J$) representando a observação de dois objetos a partir de um ponto de vista Σ, as relações de COI são dadas por:

a) $I\ p\ J : \Sigma$, lido como "I precede J a partir de Σ se *ext(I) p ext(J)*";

b) $I\ m\ J : \Sigma$, lido como "I encontra J a partir de Σ se *ext(I) m ext(J)*";

c) $I\ o^+\ J : \Sigma$, lido como "I sobrepõe e está a frente de J a partir de Σ se *ext(I) o ext(J)* e $\ell(I) > \ell(J)$";

d) $I\ o^-\ J : \Sigma$, lido como "I sobrepõe e esta a trás de J a partir de Σ se *ext(I) o ext(J)* e $\ell(I) < \ell(J)$";

e) $I\ s^+\ J : \Sigma$, lido como "I inicia e está a frente de J a partir de Σ se *ext(I) s ext(J)* e $\ell(I) > \ell(J)$";

f) $I\ s^-\ J : \Sigma$, lido como "I inicia e está a trás de J a partir de Σ se *ext(I) s ext(J)* e $\ell(I) < \ell(J)$";

g) $I\ d^+\ J : \Sigma$, lido como "I ocorre durante e está a frente de J a partir de Σ se *ext(I) d ext(J)* e $\ell(I) > \ell(J)$";

h) $I\ d^{-}\ J : \Sigma$, lido como "*I* ocorre durante e está a trás de *J* a partir de Σ se *ext(I) d ext(J)* e $\ell(I) < \ell(J)$";

i) $I\ f^{+}\ J : \Sigma$, lido como "*I* finaliza e está a frente de *J* a partir de Σ se *ext(I) f ext(J)* e $\ell(I) > \ell(J)$";

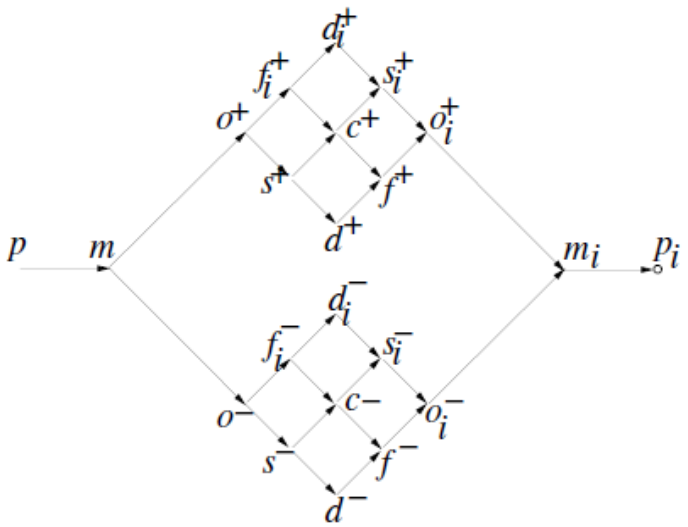
j) $I\ f^{-}\ J : \Sigma$, lido como "*I* finaliza e está a trás de *J* a partir de Σ se *ext(I) f ext(J)* e $\ell(I) < \ell(J)$";

k) $I\ c^{+}\ J : \Sigma$, lido como "*I* coincide e está a frente de *J* a partir de Σ se *ext(I) eq ext(J)* e $\ell(I) > \ell(J)$";

l) $I\ c^{-}\ J : \Sigma$, lido como "*I* coincide e está a trás de *J* a partir de Σ se *ext(I) eq ext(J)* e $\ell(I) > \ell(J)$";

O conjunto de relações básicas do COI definem o reticulado representado na figura 13. Esse reticulado representa do diagrama conceitual de vizinhança para o COI. Dados dois intervalos *x* e *y* inicialmente representados a partir de um ponto de vista Σ na posição $x\ p\ y$, se o intervalo *x* se desloca para a direita, a próxima relação que observador perceberá entre os dois intervalos será *meets* e portanto, $x\ m\ y$, continuando o deslocamento do intervalo a próxima relação observada será *overlaps*, ou seja, o intervalo *x* irá sobrepor o intervalo *y*. Em se tratando de intervalos em camadas, se o intervalo *x* estiver a frente de *y* então tem-se $x\ o^{+}\ y$, se *x* estiver atrás de *y* então tem-se $x\ o^{-}\ y$, como observa-se na figura 13, a relação $\{m\}$ deriva para $\{\ o^{+}\ \}$ ou $\{\ o^{-}\ \}$. No reticulado está representada a transição das relações até que o intervalo *x* passe pelo intervalo *y* alcançando a posição $x\ p_i\ y$.

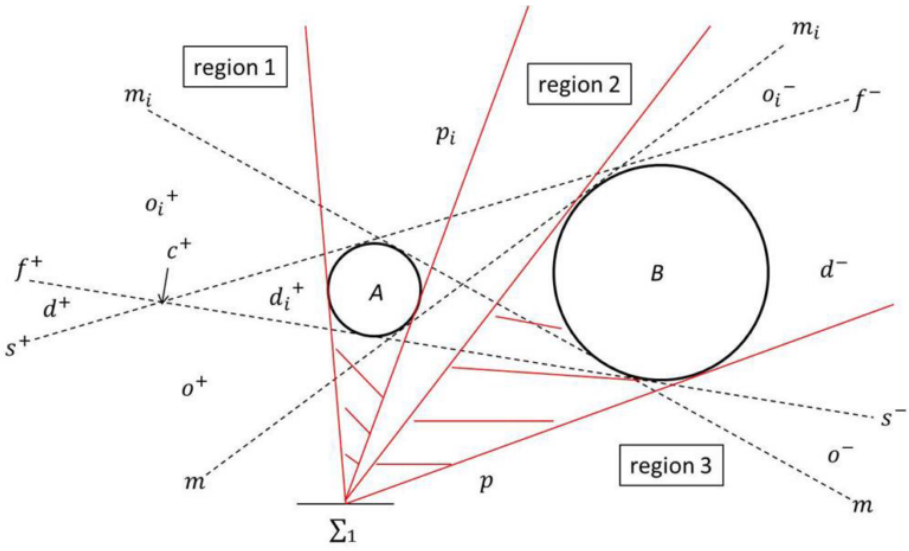
Figura 13 – Rede de transição do COI.



Fonte: Paulo E. Santos; Ligozat; Safi-Samghabad, 2015

Na próxima seção será apresentada a tabela de transformação do COI utilizada para fazer a transformação de perspectivas das observações feitas de um ponto de vista para outro.

Figura 14 – Exemplo para construção de uma tabela de transformação.



Fonte: Paulo E. Santos; Ligozat; Safi-Samghabad, 2015

3.4.1 Tabela de Transformação do COI

Partindo do diagrama da figura 12, é possível realizar a transformação das observações de um agente para o ponto de vista de um outro agente. Essa transformação pode ser feita através de uma tabela chamada tabela de Transformação do COI. Seja *S* o conjunto das relações do COI, Σ_1 e Σ_2 dois pontos de vista observando dois objetos A e B, onde a = *image(*A*,* Σ_1*)*, b = *image(*B*,* Σ_1*)*, σ_2=*image(*Σ_2*,*Σ_1*)*, a'= *image(*A*,*Σ_2*)*, b'= *image(*B*,*Σ_2*)*, σ_1 = *image(*Σ_1*,*Σ_2*)*. Assumindo que a localização de Σ_1 em relação aos objetos *A* e *B* seja conhecida e desse ponto de vista seja possível observar as relação R_i, R_j e R_k entre *A, B* e Σ_2 respectivamente, a tabela de transformação fornece um conjunto de relações possíveis entre *A* e *B* a partir da perspectiva de Σ_2.

Para construir uma tabela de transformação, a partir do ponto de vista de Σ_1, considera-se que Σ_2 está em seu campo de visão. A tabela deverá ser construída levando em consideração exaustivamente todos os locais possíveis de Σ_2, a não ser os que estejam inconsistentes com campo visão de Σ_1. De acordo com a figura 14, com Σ_1 localizado de forma que $a\ p\ b$, se σ_2 *{*p*,* m*,* o^+*}* a, então Σ_2 está localizado na região 1. Portanto, as possíveis relações entre *A* e *B* do ponto de vista Σ_2 são: a' *{*p*,* m*,* o^+*,* s^+*,* f^+*,* c^+*,* d_i^+ *,*d^+ *,* o_i^+*,* m_i*,* p_i*}* b', como podemos observar na tabela 6. As informações entre parênteses representam uma disjunção de relações que poderiam possivelmente manter-se entre o par de objetos fora dos colchetes. Agora, se obtiver-se σ_2 $\{p_i,\ m_i,\ o_i^-\ \}$ a, então Σ_2 estará localizado na região 2. Neste caso, serão encontradas as relações $\sigma_2\ p_i\ a$ e $\sigma_2\ p\ b$, desta região as relações observadas por Σ_2 serão $a'\ \{\ p_i\ \}\ b'$ conforme pode-se identificar na tabela de transformação.

Tabela 6 – tabela de transformação do COI.

	$\sigma_2\ p\ b$	$\sigma_2\ p_i\ b$	$\sigma_2\ s^+\ b$
$\sigma_2\ p\ a$	$a'\{p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+$ $d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\}b'$	$n.d.$	$n.d.$
$\sigma_2\ p_i\ a$	$a'\{p, p_i\}b'$	$a'\{p, m, o^-,$ $s^-, d^-\}b'$	$\{a'\ p\ b'\}$
$\sigma_2\ m\ a$	$a'\{p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+,$ $d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\}b'$	$n.d.$	$n.d.$
$\sigma_2\ o^+\ a$	$a'\{p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+$ $d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\}b'$	$n.d.$	$n.d.$
$\sigma_2\ s^+\ a$	$a'\{p, m, o^+\}b'$	$n.d.$	$n.d.$

Fonte: Paulo E. Santos; Ligozat; Safi-Samghabad, 2015

Executar este processo sucessivamente irá resultar na tabela de transformação do COI completa.

O COI é um dos poucos formalismos encontrados na literatura que considera múltiplos pontos de vista no raciocínio espacial qualitativo. Esse formalismo permite que múltiplos agentes em um mesmo ambiente possam trocar informações a respeito das observações obtidas por cada a gente de forma que um agente seja capaz de interpretar as observações de outro agente apesar de estarem em diferentes locais no domínio.

No próximo capítulo serão apresentados os recursos utilizados para a aplicação desse formalismo em ambiente real e simulado com o intuito de avaliar sua aplicação prática.

4 RECURSOS UTILIZADOS

Como dito no capítulo anterior, neste trabalho o Cálculo de Oclusão de Intervalo (COI) foi aplicado em ambiente simulado e real. Para a implementação do COI foi utilizado um sistema operacional de aplicações robóticas, ROS (*Robotic Operating System*). No ambiente simulado foi utilizado o simulador GAZEBO com o modelo do robô Husky A200 e um quandrotor. Nos experimentos em ambiente real foram utilizados o robô Husky A200 e o quandrotor Pelican. Neste capítulo estão apresentadas mais informações sobre esses recursos e como foram utilizados.

4.1 SISTEMA OPERACIONAL

Neste trabalho foi utilizado o *Robotic Operating System*[1] (ROS) que é uma plataforma que disponibiliza uma série de ferramentas e bibliotecas para o desenvolvimento de aplicações em robótica.

A ideia principal de um sistema operacional robótico é compartilhar e permitir o reuso de soluções para robôs e oferecer funcionalidades padronizadas que executam abstração de hardware, assim como um sistema operacional convencional para computadores. Outro benefício dos sistemas operacionais de robôs é o de combinar conhecimentos de diferentes disciplinas envolvidas no desenvolvimento e programação de um robô:

a) Gerenciamento do hardware;

b) Gerenciamento de memória e processos;

c) Gerenciamento de simultaneidade, paralelismo e fusão de dados;

d) Fornecimento de algoritmos de raciocínio abstrato, fazendo uso da inteligência artificial.

A filosofia desse sistema operacional está baseada em cinco princípios:

Ponto a ponto: Um robô suficientemente complexo compreende vários computadores de bordo ou placas conectadas via Ethernet, além de computadores *offboard* para tarefas de computação intensiva. Uma arquitetura ponto a ponto acoplada a um sistema de buffer e um sistema de pesquisa (um serviço de nome chamado 'mestre' no *ROS*), permite que cada componente dialogue diretamente com qualquer outro, de forma síncrona ou assíncrona conforme necessário.

Multilinguagem: O ROS é neutro em termos de linguagem de programação. A especificação do *ROS* funciona na camada de mensagens. As conexões ponto a ponto são negociadas em XML-RPC (protocolo de chamada de procedimento remoto (CPR) que utiliza XML para

[1] http://www.ros.org/

codificar suas chamadas e HTTP como um mecanismo de transporte), que existe em um grande número de linguagens.

Baseado em Ferramentas: Em vez de um ambiente com tempo de execução monolítico, o *ROS* adotou um projeto de *microkernel*, que usa um grande número de pequenas ferramentas para construir e executar vários componentes. A vantagem deste sistema é que um problema com um componente não afeta os outros, tornando o sistema mais robusto e flexível do que um sistema baseado em um ambiente de tempo de execução centralizado.

Estreito: Para evitar o desenvolvimento de algoritmos emaranhados a um grau menor ou maior com o sistema operacional e são, portanto, difíceis de reutilizar posteriormente, os desenvolvedores do *ROS* pretendem que os *drivers* e outros algoritmos sejam contidos em executáveis independentes. Isso garante máxima reutilização e mantém seu tamanho reduzido.

Livre e de Código aberto: Como dito anteriormente o objeto do *ROS* é acelerar a pesquisa em robótica e portanto, é uma plataforma livre e de código aberto para a comunidade internacional de robótica.

O princípio básico de um sistema operacional robótico é executar um grande número de processos em paralelo que devem ser capazes de trocar dados de forma síncrona e assíncrona. Os conceitos reunidos em *ROS* sob o nome de "Computação gráfica"que permitem alcançar esses objetivos, são descritos a seguir.

Nós: É uma instância de um executável. Um nó pode se equiparar a um sensor, motor, processamento ou algoritmo de monitoramento, e assim por diante. Cada nó que começa a funcionar se declara ao mestre. Isso retorna à arquitetura do *microkernel*, em que cada recurso é um nó independente.

Master: O *Master* é um serviço de declaração e registro de nós, o que torna possível que os nós se encontrem e troquem dados. O *Master* é implementado via XML-RPC e inclui um componente fortemente usado chamado *Parameter Server*, também implementado sob a forma de XML-RPC, e que é um tipo de banco de dados centralizado no qual os nós podem armazenar dados.

Tópicos: Os dados são trocados de forma assíncrona por meio de um tópico e sincronamente através de um serviço. Um tópico é um sistema de transporte de dados baseado em um sistema de leitura/publicação. Um ou mais nós são capazes de publicar dados em um tópico e um ou mais nós podem ler dados sobre esse tópico. Um tópico é, de certa forma, um barramento de mensagens assíncrono. Essa noção de um barramento assíncrono, "muitos para muitos"é essencial em uma situação de sistema distribuído. Um tópico é digitado, o que significa que o tipo de dados publicados (a mensagem) é sempre estruturado da mesma maneira. Os nós enviam e recebem mensagens sobre tópicos.

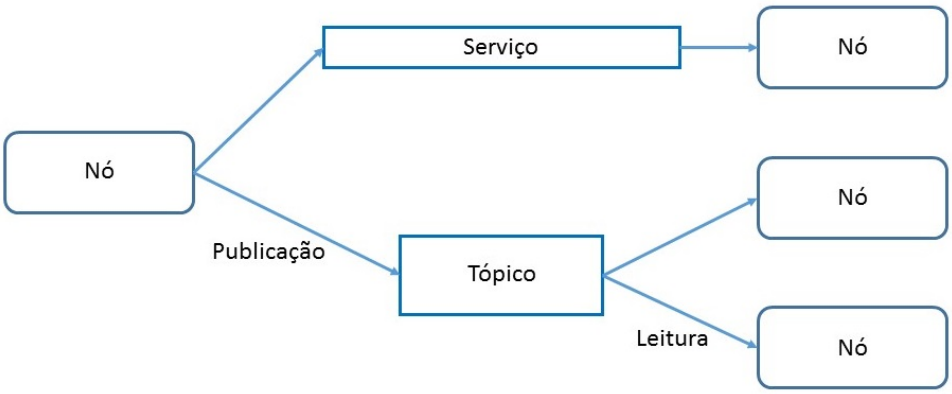
Mensagens: Uma mensagem é uma estrutura de dados compostos. Uma mensagem compreende uma combinação de tipos primitivos (cadeias de caracteres, booleanos, inteiros, ponto flutuante, etc.) e mensagens (uma mensagem é uma estrutura recursiva). Por exemplo, um nó que representa um servo motor do robô publicará certamente o seu estado num tópico

(dependendo da forma como o programou) com uma mensagem contendo, por exemplo, um inteiro representando a posição do motor, um ponto flutuante para a sua temperatura, outro ponto flutuante para sua velocidade, e assim por diante.

Serviços: Um tópico é um método de comunicação assíncrono usado para comunicação "muitos para muitos". Um serviço atende a um tipo diferente de necessidade, ou seja, que para a comunicação síncrona entre dois nós.

A figura 15 traz uma representação gráfica dessa interação.

Figura 15 – Representação da interação entre os componentes do *ROS*.



Na próxima seção será apresentado o simulador utilizado neste trabalho.

4.2 SIMULADOR

Para a implementação desse trabalho foi utilizado o simulador Gazebo [2]. Esse simulador oferece a capacidade de simular com precisão e eficiência grupos de robôs em ambientes internos e externos complexos, fornece um ambiente fiel às leis da física, gráficos de alta qualidade, interfaces programáveis e integração com o *ROS*.

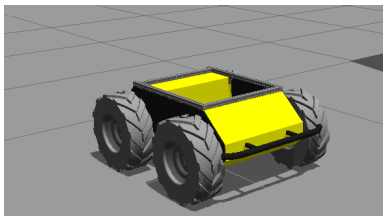
Uma das contribuições do *ROS* é o *Unified Robot Description Format* (URDF) , um formato XML usado para descrever um robô inteiro na forma de um arquivo padronizado. Os robôs descritos desta maneira podem ser estáticos ou dinâmicos e as propriedades físicas e de colisão podem ser adicionadas a ele.

O Gazebo possui uma biblioteca de objetos e cenários disponíveis que podem ser utilizados durante a simulação.

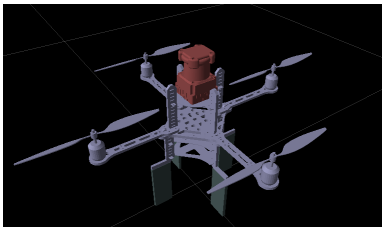
A figura 16 mostra o modelo do robô Husky A200 (a) e do quadrotor Pelican (b) representados no ambiente simulado no GAZEBO. O modelo real desses robôs é apresentado na próxima seção.

[2] http://gazebosim.org/

Figura 16 – Modelos dos robôs Husky e Pelican no simulador GAZEBO.



(a) Modelo Husky no simulador



(b) Modelo Pelican no simulador

4.3 ROBÔS REAIS

Para testar o formalismo proposto nesse trabalho foram utilizados os modelos de dois robôs reais presentes no laboratório de robótica do Centro Universitário da FEI.

Como agente terrestre utilizou-se o robô modelo Husky A200 desenvolvido pela Clearpath Robotics[3] projetado para engenheiros militares e industriais, cientistas da computação e pesquisadores que investem no desenvolvimento de protótipos *Unmanned Ground Vehicle* (UGV - Veículos Terrestres não Tripulados).

O Husky é equipado com uma câmera Axis, laser LIDAR e GPS, além de uma base fixa com GPS, roteador e um computador HP/Compaq Tablet, modelo TC 4400 processador Intel Core Duo T2500 / 2 GHz com sistema operacional Ubuntu 12.04.

É construído sobre um protocolo aberto de comunicação de baixo nível de série e é compatível com LabVIEW, ROS, Player/Stage, C++ e Python.

A figura 17 representa o modelo disponível no laboratório de robótica do Centro Universitário da FEI.

Figura 17 – Robô Husky A200.

Como agente aéreo foi utilizado o modelo do Pelican da AscTec[4], trata-se de um quadrotor que pode ser utilizado para uma grande variedade de projetos.

[3] http://www.clearpathrobotics.com/
[4] http://www.asctec.de/

A estrutura da torre do Pelican é projetada para integrar várias cargas úteis e oferece fácil acesso aos componentes eletrônicos do sistema de voo permitindo que diferentes sensores e componentes sejam integrados a qualquer momento.

Para este trabalho, o robô está equipado com um computador de bordo com processador Intel® Core™ i7-3517UE com sistema operacional Ubuntu 12.04, duas câmeras RGB, vista frontal e inferior.

A figura 18 mostra o modelo utilizado neste trabalho.

Figura 18 – Robô Pelican

Tanto a *Clearpath* quanto a *ASCTEC* disponibilizam um conjunto de soluções no *ROS* para o Husky e Pelican, respectivamente. Com esses robôs foi possível obter uma vista global e terrestre dos cenários utilizados e integrar robôs heterogêneos em um mesmo sistema.

Nas próximas seções está descrito em maiores detalhes como os conceitos e recursos apresentados nesse capítulo contribuíram para a implementação do Cálculo de Oclusão de Intervalo.

5 DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

Nesta seção é apresentada a contribuição desta dissertação para o Cálculo de Oclusão de Intervalo descrito no capítulo 3, que consiste na ampliação das regiões consideradas para a criação da tabela de transformação do COI e a criação de novas tabelas de transformação de ponto de vista completando o trabalho publicado em (Paulo E. SANTOS; LIGOZAT; SAFI-SAMGHABAD, 2015).

5.1 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

Durante o estudo do Cálculo de Oclusão de Intervalos (COI) apresentado em (Paulo E. SANTOS; LIGOZAT; SAFI-SAMGHABAD, 2015) foram encontradas oportunidades para estender esse cálculo que estão apresentadas abaixo.

5.1.1 Definição de regiões para construção da tabela de transformação

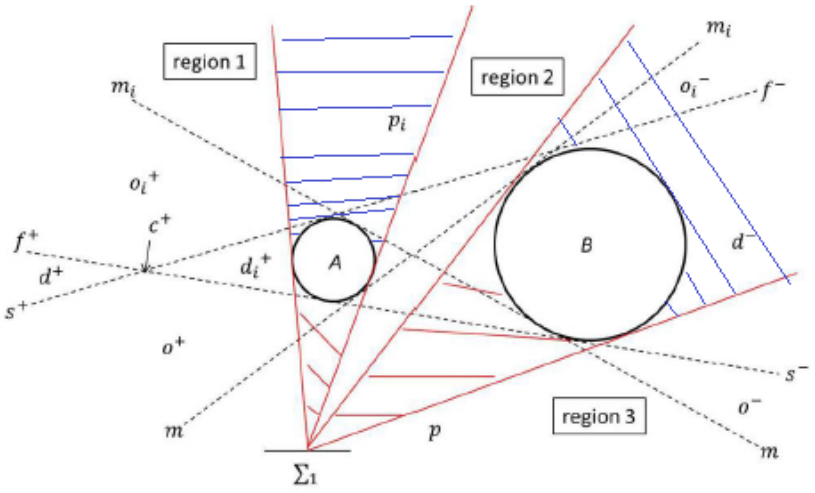
A primeira contribuição desta dissertação trata-se da definição das regiões para a extensão da tabela de transformação apresentada na seção 4.4.1.

Como visto no capítulo anterior, objetos são percebidos pelos observadores como uma função *image(x,*Σ*)* que mapeia o objeto *x* a partir do ponto de vista Σ. Com isso, sendo Σ_1 e Σ_2 dois pontos de vista observando dois objetos A e B tem-se a = *image(*A*,* Σ_1*),* b = *image(*B*,* Σ_1*),* σ_2*=image(*Σ_2*,*Σ_1*),* a'*= image(*A*,*Σ_2*),* b'*= image(*B*,*Σ_2*) e* σ_1 *= image(*Σ_1*,*Σ_2*).*

Na figura 14, com o primeiro observador Σ_1 posicionado de forma que este observa que $a\ precede\ b$ ($a\ p\ b$) estão definidas 5 regiões onde a imagem do segundo observador, σ_2, poderia ser percebida por Σ_1, sendo desprezadas as regiões que estariam atrás dos objetos *A* e *B*, pois foi considerado que qualquer objeto nessas regiões não seria percebido por Σ_1 devido à oclusão.

No entanto, como a teoria foi aplicada em um ambiente tridimensional, verificou-se que, se existir um objeto *C* na região atrás do objeto *A* e *C* for mais alto que *A*, então *C* poderá ser percebido por Σ_1. Com isso, neste trabalho essas regiões serão consideradas e para a configuração apresentada na figura 14, acrescentaremos as regiões formadas por σ_2 *{*s^-*,* d^-*,* f^-*}* a (onde poderá ser observado a'{p_i*,* m_i*,* f^-*}* b') e a região σ_2 *{*s^-*,* d^-*,* f^-*}* b (onde Σ_2 poderá observar *a'{*p_i*,* m_i*,* o_i^-*,* f^-*,* d^-*}* b'), essas regiões estão sinalizadas pela cor azul na figura 19.

Figura 19 – Exemplo para construção de uma tabela de transformação.



Com a inclusão dessas regiões na construção da tabela de transformação do COI haverá um mapa mais abrangente para ser utilizado na tradução de perspectiva entre os agentes e na verificação da consistência das informações obtidas.

5.1.2 Desenvolvimento do COI para qualquer configuração

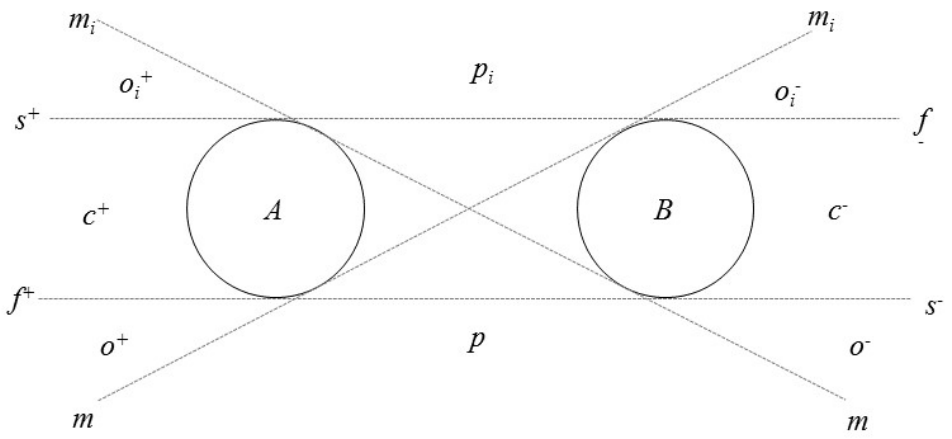
Em Paulo E. Santos, Ligozat e Safi-Samghabad (2015) foi apresentado um exemplo para dois objetos A e B que, a partir de uma vista global, estão desconectados. Nessa seção, para definir as configurações possíveis entre dois objetos simples foram utilizadas as relações qualitativas do RCC-8 apresentado na seção 3.1. A partir dessas relações foi possível criar as tabelas de transformações do COI para todas as configurações possíveis entre dois objetos. As tabelas apresentadas nessa seção não estão completas, sendo indicados apenas os casos suficientes para entendimento da proposta, as tabelas completas estão disponíveis no apêndice A.

Utilizando do RCC-8 sabe-se que dois objetos A e B podem estar desconectados *DC(A,B)*, externamente conectados *EC(A,B)*, parcialmente sobrepostos *PO(A,B)*, A pode ser parte própria tangencial do B (*TPP(A,B)*), A pode ser parte própria não tangencial de B (*NTPP(A,B)*) e podem ser iguais *EQ(A,B)*. Neste trabalho, as relações inversas TPP_i e $NTPP_i$ não serão utilizadas.

Para cada relação descrita acima será construído o mapa de linhas de visão semelhante ao apresentado na figura 12, que representa uma das configurações para *DC(x,y)*.

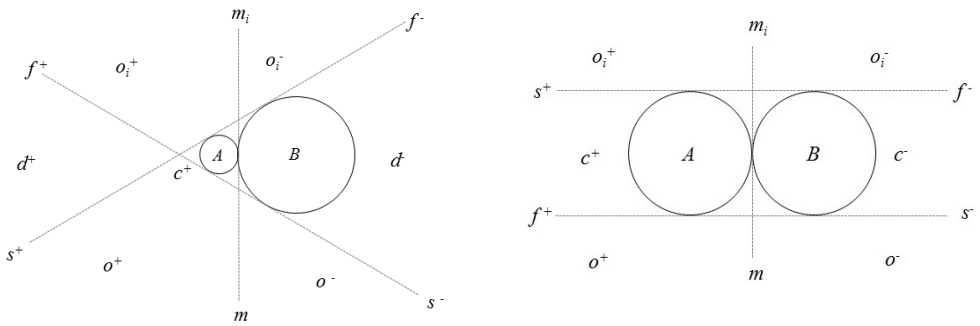
Na figura 20 é apresentado o mapa de linhas de visão para dois objetos desconectados e com o mesmo tamanho. A partir desse mapa e do mapa apresentado na figura 19, é possível construir as tabelas de transformação para qualquer configuração com dois objetos desconectados.

Figura 20 – Linhas de Visão entre dois objetos *A* e *B* e as relações básicas do COI para A e B do mesmo tamanho.



O mesmo princípio pode ser aplicado para dois objetos A e B externamente conectados, *EC(A,B)*. Na figura 21 temos a vista global para dois objetos A e B, externamente conectados. A figura 21 (a) mostra o mapa de linhas de visão para objetos com tamanhos diferentes e a figura 21 (b) representa o mapa com dois objetos do mesmo tamanho.

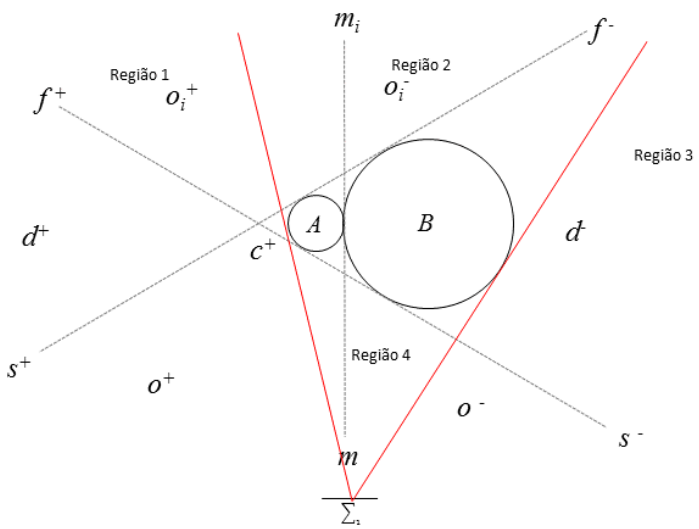
Figura 21 – Linhas de Visão entre dois objetos *A* e *B* externamente conectados e as relações básicas do COI



(a) Primeiro objeto observador menor (b) Dois objetos do mesmo tamanho

Como exemplo de construção da tabela de transformação do COI para essa configuração, assume-se um objeto A menor que o objeto B, e que o primeiro observador Σ_1 esteja posicionado de forma que esteja observando A encontra B, ou seja, $a\ m\ b$, conforme pode ser observado na figura 22.

Figura 22 – Linhas de visão para a configuração $EC(A,B)$ com Σ_1 observando $a\ m\ b$.



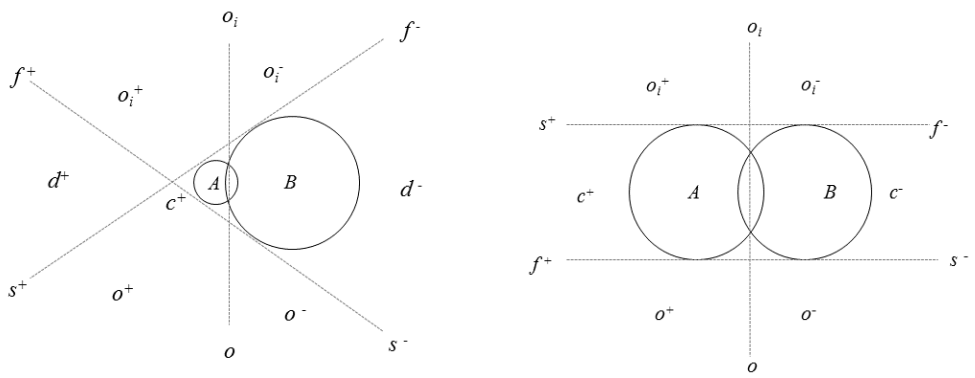
Nesse caso, as linhas de visão partindo de Σ_1 dividem o campo de visão em quatro regiões. Para construir a tabela de transformação do COI deve-se encontrar as relações que podem ser observadas por Σ_2 em cada uma dessas regiões. Então se Σ_2 estiver na região 1 poderá observar $a'\ \{m_i, o_i^+, f^+, d^+, c^+, s^+, o^+, m\}\ b'$, da região 2 poderá observar $a'\ \{m_i, o_i^-, f^-\}\ b'$ e assim sucessivamente para todas as regiões, dessa forma será obtida a tabela de transformação do COI para essa configuração, como pode-se observar na tabela 7.

Tabela 7 – Parte da tabela de transformação para dois objetos externamente conectados $EC(A,B)$.

	$\sigma_2\ p\ b$	$\sigma_2\ m\ b$
$\sigma_2\ p\ a$	$a'\ \{m_i, o_i^+, f^+, d^+, c^+, s^+, o^+, m\}\ b'$	n.d.
$\sigma_2\ m\ a$	$a'\ \{m_i, o_i^+, f^+, d^+, c^+, s^+, o^+, m\}\ b'$	n.d.
$\sigma_2\ s^-\ a$	$a'\ \{m_i, o_i^-, f^-\}\ b'$	n.d.
$\sigma_2\ f^-\ a$	$a'\ \{m_i, o_i^-, f^-\}\ b'$	$a'\ \{m_i, o_i^-, f^-\}\ b'$

Na figura 23 pode-se observar o mapa de linhas de visão para dois objetos A e B onde A sobrepõe parcialmente B, ou seja, $PO(A,B)$.

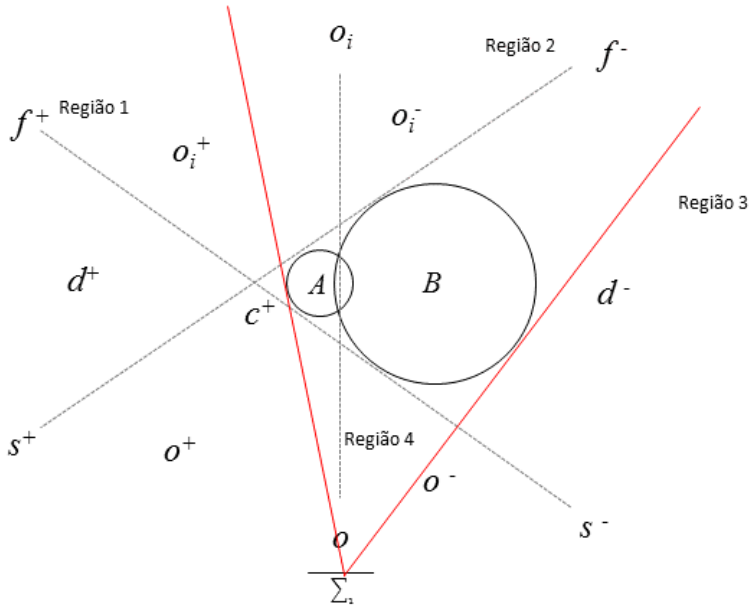
Figura 23 – Linhas de Visão entre dois objetos *A* e *B* onde A sobrepõe parcialmente B $(PO(A,B))$ e as relações básicas do COI.



(a) Primeiro objeto observador menor (b) Dois objetos do mesmo tamanho

Para essa configuração, se Σ_1 estiver posicionado de forma que consiga perceber que A sobrepõe B, ou seja, $a\ o\ b$ então seu campo de visão será dividido em quatro regiões, conforme apresentado na figura 24.

Figura 24 – Linhas de visão para a configuração $PO(A,B)$ com Σ_1 observando $a\ o\ b$.



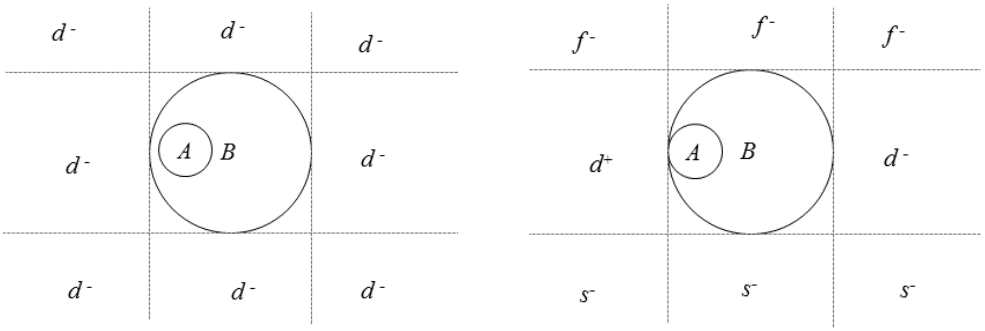
Semelhante ao que foi realizado para a configuração $EC(A,B)$, para construir a tabela de transformação do COI deve-se considerar as possíveis observações feitas por Σ_2 em cada uma das regiões definidas pelas linhas de visão partindo de Σ_1. Na tabela 8 está representada parte da tabela de transformação do COI para essa configuração.

Tabela 8 – Tabela de transformação para dois objetos na configuração $PO(A,B)$.

	$\sigma_2\ p\ b$	$\sigma_2\ m\ b$
$\sigma_2\ p\ a$	$a'\ \{o_i, o_i^+, f^+, d^+, c^+, s^+, o^+, o\}\ b'$	n.d.
$\sigma_2\ m\ a$	$a'\ \{o_i, o_i^+, f^+, d^+, c^+, s^+, o^+, o\}\ b'$	n.d.
$\sigma_2\ s^-\ a$	$a'\ \{o_i, o_i^-, f^-\}\ b'$	$a'\ \{o_i, o_i^-, f^-\}\ b'$
$\sigma_2\ d^-\ a$	$a'\ \{m_i, o_i^-, f^-\}\ b'$	$a'\ \{o_i, o_i^-, f^-\}\ b'$

Para as configurações $TPP(A,B)$ e $NTPP(A,B)$ não é possível traçar linhas de visão, no entanto, na figura 25 estão destacadas regiões qualitativas para indicar as possíveis observações feitas por um agente localizado nessas regiões.

Figura 25 – Mapa de regiões qualitativas entre dois objetos *A* e *B* e as relações básicas do COI



(a) Mapa de regiões qualitativas para $NTPP(A,B)$

(b) Mapa de regiões qualitativas para $TPP(A,B)$

Para a configuração $NTPP(A,B)$, apresentada na figura 25 (a), em qualquer região no domínio um observador poderá perceber que A ocorre durante B ($a\ d^-\ b$). Para a configuração $TPP(A,B)$ apresentada na figura 25 (b), se Σ_1 estiver posicionado de forma que consiga perceber que A inicia e está mais distante que B, ou seja, $a\ s^-\ b$ então seu campo de visão será dividido em quatro regiões, conforme apresentado na figura 26.

Para a configuração da figura 26 tem-se parte da tabela de transformação do COI apresentada na tabela 9.

Tabela 9 – Tabela de transformação para dois objetos na configuração $TPP(A,B)$.

	$\sigma_2\ p\ b$	$\sigma_2\ m\ b$	$\sigma_2\ o^-\ b$
$\sigma_2\ p\ a$	$a'\ \{f^-, d^+, s_-\}\ b'$	n.d.	$a'\ \{f^-, d^+\}\ b'$
$\sigma_2\ m\ a$	n.d.	$a'\ \{f^-, d^+\}\ b'$	n.d.
$\sigma_2\ o^-\ a$	n.d	n.d	$a'\ \{f^-\}\ b'$
$\sigma_2\ s^-\ a$	n.d.	n.d	$a'\ \{f^-\}\ b'$

Para a configuração $EQ(A,B)$, apresentada na figura 27, em qualquer região do domínio um observador poderá perceber que A coincide com B ($a\ c\ b$).

Nesta seção apresentamos uma extensão do Cálculo de Oclusão de Intervalo (COI) para construção da tabela de transformação para qualquer configuração entre dois objetos simples,

Figura 26 – Linhas de visão para a configuração $TPP(A,B)$ com Σ_1 observando $a\ s^{-}\ b$.

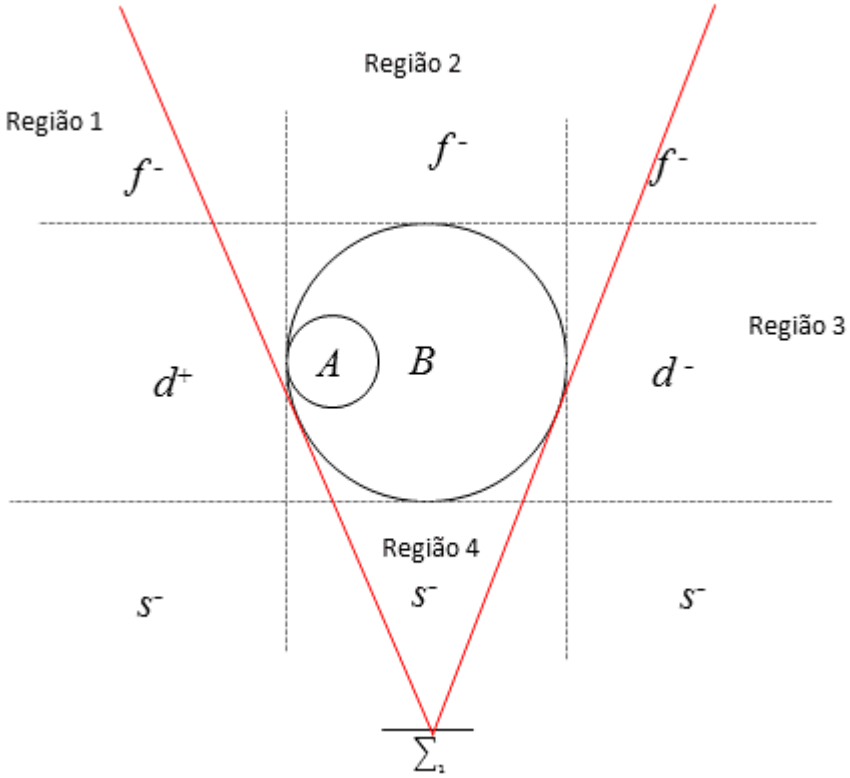
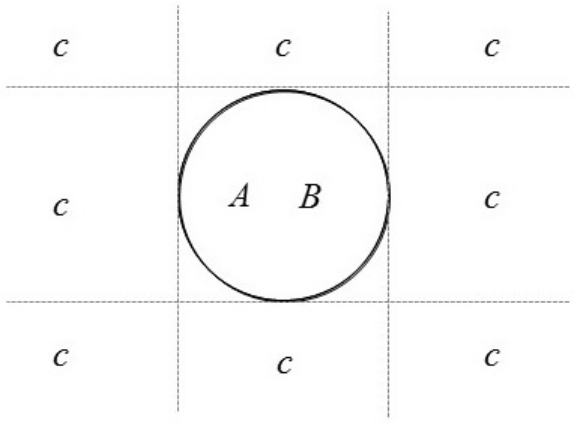


Figura 27 – Mapa de regiões qualitativas para $EQ(A,B)$.



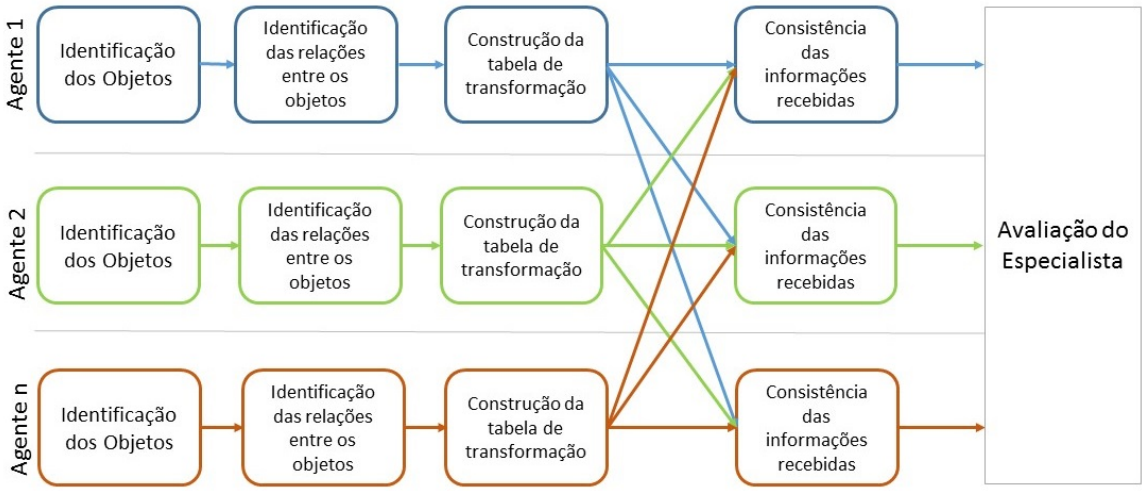
apresentando alguns exemplos para construção da tabela em diferentes configurações. Dessa forma, os agentes robóticos são capazes de raciocinar sobre o espaço e compartilhar suas observações entres agentes de forma que consigam compreender as informações obtidas por outros agentes apesar de possuírem diferentes perspectivas.

Na próxima seção estão apresentados os algoritmos desenvolvidos para a implementação do COI e da extensão aqui apresentada nos robôs em ambiente real e simulado.

5.2 ALGORITMOS

Para a implementação do COI foram desenvolvidos algoritmos para que os agentes fossem capazes de detectar os intervalos que representam os objetos presentes no ambiente, identificar as relações entre esses intervalos, construir a tabela de transformação de pontos de vista para outros agentes presentes no ambiente e verificar se as relações encontradas estavam consistentes. Na figura 28 tem-se o diagrama de como os agentes se comunicam e como os algoritmos desenvolvidos foram aplicados. Para o desenvolvimento dos algoritmos foram considerados dois agentes, sendo um agente aéreo equipado com uma câmera e uma agente terrestre equipado com um sensor *Kinect*.

Figura 28 – Diagrama da solução.



Cada linha horizontal da figura 28 representa as funcionalidades que foram executadas em cada agente, e as setas diagonais representam a troca de mensagens realizada entre os agentes. Nas próximas seções estão descritas todas as funcionalidades e os algoritmos criados.

5.2.1 Identificação de objetos

Para não dispensar tempo com treinamento de algoritmos de identificação de objetos complexos (cujo desenvolvimento está fora do escopo deste trabalho), os objetos foram representados por formas geométricas. Além disso, vale ressaltar que serão utilizadas apenas formas simples, ou seja, não estavam presentes nos testes objetos com buracos e/ou concavidades. Casati e Varzi (1999) aborda a questão dos buracos e concavidades e as peculiaridades para o tratamento dessas entidades espaciais que não cabe no escopo deste trabalho.

Uma vez que este trabalho lida apenas com formas geométricas simples, adota-se que cada objeto é de cor única e possui umas das cores selecionadas para este trabalho: azul, verde, laranja, roxo, vermelho e amarelo, admitindo que haverá apenas um objeto de cada cor presente no ambiente.

Com isso, a identificação dos objetos foi realizada a partir da detecção da cor. Um intervalo foi associado a partir do contorno obtido com a segmentação do objeto através de um filtro HSV (*Hue, Saturation, Value*) previamente determinado para as cores citadas acima.

Uma vez definido um intervalo (resultado da observação de um objeto no ambiente), ele será identificado por 4 atributos:

a) Nome do intervalo;

b) Limite Inferior;

c) Limite Superior;

d) Distância do observador.

O nome do intervalo sempre será a primeira letra da cor do objeto que o intervalo representa. Ou seja, para um objeto azul o nome do intervalo que o representa será 'B', do inglês, *blue*. Isso permitirá que os agentes saibam de qual objeto o outro agente está informando.

No algoritmo 1 está apresentado o o método de identificação de intervalos.

Algoritmo 1 – Algoritmo utilizado na obtenção dos intervalos.

Entrada: Imagem RGB da Câmera $ImagemRGB$
Entrada: Imagem em Profundidade da Câmera $ImagemProfundidade$
Saída: Lista de Intervalos $Intervalos$
$Intervalos.Adicona(IdentificaObjetoAmarelo(ImagemRGB\ ,\ ImagemProfundidade));$
$Intervalos.Adicona(IdentificaObjetoAzul(ImagemRGB\ ,\ ImagemProfundidade));$
$Intervalos.Adicona(IdentificaObjetoRoxo(ImagemRGB\ ,\ ImagemProfundidade));$
$Intervalos.Adicona(IdentificaObjetoVerde(ImagemRGB\ ,\ ImagemProfundidade));$
$Intervalos.Adicona(IdentificaObjetoVermelho(ImagemRGB\ ,\ ImagemProfundidade));$
retorna $Intervalos$

Esse algoritmo recebe como entrada os dados da imagem RGB e da imagem em profundidade provenientes de um sensor *Kinect*.

A partir dessas imagens o algoritmo aplica o filtro HSV para cada cor escolhida para este trabalho. Por exemplo, a função $IdentificaObjetoAmarelo$ irá retornar, se houver, o intervalo que representa um objeto amarelo que possa existir no ambiente com os atributos "nome" igual à "Y", do inglês, $yellow$, os limites inferior e superior provenientes da segmentação da imagem RGB, e a distância que está do observador proveniente da imagem em profundidade. Então esse

intervalo é adicionado à uma lista de intervalos que é incrementada para cada objeto presente no ambiente. Ao término, o algoritmo retorna a lista de intervalos identificados.

5.2.2 Identificação das relações entre objetos

Uma vez obtidos os intervalos presentes em um determinado cenário, é preciso identificar quais são as relações entre esses intervalos. As relações entre os intervalos foram obtidas através dos seus limites inferior e superior, seguindo as relações definidas na tabela 4, e a distância que cada intervalo está em relação observador, onde para a relação $A\ R\ B$, se A está mais próximo do observador teremos $A\ R^{+}\ B$, como visto na seção 3.4. Uma relação é identificada pelos atributos:

a) intervalo x;

b) intervalo y;

c) relação do COI.

No algoritmo 2 está representado o processo de identificação das relações.

Algoritmo 2 – Algoritmo utilizado na obtenção das relações entre os intervalos.

1 **Entrada:** Lista de Intervalos $Intervalos$
2 **Saída:** Lista de Relações $Relações$
3 Relação $relação$
4 **para cada** *intervalo* $intervalo_X \in Intervalos$ **faça**
5 | **para cada** *intervalo* $intervalo_Y \in Intervalos$ **faça**
6 | | **se** $intervalo_X \neq intervalo_Y$ **então**
7 | | | $relação.intervalo_X = intervalo_X$
8 | | | $relação.intervalo_Y = intervalo_Y$
9 | | | $relação.RelaçãoIOC = ObtemRelaçãoIOC(intervalo_X, intervalo_Y)$
10 | | | $Relações.Adicona(relação)$;
11 | | **fim**
12 | **fim**
13 **fim**
14 **retorna** $Relações$

Esse algoritmo recebe como entrada a lista de intervalos gerada no algoritmo 1. Então, para cada intervalo da lista é identificada a relação com todos os outros intervalos da lista, conforme podemos observar nas linhas 4 e 5 do algoritmo.

Na linha 9, na função $ObtemRelacaoIOC$, são comparados os limites dos intervalos seguindo a regra da tabela 4 e então é obtida a relação do COI entre os dois intervalos. Essa relação é adicionada à uma lista de relações que é retornada ao fim do algoritmo.

O algoritmo 2 representa a identificação das relações a partir do ponto de vista dos agentes terrestres, no entanto, como apresentado na seção 5.1.2, para aplicar o Cálculo de Oclusão

de Intervalos (COI) para qualquer configuração é necessário identificar qual a relação de conexão entre os objetos a partir de uma perspectiva global, que pode ser fornecida por um agente aéreo, por exemplo.

O algoritmo 3 apresenta o método de identificação das relações de conexão entre dois objetos a partir de uma vista global. Semelhante ao algoritmo 2, esse algoritmo recebe como entrada a lista de intervalos gerada no algoritmo 1 e, para cada intervalo da lista, é identificada a relação com todos os outros intervalos, conforme podemos observar nas linhas 4 e 5 do algoritmo.

Na linha 9, na função $ObtemRelacaoRCC8$, são comparados os pontos que definem os retângulos que representam os intervalos, e então é verificada a intersecção entre esses retângulos para obter a relação de conexão do RRC-8. Essa relação é adicionada à uma lista de relações que é retornada ao término do algoritmo.

Algoritmo 3 – Algoritmo utilizado na obtenção das relações de conexão entre os intervalos.

1 **Entrada:** Lista de Intervalos $Intervalos$
2 **Saída:** Lista de Relações de Conexão $Relações$
3 Relação $relação$
4 **para cada** *intervalo* $intervalo_X \in Intervalos$ **faça**
5 | **para cada** *intervalo* $intervalo_Y \in Intervalos$ **faça**
6 | | **se** $intervalo_X \neq intervalo_Y$ **então**
7 | | | $relação.intervalo_X = intervalo_X$
8 | | | $relação.intervalo_Y = intervalo_Y$
9 | | | $relação.RelaçãoRCC8 =$
| | | $ObtemRelaçãoRCC8(intervalo_X, intervalo_Y)$
10 | | | $Relações.Adicona(relação)$;
11 | | **fim**
12 | **fim**
13 **fim**
14 **retorna** $Relações$

5.2.3 Construção da tabela de Transformação

Um dos objetivos do COI apresentado por (Paulo E. SANTOS; LIGOZAT; SAFI-SAMGHABAD, 2015) é permitir que um agente seja capaz de inferir o que está sendo observado por um segundo observador através da tabela de transformação de perspectiva, conforme apresentado na seção 3.4.1. Como descrito na seção 5.1.2, foram criadas as tabelas de transformação para cada configuração possível entre dois objetos, para cada ponto de vista de determinado cenário. No algoritmo 4 está descrito como foi implementada a obtenção da relação transformada a partir da tabela de transformação.

No algoritmo 4 o sistema recebe a lista de relações proveniente do agente terrestre e a lista de relações provenientes de um agente aéreo. Na linha 4, na função $ObtemRelacaoDeConexao$,

Algoritmo 4 – Algoritmo utilizado na obtenção da relação transformada a partir da tabela de transformação .

1 **Entrada:** Lista de relações $RelaçõesAgenteTerreste$
2 **Entrada:** Lista de relações $RelaçõesAgenteAereo$
3 **Saída:** Lista de Relações Transformada $RelaçõesTransformadas$
4 $RelaçõesDeConexão = ObtemRelaçãoDeConexao(RelaçõesAgenteAereo)$
5 $Relações_Sobre_Segundo_Observador = ObtemRelaçãoDoObservador(RelaçõesAgenteTerreste)$
6 **se** $RelaçõesDeConexão = "DC"$ **então**
7 | $RelaçõesTransformadas = ObtemTransformadaTabela_DC(RelaçõesAgenteTerreste, Relações_Sobre_Segundo_Observador)$
8 **fim**
9 **se** $RelaçõesDeConexão = "EC"$ **então**
10 | $RelaçõesTransformadas = ObtemTransformadaTabela_EC(RelaçõesAgenteTerreste, Relações_Sobre_Segundo_Observador)$
11 **fim**
12 **se** $RelaçõesDeConexão = "PO"$ **então**
13 | $RelaçõesTransformadas = ObtemTransformadaTabela_PO(RelaçõesAgenteTerreste, Relações_Sobre_Segundo_Observador)$
14 **fim**
15 **se** $RelaçõesDeConexão = "TPP"$ **então**
16 | $RelaçõesTransformadas = ObtemTransformadaTabela_TPP(RelaçõesAgenteTerreste, Relações_Sobre_Segundo_Observador)$
17 **fim**
18 **se** $RelaçõesDeConexão = "NTPP"$ **então**
19 | $RelaçõesTransformadas = ObtemTransformadaTabela_NTPP(RelaçõesAgenteTerreste, Relações_Sobre_Segundo_Observador)$
20 **fim**
21 **retorna** $RelaçõesTransformadas$

o sistema verifica qual a relação de conexão entre os objetos segundo o RCC-8. Na linha 5 o sistema verifica quais são as relações em relação ao segundo observador (Σ_2) para identificar em qual região do campo de visão do observador Σ_1 o agente Σ_2 está posicionado. Então, através da relação de conexão o algoritmo obtém as relações transformadas. Ao terminar a execução do algoritmo, o sistema retorna a lista de relações transformadas.

5.2.4 Consistência das informações recebidas

Como apresentado na seção 3.1.1 um agente inteligente deve ser capaz de verificar se as informações obtidas são consistentes. Em um sistema de relações binárias como as relações do COI, a consistência pode ser obtida através da verificação da relação direta e da relação inversa, ou seja, se *a {R } b* então *b* $\{R^{-1}\}$ *a*. Para cenários compostos por três intervalos ou mais, a consistência pode ser verificada utilizando a composição entre relações. No algoritmo 5 está descrito como foi implementada a verificação da consistência par a par e no algoritmo 6 está descrito como foi implementada a verificação da consistência utilizando a tabela de composição

do COI.

Algoritmo 5 – Algoritmo utilizado na verificação da consistência das relações par a par .

1 **Entrada:** Lista de Relações $Relações$
2 **Saída:** Lista de Relações Inconsistentes $RelaçõesInconsistentes$
3 **para cada** *Relação* $relação_1 \in Relações$ **faça**
4 | **para cada** *Relação* $relação_2 \in Relações$ **faça**
5 | | **se** $(relação_1.intervalo_x = relação_2.intervalo_y)$ *e* $(relação_1.intervalo_y = relação_2.intervalo_x)$ **então**
6 | | | **se** $relação_1.RelaçãoIOC \neq inversa(relação_2.RelaçãoIOC)$ **então**
7 | | | | $RelaçõesInconsistentes.Adiciona(relação_1, relação_2)$
8 | | | **fim**
9 | | **fim**
10 | **fim**
11 **fim**
12 **retorna** $RelaçõesInconsistentes$

O algoritmo 5 recebe como entrada a lista de relações obtidas no algoritmo 2. Para cada relação da lista de relações obtidas o algoritmo procura a relação com os mesmos intervalos mas em ordem invertida, por exemplo, se o algoritmo inicia com uma relação de A para B, então o algoritmo busca a relação de B para A, como podemos observar na linha 5. Então na linha 6 a função $inversa$ retorna a relação inversa, e se não estiver consistente, na linha 7 o algoritmo incrementa uma lista de relações inconsistentes que é retornada ao término do algoritmo.

No algoritmo 6 o sistema recebe como entrada a mesma lista de relações, no entanto, ao invés de verificar par a par, as relações são validadas através da composição. Para cada relação da lista, o algoritmo busca outras duas relações, seguindo a ordem de para uma relação I_1 $\{R_3$ $\}$ I_3 busca as relações I_1 $\{R_1$ $\}$ I_2 e I_2 $\{R_2$ $\}$ I_3, como pode-se observar nas linhas de 4 a 7, e então na linha 7 o algoritmo verifica a consistência por composição através da função $composicao$, que faz a composição das relações conforme a tabela 5. Se a primeira relação não estiver consistente com a composição das duas outras, o algoritmo incrementa uma lista de relações inconsistentes que é retornada ao término do algoritmo.

Assim, como é necessário validar a consistência das informações percebidas por um agente (o mesmo vale para a troca de perspectiva), é preciso verificar se a relação obtida pelo segundo observador realmente está contida no conjunto de relações obtidas a partir da tabela de

Algoritmo 6 – Algoritmo utilizado na verificação da consistência das relações através da composição .

1 **Entrada:** Lista de Relações $Relações$
2 **Saída:** Lista de Relações Inconsistentes $RelaçõesInconsistentes$
3 **para cada** *Relação* $relação_1 \in Relações$ **faça**
4 | **para cada** *Relação* $relação_2 \in Relações$ **faça**
5 | | **se** $relação_1.intervalo_x = relação_2.intervalo_y$ **então**
6 | | | **para cada** *Relação* $relação_3 \in Relações$ **faça**
7 | | | | **se** $relação_3.intervalo_x$ = $relação_1.intervalo_x$ *e* $relação_3.intervalo_y = relação_2.intervalo_y$ **então**
8 | | | | | **se** $relação_3.IOCRelação \neq composicao(relação_1.IOCRelação, relação_2.IOCRelação)$ **então**
9 | | | | | | $RelaçõesInconsistentes.Adiciona(relação_1, relação_2, relação_3)$
10 | | | | | **fim**
11 | | | | **fim**
12 | | | **fim**
13 | | **fim**
14 | **fim**
15 **fim**
16 **retorna** $RelaçõesInconsistentes$

transformação. No algoritmo 7 está representado o processo para verificar essa consistência.

Algoritmo 7 – Algoritmo utilizado na obtenção da relação transformada a partir da tabela de transformação .

1 **Entrada:** Lista de relações $RelaçõesTransformadas$
2 **Entrada:** Lista de relações $RelaçõesSegundoObservador$
3 **Saída:** $RelaçõesConsistentes$
4 **para cada** *Relação* $relação_1 \in RelaçõesSegundoObservador$ **faça**
5 | **para cada** *Relação* $relação_2 \in Relações$ **faça**
6 | | $RelaçõesConsistentes = Falso$
7 | | **se** $relação_1 = relação_2$ **então**
8 | | | $RelaçõesConsistentes = Verdadeiro$
9 | | **fim**
10 | **fim**
11 **fim**
12 **retorna** $RelaçõesConsistentes$

O algoritmo recebe como entrada a lista de relações transformadas e as relações observadas pelo segundo observador. A partir da linha 5 o sistema verifica se pelo menos uma relação observada pelo observador pertence à lista de relações transformadas obtidas no algoritmo 5. Se estiver consistente então o sistema retorna verdadeiro. Caso contrário, retornará falso indicando a inconsistência.

A saída de cada algoritmo deverá ser avaliada por um especialista para verificar se os algoritmos estão se comportando conforme o esperado.

Neste capítulo foram apresentadas as contribuições obtidas por essa dissertação e a solução encontrada para implementar o Cálculo de Oclusão de Intervalo e a extensão apresentada nesse capítulo. Os algoritmos apresentados foram implementados no *ROS*. No próximo capítulo serão apresentados os testes e resultados obtidos.

6 TESTES E RESULTADOS

Nesse capítulo estão apresentados os testes realizados aplicando os algoritmos apresentados no capítulo 5 com o objetivo de avaliar o comportamento dos algoritmos tanto em ambiente simulado quanto em robôs reais.

6.1 TESTES EM AMBIENTE SIMULADO

Para execução dos testes em ambiente simulado foi utilizado o *plugin* do simulador Gazebo (apresentado na seção 4.2) disponível para o ROS (*Robotic Operating System*).

No simulador foi criado um ambiente composto por dois blocos, um azul e um vermelho, sendo que o bloco vermelho tem uma escala de 1.5 vezes o tamanho do bloco azul (figura 29).

Para incluir os agentes robóticos, foi utilizado o modelo de um quadrotor disponível no Gazebo, responsável por obter a vista global do cenário, e dois robôs do modelo Husky A200 que serão os observadores terrestres.

Devido à semelhança das configurações DC(A,B), EC(A,B) e PO(A,B), para avaliar os algoritmos desenvolvidos e a aplicação do COI, foram escolhidas as configurações com dois objetos B e R desconectados ($DC(B,R)$) e com B tangencialmente parte própria de R ($TPP(B,R)$) que serão descritos detalhadamente nas próximas seções.

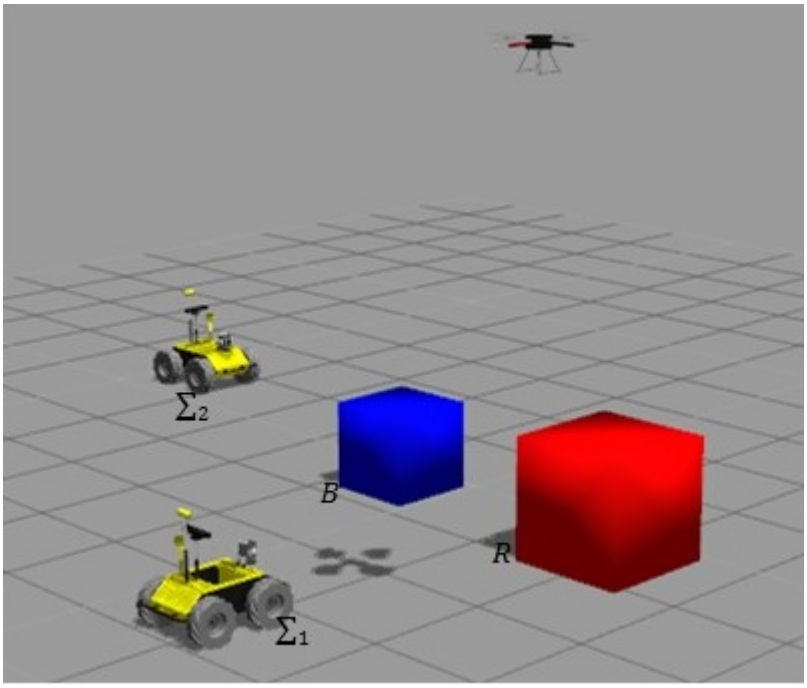
6.1.1 Teste com dois objetos desconectados

Na figura 29 está representado o cenário utilizado para a simulação com dois objetos desconectados e estão indicados os agentes que representam o primeiro observador, Σ_1, e o segundo observador, Σ_2.

Como dito no capítulo anterior, um intervalo leva o nome da primeira letra da cor do objeto que representa, portanto, na figura está indicado o bloco azul com a letra B (*blue*) e o bloco vermelho com a letra R (red).

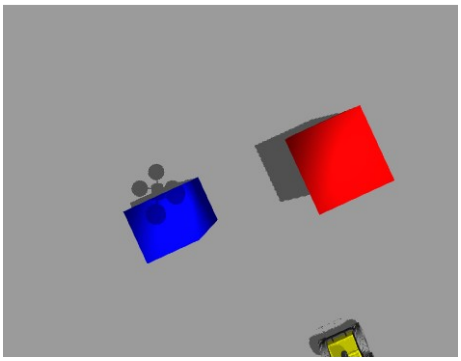
Tomando como referência o mapa de linhas de visão na figura 19, pode-se observar que para o cenário proposto, Σ_1 está posicionado de forma que consiga observar $b\ p\ r$ e $\sigma_2\ p\ b$, portanto, Σ_2 está na região 1.

Figura 29 – Cenário com dois objetos desconectados.

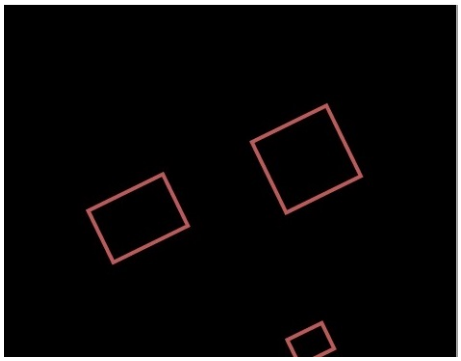


Na figura 30 tem-se a vista global para o cenário apresentado na figura 29. Como pode-se observar, a partir da vista global identificou-se 3 objetos, o bloco azul, o bloco vermelho e parte de um dos agentes. Para definir qual tabela de transformação utilizar, basta ter a relação de conexão entre os objetos, portanto, a partir da figura 30 (b) concluí-se que para aplicação do COI nesse cenário, será utilizada a tabela de transformação para a relação de conexão DC.

Figura 30 – Vista global para o cenário com dois objetos desconectados.



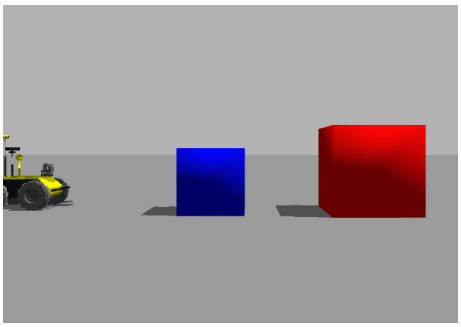
(a) Vista global para o cenário da figura 29.



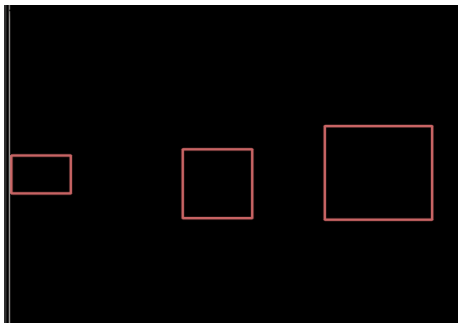
(b) Regiões definas para os objetos identificados na vista global.

A figura 31 (a) apresenta a vista frontal do agente Σ_1. Desta figura observa-se que Σ_1 pode ver três objetos: Σ_2 (o robô no canto esquerdo da figura), o bloco azul (B) e o bloco vermelho (R). Os intervalos que os representam podem ser observados na figura 31 (b).

Figura 31 – Vista frontal de Σ_1 para o cenário apresentado na figura 29.



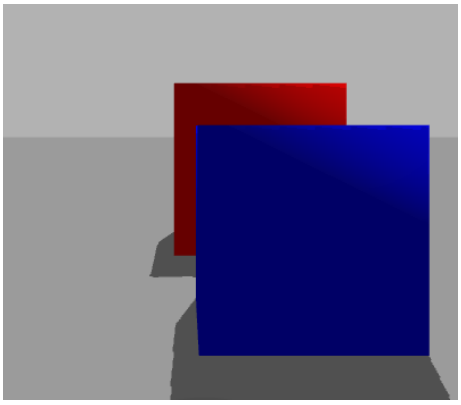
(a) Vista frontal de Σ_1 para o cenário da figura 29.



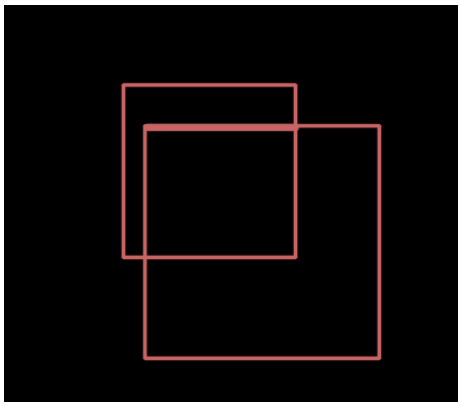
(b) Intervalos definidos para os objetos observados por Σ_1

Na perspectiva de Σ_2 são observados apenas os blocos azul e vermelho, conforme figura 32.

Figura 32 – Vista frontal de Σ_2 para o cenário apresentado na figura 29.



(a) Vista frontal de Σ_2 para o cenário da figura 29.



(b) Intervalos definidos para os objetos observados por Σ_2

Com o cenário montado, foram aplicados os algoritmos apresentados no capítulo anterior. A tabela 10 apresenta a resposta do sistema para o cenário proposto.

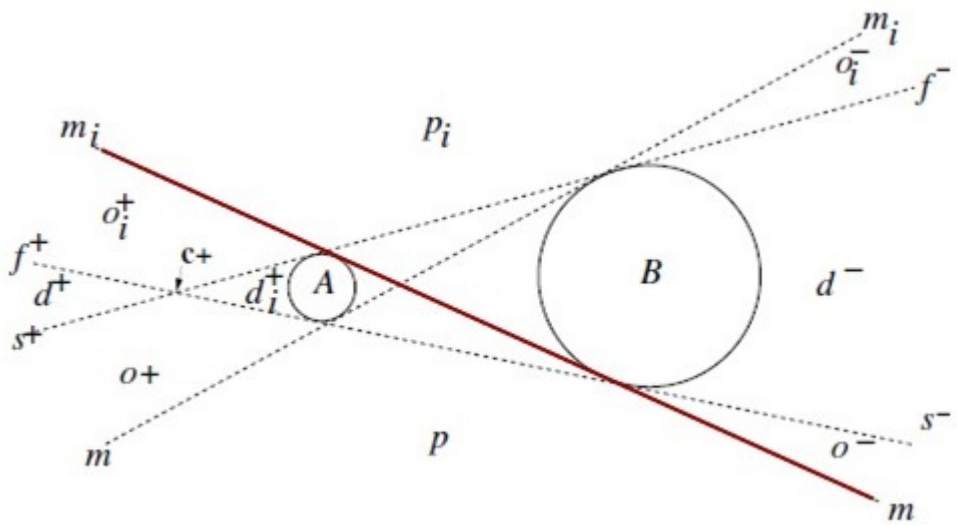
A primeira coluna da tabela 10 diz respeito ao ponto de vista de Σ_1 que, de acordo com a figura 31, obtém as relações $(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p\ r)$. A segunda coluna representa as relações transformadas obtidas através da tabela de transformação do COI, que para este cenário são b { p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i } r', conforme a tabela 6. Na terceira coluna tem-se as observações obtidas por Σ_2, que como observa-se na figura 32 são $(r'\ o^-\ b') \wedge (b'\ o_i^+\ r')$. A quarta coluna indica se as informações obtidas estão consistentes, que para este cenário, como a relação $b'\ o_i^+\ r'$, encontrada por Σ_2, faz parte do conjunto de relações transformadas, a consistência é verdadeira.

Tabela 10 – Resultado da implementação do COI para o cenário apresentado na figura 29.

Vista frontal de Σ_1	**Relações Transformadas**	**Vista frontal de Σ_2**	**Consistência**
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r\ ) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2)$ $\wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	b' { p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i} r'	$(\ r'\ o^-\ b') \wedge (b'\ o_i^+$ $r')$	Verdadeiro

Este foi o teste aplicado para este cenário, no entanto, para avaliar os algoritmos e a teoria do Cálculo de Oclusão de Intervalo, o observador Σ_1 foi fixado e a posição de Σ_2 foi variada de forma a posicioná-lo em todas regiões e linhas de visão apresentadas na figura 33. Como essa configuração é simétrica em relação à linha em vermelho, os testes foram realizados apenas para as linhas de visão e regiões abaixo da linha. Para todas as posições de Σ_2 o sistema encontrou consistência, conforme pode-se observar na tabela 12.

Figura 33 – Linha de simetria para o cenário com dois objetos desconectados.



Em seguida, o observador Σ_1 foi fixado de forma a observar a relação de sobreposição entre A e B, conforme a figura 34. A posição de Σ_2 foi variada nas regiões da imagem e obteve-se a tabela 13, onde vê-se que todas as observações e a transformação de perspectiva estavam consistentes.

Foram realizados experimentos fixando Σ_1 em diferentes posições nas regiões indicadas a baixo da linha de simetria indicada na figura 33, e então a posição de Σ_2 foi variada entre as regiões formadas pelas linhas de visão de Σ_1. Com isso, foi obtida a tabela 14, onde é possível observar que em todos os casos as informações obtidas estavam consistentes. Na próxima seção, serão apresentados os testes realizados em ambiente simulado para a configuração TPP.

6.1.2 Teste com dois objetos, B e R em que $TPP(B,R)$

Na figura 35 está representado o cenário utilizado para a simulação com dois objetos, B e R em que $TPP(B,R)$ em uma vista global da cena.

Figura 34 – Linhas de visão com Σ_1 posicionado na região o^+.

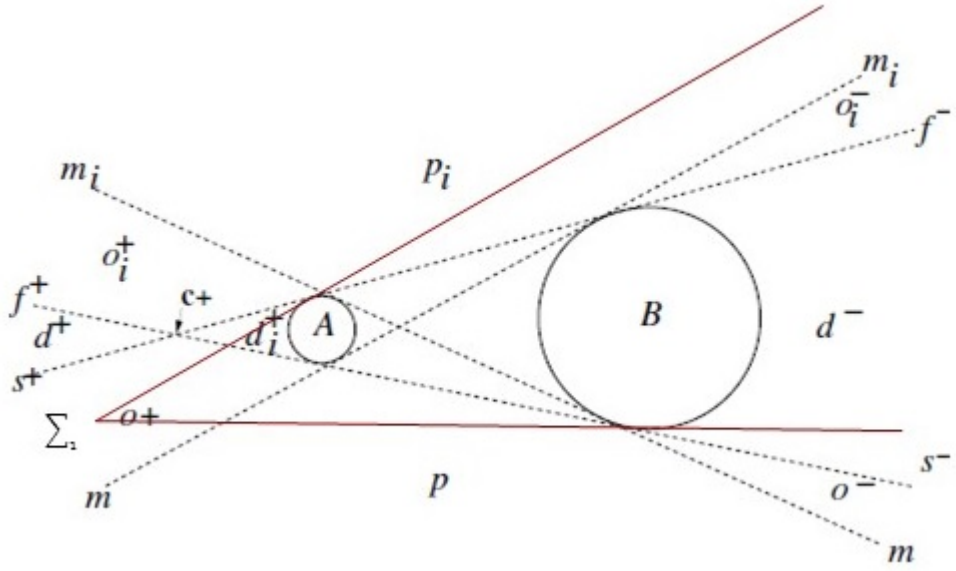
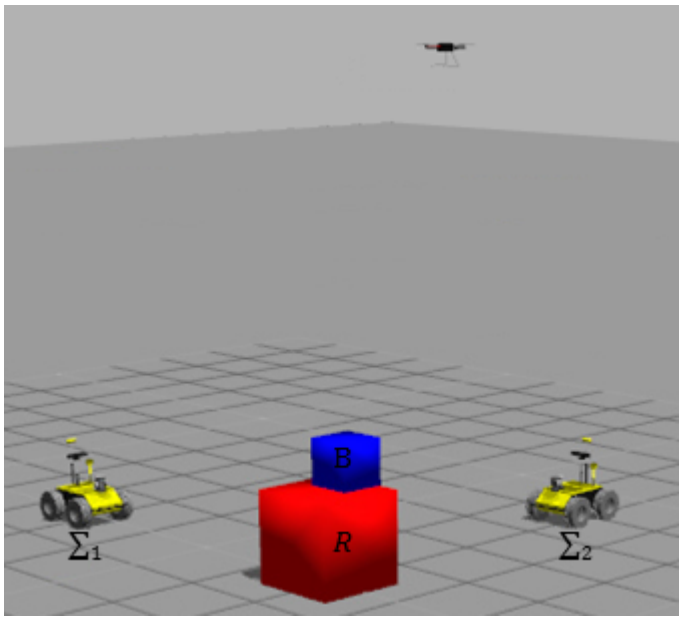


Figura 35 – Cenário com dois objetos com dois objetos, B e R em que $TPP(B,R)$.

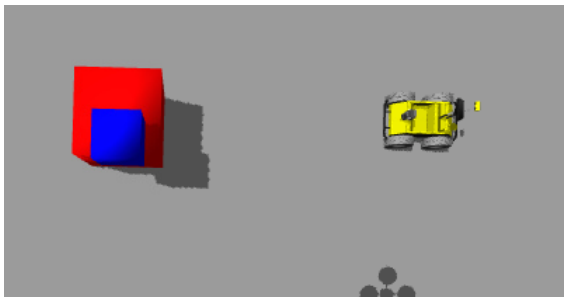


Neste cenário, o bloco azul está em cima do bloco vermelho de forma que a uma das bordas do bloco azul (B) está exatamente em cima da borda do bloco vermelho (R). Semelhante à configuração anterior, o cenário possui dois observadores terrestres Σ_1 e Σ_2 e um agente aéreo responsável por fornecer a vista global.

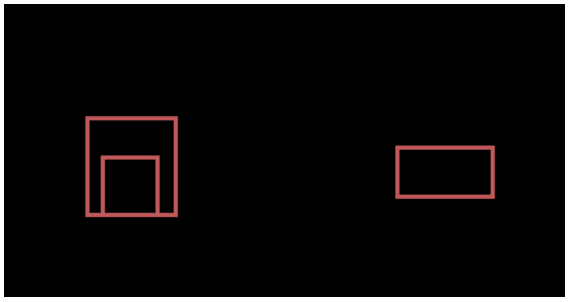
Na figura 36 está representada a vista global obtida pelo agente aéreo, para o cenário da figura 35. Na figura 36 (a) pode-se observar que o agente aéreo identificou o bloco azul (B) em cima do bloco vermelho (R) e um dos agentes terrestres. Na figura 36 (b), observa-se que o contorno do objeto azul está dentro do contorno do objeto vermelho, sendo que uma das

bordas do bloco azul está tangencial a uma das bordas do bloco vermelho, com isso, para essa configuração será utilizada a tabela de transformação TPP do COI.

Figura 36 – Vista global para o cenário com dois objetos com dois objetos, B e R em que $TPP(B,R)$.



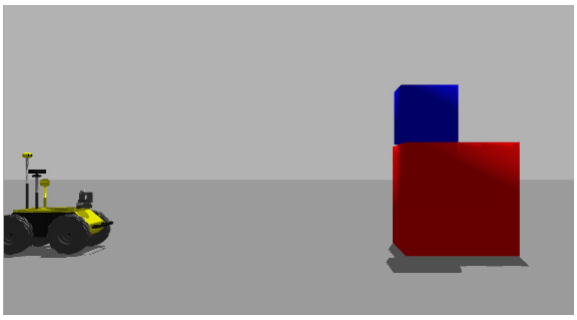
(a) Vista global para o cenário da figura 35.



(b) Regiões definas para os objetos identificados na vista global.

Na figura 37 (a) tem-se a vista frontal de Σ_1 no cenário da figura 35. Neste caso, Σ_1 observa o agente Σ_2, e os blocos azul e vermelho.

Figura 37 – Vista frontal de Σ_1 para o cenário da figura 35.

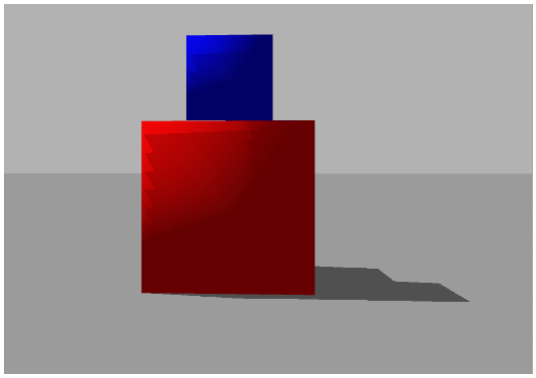


(a) Vista frontal de Σ_1 para o cenário da figura 35.

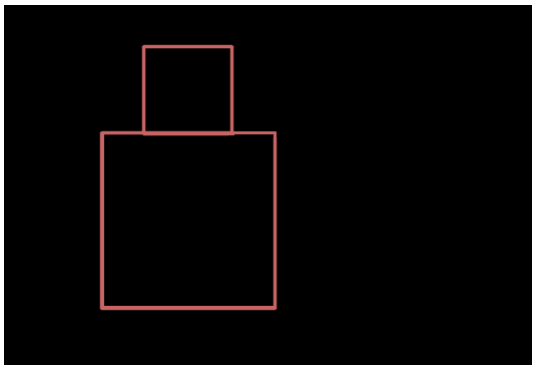
(b) Intervalos definas para os objetos identificados na visão de Σ_1.

Na figura 38 (a) tem-se a vista frontal de Σ_2 no cenário da figura 35. Neste caso, Σ_2 observa os blocos azul e vermelho, sendo que da perspectiva de Σ_2, o bloco azul está em cima e no meio do bloco vermelho.

Figura 38 – Vista frontal de Σ_2 para o cenário da figura 35.



(a) Vista frontal de Σ_2 para o cenário da figura 35.



(b) Intervalos definas para os objetos identificados na visão de Σ_2.

Na tabela 16 está a resposta do sistema para o cenário da figura 35. A partir da visão de Σ_1 obteve-se que $(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ s^-\ r)$. Da tabela de transformação do COI para a configuração TPP, tem-se que para essas condições as relações transformas podem ser b' $\{f^-, d^+, s_-\}$ r'. A partir da perspectiva de Σ_2, obteve-se $b'\ d^+\ r'$ e como $d^+ \in \{f^-, d^+, s^-\}$, as relações obtidas são consistentes.

Tabela 11 – Resultado da implementação do COI para o cenário apresentado na figura 35.

Vista frontal de Σ_1	**Relações Transformadas**	**Vista frontal de Σ_2**	**Consistência**
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2)$ $\wedge (b\ s^-\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge r\ s_i^+\ b$	$b'\ \{f^-, d^+, s_-\}\ r'$	$(b'\ d^+\ r') \wedge (r'\ d_i^-$ $b')$	Verdadeiro

Com o objetivo de avaliar o comportamento dos algoritmos nas demais posições, Σ_1 foi fixado e variou-se a posição de Σ_2 entre as regiões demarcadas para a configuração $TPP(A,B)$ apresentadas na figura 26. Na tabela 15 está disponível a resposta do sistema para esse teste.

Como pode-se observar, na implementação do Cálculo de Oclusão de Intervalo em configurações diferentes, o sistema comportou-se conforme a teoria e para todos os casos testados não apresentou nenhuma inconsistência. Na próxima seção estão apresentados os testes realizados com robôs reais.

Tabela 12 – Resultado da implementação do COI para o cenário apresentado na Figura 29.

Visão de Σ_1	**Relações Transformadas**	**Visão de Σ_2**	**Consistência**
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\}\ r'$	$(r'\ m\ b') \wedge (b'\ m_i\ r')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\}\ r'$	$(r'\ o^-\ b') \wedge (b'\ o_i^+\ r')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\}\ r'$	$(b'\ f^+\ r') \wedge (r'\ f_i^-\ b')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\}\ r'$	$(b'\ d^+\ r') \wedge (r'\ d_i^-\ b')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\}\ r'$	$(r'\ c^-\ b') \wedge (b'\ c^+\ r')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\}\ r'$	$(r'\ s_i^-\ b') \wedge (b'\ s^+\ r')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\ \}\ r'$	$(b'\ o^+\ r') \wedge (r'\ o_i^-\ b')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\ \}\ r'$	$(r'\ p\ b') \wedge (b'\ p_i\ r')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ s^+\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ s_i^-\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m\ \}\ r'$	$(b'\ p\ r') \wedge (r'\ p_i\ b')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ d^+\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ d_i^-\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m\ \}\ r'$	$(b'\ p\ r') \wedge (r'\ p_i\ b')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ f^+\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ f_i^-\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m\ \}\ r'$	$(b'\ p\ r') \wedge (r'\ p_i\ b')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ m_i\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ m\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p\ \}\ r'$	$(b'\ p\ r') \wedge (r'\ p_i\ b')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p_i\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p\ \}\ r'$	$(b'\ p\ r') \wedge (r'\ p_i\ b')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p_i\ b) \wedge (\sigma_2\ m\ r) \wedge (b\ p\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ m_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p\ \}\ r'$	$(b'\ p\ r') \wedge (r'\ p_i\ b')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p_i\ b) \wedge (\sigma_2\ o^+\ r) \wedge (b\ p\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ o_i^-\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p\ \}\ r'$	$(b'\ p\ r') \wedge (r'\ p_i\ b')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p_i\ b) \wedge (\sigma_2\ s^+\ r) \wedge (b\ p\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ s_i^-\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p\ \}\ r'$	$(b'\ p\ r') \wedge (r'\ p_i\ b')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p_i\ b) \wedge (\sigma_2\ d^+\ r) \wedge (b\ p\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ d_i^-\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p\ \}\ r'$	$(b'\ p\ r') \wedge (r'\ p_i\ b')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p_i\ b) \wedge (\sigma_2\ f^+\ r) \wedge (b\ p\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ f_i^-\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p\ \}\ r'$	$(b'\ p\ r') \wedge (r'\ p_i\ b')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p_i\ b) \wedge (\sigma_2\ o_i^+\ r) \wedge (b\ p\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ o^-\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m\ \}\ r'$	$(b'\ m\ r') \wedge (r'\ m_i\ b')$	Verdadeiro

Tabela 13 – Resultado da implementação do COI para o cenário com dois objetos desconectados com Σ_1 posicionado na região o^+.

Visão de Σ_1	**Relações Transformadas**	**Visão de Σ_2**	**Consistência**
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ o^+\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ o_i^-\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\ \}\ r'$	$(r'\ o^-\ b') \wedge (b'\ o_i^+\ r')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ o^+\ b) \wedge (\sigma_2\ o^+\ r) \wedge (b\ o_i^-\ \sigma_2) \wedge (b\ o^+\ r) \wedge (r\ o_i^-\ \sigma_2) \wedge (r\ o_i^-\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\ \}\ r'$	$(b'\ d_i^+\ r') \wedge (r'\ d^-\ b')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ o^+\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ o_i^-\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\ \}\ r'$	$(r'\ p\ b') \wedge (b'\ p_i\ r')$	Verdadeiro
$(b\ o^+\ r) \wedge (b\ p\ \sigma_2) \wedge (r\ o_i^-\ b) \wedge (r\ p\ \sigma_2) \wedge (\sigma_2\ p_i\ b) \wedge (\sigma_2\ p_i\ r)$	$b'\ \{\ p, m, o^-, s^-, d^-\ \}\ r'$	$(r'\ p_i\ b') \wedge (b'\ p\ r')$	Verdadeiro

Tabela 14 – Resultado da implementação do COI para o cenário apresentado na Figura 29 variando a posição de Σ_1 e Σ_2 .

Visão de Σ_1	Relações Transformadas	Visão de Σ_2	Consistência
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\}\ r'$	$(r'\ o^-\ b') \wedge (b'\ o_i^+\ r')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\ \}\ r'$	$(r'\ o^-\ b') \wedge (b'\ o_i^+\ r')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b\ )$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\ \}\ r'$	$(b'\ d_i^+\ r') \wedge (r'\ d^-\ b'\ )$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\ \}\ r'$	$(b'\ o^+\ r') \wedge (r'\ o_i^-\ b')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\ \}\ r'$	$(r'\ p\ b') \wedge (b'\ p_i\ r')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\ \}\ r'$	$(r'\ o^-\ b') \wedge (b'\ o_i^+\ r')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\ \}\ r'$	$(b'\ d_i^+\ r') \wedge (r'\ d^-\ b')$	Verdadeiro
$(b\ d_i^+\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (\sigma_2\ d^-\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ b) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2)$	$b'\ \{\ p, m, p_i, o^+\ \}\ r'$	$(r'\ p\ b') \wedge (b'\ p_i\ r')$	Verdadeiro
$(b\ m\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (\sigma_2\ p_i\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ b) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2)$	$b'\ \{\ p, p_i\ \}\ r'$	$(r'\ p\ b') \wedge (b'\ p_i\ r')$	Verdadeiro
$(b\ p\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (\sigma_2\ p_i\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ b) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2)$	$b'\ \{\ p, p_i\ \}\ r'$	$(r'\ p\ b') \wedge (b'\ p_i\ r')$	Verdadeiro
$(b\ p\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r\ ) \wedge (\sigma_2\ p_i\ b) \wedge (\sigma_2\ m\ r) \wedge (\ r\ p_i\ b) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2)$	$b'\ \{\ p, p_i\ \}\ r'$	$(r'\ p\ b') \wedge (b'\ p_i\ r')$	Verdadeiro
$(b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ b\ )$	vazio (σ_1 não é capaz de ver σ_2)	$(r\ p\ b) \wedge (b\ p_i\ r)$	Verdadeiro
$(b\ p\ r) \wedge (b\ p\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b) \wedge (r\ m\ \sigma_2) \wedge (\sigma_2\ p_i\ b) \wedge (\sigma_2\ p_i\ r)$	$b'\ \{\ p, p_i, m, o^-, s^-, d^-\ \}\ r'$	$(r'\ p\ b') \wedge (b'\ p_i\ r')$	Verdadeiro
$(b\ p\ r) \wedge (b\ p\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b) \wedge (r\ p\ \sigma_2) \wedge (\sigma_2\ p_i\ b) \wedge (\sigma_2\ p_i\ r)$	$b'\ \{\ p, p_i, m, o^-, s^-, d^-\ \}\ r'$	$(b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ b)$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ m\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\ \}\ r'$	$(r\ o^+\ b) \wedge (b\ o_i^-\ r)$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (\ b\ m\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\ \}\ r'$	$(r\ p\ b) \wedge (b\ p_i\ r)$	Verdadeiro
$(b\ d_i^+\ \sigma_2) \wedge (b\ m\ r) \wedge (\sigma_2\ d^-\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ b) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2)$	$b'\ \{\ m_i, p_i, o^+, o_i^-, d_i^+, f^-\ \}\ r'$	$(r'\ p\ b') \wedge (b'\ p_i\ r')$	Verdadeiro
$(b\ m\ r) \wedge (r\ p_i\ b\ )$	Vazio σ_1 não é capaz de ver σ_2	$(r\ m\ b) \wedge (b\ p_i\ r)$	Verdadeiro
$(b\ m\ r) \wedge (b\ p\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b) \wedge (r\ p\ \sigma_2) \wedge (\sigma_2\ p_i\ b) \wedge (\sigma_2\ p_i\ r)$	$b'\ \{\ p, m, o^-, s^-, d^-\ \}\ r'$	$(\sigma_2\ p\ r) \wedge (\ r\ p_i\ \sigma_2)$	Verdadeiro
$(b\ m\ r) \wedge (b\ p\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b) \wedge (r\ p\ \sigma_2) \wedge (\sigma_2\ p_i\ b) \wedge (\sigma_2\ p_i\ r)$	$b'\ \{\ p, m, o^-, s^-, d^-\ \}\ r'$	$(b\ m\ r) \wedge (r\ p_i\ b\ )$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ o^+\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ o_i^-\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\ \}\ r'$	$(r\ o^-\ b) \wedge (b\ o_i^+\ r)$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ o^+\ b) \wedge (\sigma_2\ o^+\ r) \wedge (b\ o_i^-\ \sigma_2) \wedge (b\ o^+\ r) \wedge (r\ o_i^-\ \sigma_2) \wedge (r\ o_i^-\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\ \}\ r'$	$(b\ d_i^+\ r) \wedge (r\ d^-\ b)$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ o^+\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ o_i^-\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\ \}\ r'$	$(r\ p\ b) \wedge (b\ p_i\ r)$	Verdadeiro
$(b\ o^+\ r) \wedge (b\ p\ \sigma_2) \wedge (r\ o_i^-\ b) \wedge (r\ p\ \sigma_2) \wedge (\sigma_2\ p_i\ b) \wedge (\sigma_2\ p_i\ r)$	$b'\ \{\ p, m, o^-, s^-, d^-\ \}\ r'$	$(b'\ p\ r') \wedge (r'\ p_i\ b')$	Verdadeiro
$(r\ s_i^-\ b) \wedge (r\ p\ \sigma_2) \wedge (b\ s^+\ r) \wedge (b\ p\ \sigma_2) \wedge (\sigma_2\ p_i\ r) \wedge (\sigma_2\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^-, o^+, s^-, s^+, d^-\ \}\ r'$	$(b'\ p\ r') \wedge (r'\ p_i\ b')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ r) \wedge (\sigma_2\ p\ b) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ s_i^-\ b) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ s^+\ r)$	$b'\ \{\ s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, o_i^-, p, p_i\ \}\ r'$	$(r\ o^-\ b) \wedge (b\ o_i^+\ r)$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ r) \wedge (\sigma_2\ p\ b) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ s_i^-\ b) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ s^+\ r)$	$b'\ \{\ s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, o_i^-, p, p_i\ \}\ r'$	$(r\ m\ b) \wedge (b\ p_i\ r)$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ r) \wedge (\sigma_2\ p\ b) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ d_i^-\ b) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ d^+\ r)$	$b'\ \{\ c^+, d^+, f^+, f^-, o_i^+, o_i^-, p, p_i\ \}\ r'$	$(r\ f_i^+\ b) \wedge (b\ f^-\ r)$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ r) \wedge (\sigma_2\ p\ b) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ d_i^-\ b) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ d^+\ r)$	$b'\ \{\ c^+, d^+, f^+, f^-, o_i^+, o_i^-, p_i, p_i\ \}\ r'$	$(r\ p\ b) \wedge (b\ p_i\ r)$	Verdadeiro
$(r\ d_i^-\ b) \wedge (r\ p\ \sigma_2) \wedge (b\ d^+\ r) \wedge (b\ p\ \sigma_2) \wedge (\sigma_2\ p_i\ r) \wedge (\sigma_2\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^-, o^+, s^-, s^+\ \}\ r'$	$(r'\ p\ b') \wedge (b'\ p_i\ r'))$	Verdadeiro
$(r\ f_i^-\ b) \wedge (r\ p\ \sigma_2) \wedge (b\ f^+\ r) \wedge (b\ p\ \sigma_2) \wedge (\sigma_2\ p_i\ r) \wedge (\sigma_2\ p_i\ b\ )$	$b'\ \{\ p, m, o^-, s^+, o^+, d^+\ \}\ r'$	$(r'\ p\ b') \wedge (b'\ p_i\ r')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ r) \wedge (\sigma_2\ p\ b) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge r\ f_i^-\ b, (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge b\ f^+\ r$	$b'\ \{\ f^+, f^-, o_i^-, o_i^+, m_i, p_i\ \}\ r'$	$r\ f_i^+\ b, b\ f^-\ r$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ r) \wedge (\sigma_2\ p\ b) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ f_i^-\ b) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge b\ f^+\ r$	$b'\ \{\ f^+, f^-, o_i^-, o_i^+, m_i, p_i\ \}\ r'$	$(\ r\ p\ b) \wedge (b\ p_i\ r)$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ r) \wedge (\sigma_2\ p\ b) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ o^-\ b) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (\ b\ o_i^+\ r\ )$	$r'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+\ \}\ b'$	$(r\ p\ b) \wedge (b\ p_i\ r)$	Verdadeiro
$(r\ o^-\ b) \wedge (r\ p\ \sigma_2) \wedge (b\ o_i^+\ r) \wedge (b\ p\ \sigma_2) \wedge (\sigma_2\ p_i\ r) \wedge (\sigma_2\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^-, s^-, d^-\ \}\ r'$	$(b\ p\ r) \wedge r\ p_i\ b$	Verdadeiro
$(r\ o^-\ b) \wedge (r\ p\ \sigma_2) \wedge (b\ o_i^+\ r) \wedge (b\ o^+\ \sigma_2) \wedge (\sigma_2\ p_i\ r) \wedge (\sigma_2\ o_i^-\ b)$	$r'\ \{\ p, p_i, o_i^+, d_i^+, c^+, o^-\ \}\ b'$	$(r'\ o^-\ b') \wedge (b'\ o_i^+\ r')$	Verdadeiro
$(r\ m\ b) \wedge (r\ p\ \sigma_2) \wedge (b\ p_i\ r) \wedge (b\ p\ \sigma_2) \wedge(\sigma_2\ p_i\ r) \wedge\sigma_2\ p_i\ b$	$r'\ \{\ p, m, o^-, s^-, d^-\ \}\ b'$	$(r'\ o^-\ b') \wedge (b'\ o_i^+\ r')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ r) \wedge (\sigma_2\ p\ b) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (\ r\ m\ b) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ p_i\ r)$	$r'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\ \}\ b'$	$(r\ p\ b) \wedge (b\ p_i\ r)$	Verdadeiro

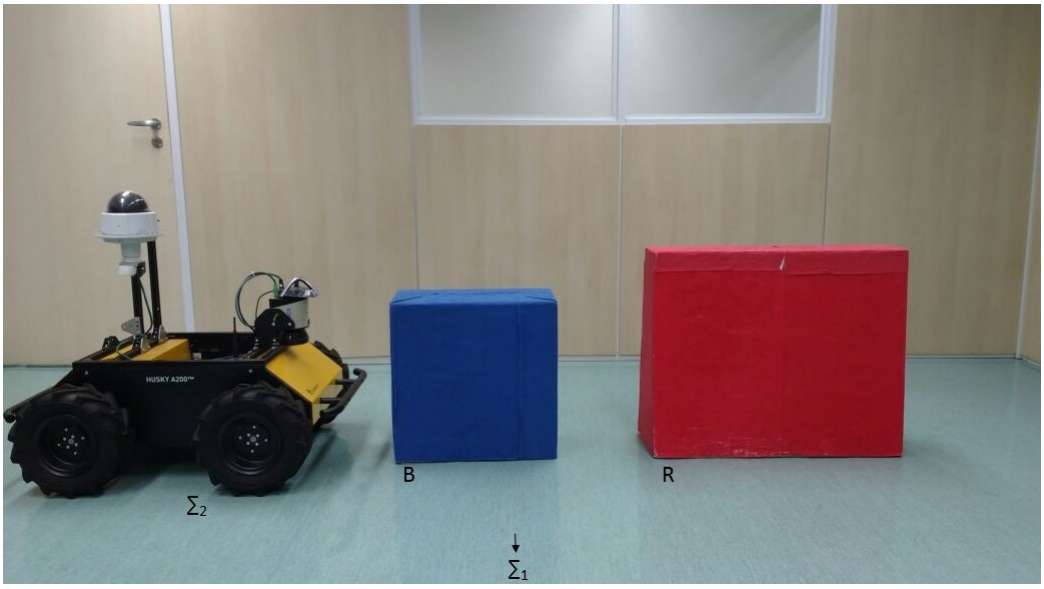
Tabela 15 – Resultado da implementação do COI para o cenário apresentado na figura 35.

Visão de Σ_1	Relações Transformadas	Visão de Σ_2	Consistência
$(\sigma_2 \text{ p } r) \wedge (\sigma_2 \text{ p } b) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ s_i^-\ b) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ s^+\ r)$	$b'\ \{\ d^-, d^+, f^-, f^+, s^-, s^+\ \}\ r'$	$(r'\ f_i^-\ b') \wedge b'\ f^+\ r'$	Verdadeiro
$(\sigma_2 \text{ p } r) \wedge (\sigma_2 \text{ p } b) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ s_i^-\ b) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ s^+\ r)$	$b'\ \{\ d^-, d^+, f^-, f^+, s^-, s^+\ \}\ r'$	$(r'\ d_i^-\ b') \wedge b'\ d^+\ r'$	Verdadeiro
$(\sigma_2 \text{ p } r) \wedge (\sigma_2 \text{ p } b) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ s_i^-\ b) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ s^+\ r)$	$b'\ \{\ d^-, d^+, f^-, f^+, s^-, s^+\ \}\ r'$	$(r'\ s_i^-\ b') \wedge b'\ s^+\ r'$	Verdadeiro
$(r\ s_i^-\ b) \wedge (r\ d_i^+\ \sigma_2) \wedge (b\ s^+\ r) \wedge (b\ o^+\ \sigma_2) \wedge (\sigma_2\ d^-\ r) \wedge (\sigma_2\ o_i^-\ b)$	$b'\ \{\ f^-\ \}\ r'$	$(\ r'\ f_i^+\ b') \wedge (b'\ f^-\ r')$	Verdadeiro
$(r\ s_i^-\ b) \wedge (r \text{ p } \sigma_2) \wedge (b\ s^+\ r) \wedge (b \text{ p } \sigma_2) \wedge (\ \sigma_2\ p_i\ r) \wedge (\sigma_2\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ d^-, s^-, f^-\ \}\ r'$	$(\ r'\ s_i^+\ b') \wedge (b'\ s^-\ r')$	Verdadeiro
$(r\ s_i^-\ b) \wedge (r \text{ p } \sigma_2) \wedge (b\ s^+\ r) \wedge (b \text{ p } \sigma_2) \wedge (\ \sigma_2\ p_i\ r) \wedge (\sigma_2\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ d^-, s^-, f^-\ \}\ r'$	$(r'\ d_i^+\ b') \wedge (b'\ d^-\ r')$	Verdadeiro
$(r\ s_i^-\ b) \wedge (r \text{ p } \sigma_2) \wedge (b\ s^+\ r) \wedge (b \text{ p } \sigma_2) \wedge (\ \sigma_2\ p_i\ r) \wedge (\sigma_2\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ d^-, s^-, f^-\ \}\ r'$	$(\ r'\ f_i^+\ b') \wedge (b'\ f^-\ r')$	Verdadeiro
$(r\ s_i^-\ b) \wedge r\ d_i^-\ \sigma_2, (b\ s^+\ r) \wedge (b\ o^-\ \sigma_2) \wedge (\sigma_2\ d^+\ r) \wedge (\sigma_2\ o_i^+\ b)$	$b'\ \{\ s^-\ \}\ r'$	$(\ r'\ s_i^+\ b') \wedge (b'\ s^-\ r')$	Verdadeiro
$(\sigma_2 \text{ p } r) \wedge (\sigma_2 \text{ p } b) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge r\ d_i\ b, (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge b\ d\ r$	$b'\ \{\ f^-\ \}\ r'$	$(b'\ f^-\ r') \wedge (r'\ f_i^+\ b')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ d^-\ r) \wedge (\sigma_2\ d^-\ b) \wedge (r\ d_i^+\ \sigma_2) \wedge (r\ d_i\ b) \wedge (b\ d_i^+\ \sigma_2) \wedge (b\ d\ r)$	$b'\ \{\ d^-, s^-, f^-\ \}\ r'$	$(r'\ d_i^+\ b') \wedge (b'\ d{-}\ r')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p_i\ r) \wedge (\sigma_2\ p_i\ b) \wedge (r\ p\ \sigma_2) \wedge (r\ d_i\ b) \wedge (b\ p\ \sigma_2) \wedge (b\ d\ r)$	$b'\ \{\ s^-\ \}\ r'$	$(b'\ s^-\ r') \wedge (r'\ s_i^+\ b')$	Verdadeiro

Tabela 16 – Resultado da implementação do COI para o cenário apresentado na figura 35.

Vista frontal de Σ_1	**Relações Transformadas**	**Vista frontal de Σ_2**	**Consistência**
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ s^-\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge r\ s_i^+\ b$	$b'\ \{f^-, d^+, s_-\}\ r'$	$(b'\ d^+\ r') \wedge (r'\ d_i^-\ b')$	Verdadeiro

Figura 39 – Cenário com dois objetos desconectados em ambiente real.



6.2 TESTES COM ROBÔS REAIS

Testes similares aos apresentados na seção anterior foram aplicados em ambiente real, com o objetivo de verificar a aplicabilidade da solução proposta nesse trabalho e comparar os resultados obtidos nos dois ambientes.

Os testes foram realizados no laboratório de robótica do Centro Universitário da FEI. Para fornecer a vista global utilizamos o quadrotor modelo Pelican e para visão terrestre foi utilizado o robô Husky A200, apresentados na seção 4.6. Como objetos foram utilizadas duas caixas coloridas seguindo o mesmo modelo dos blocos utilizados no ambiente simulado.

Para obter as informações de cada um dos agentes e viabilizar a troca de mensagens, os robôs foram conectados à mesma rede sem fio, e foi utilizada a função *multimaster* do ROS, apresentado na seção 4.5.

Nas próximas seções estão apresentados os testes efetuados neste ambiente nas configurações $DC(A,B)$ e $TPP(A,B)$.

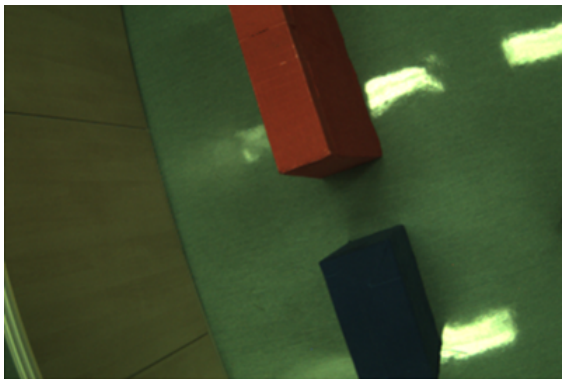
6.2.1 Teste com dois objetos desconectados

Semelhante ao experimento realizado no ambiente simulado foram realizados os testes com a configuração para dois objetos desconectados conforme apresentado na figura 39.

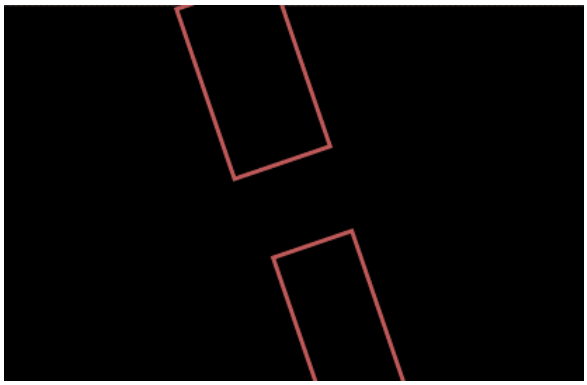
Nesse cenário estão presentes duas caixa, uma azul e uma vermelha, um robô modelo Husky A200 e para obter a imagem de Σ_1 foi posicionado um sensor do tipo *Kinect* que está indicado por uma seta na figura 39.

Na figura 40 está representada a vista global para o cenário utilizado para a simulação com dois objetos desconectados.

Figura 40 – Vista global para o cenário com dois objetos desconectados.



(a) Vista global para o cenário da figura 39.



(b) Regiões definas para os objetos identificados na vista global.

Como pode-se observar, a partir da vista global identificou-se dois objetos, o bloco azul e o bloco vermelho. Para definir qual tabela de transformação utilizar, basta ter a relação de conexão entre os objetos, portanto, a partir da figura 40 (b) concluí-se que para aplicação do COI nesse cenário, será utilizada a tabela de transformação para a relação de conexão DC.

Na figura 41 (a) observa-se que Σ_1 pode ver três objetos: σ_2, o bloco azul (B) e o bloco vermelho (R). Os intervalos que os representam podem ser observados na figura 41 (b).

Na perspectiva de Σ_2 são observados apenas os blocos azul e vermelho, conforme figura 42.

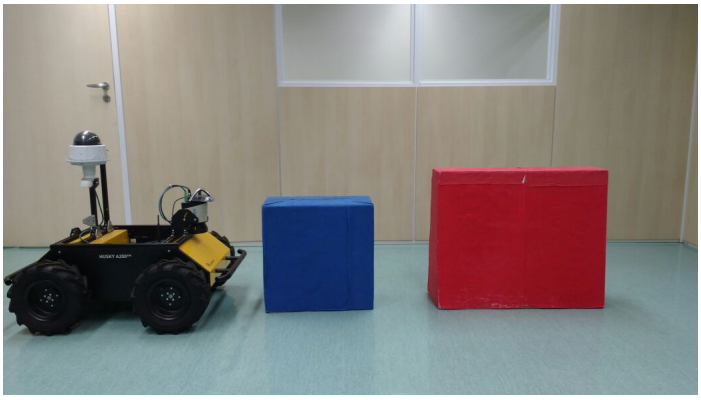
Na figura 42 (b) podem ser observados ruídos visto que os contornos não estão bem definidos e, ainda o algoritmo identificou um intervalo que não pertence ao cenário. Esse ruído se dá devido à diferença de luminosidade e à baixa tolerância ao ruído do modelo escolhido para identificação dos intervalos.

Durante a execução dos testes, em algumas situações ao alterar a posição dos observadores ou objetos, os algoritmos apresentavam ruídos na definição dos intervalos e para esses casos foi ajustado o filtro HSV utilizado na detecção dos intervalos. Na figura 43 tem-se a imagem obtida pelo algoritmo com o filtro ajustado para essa configuração.

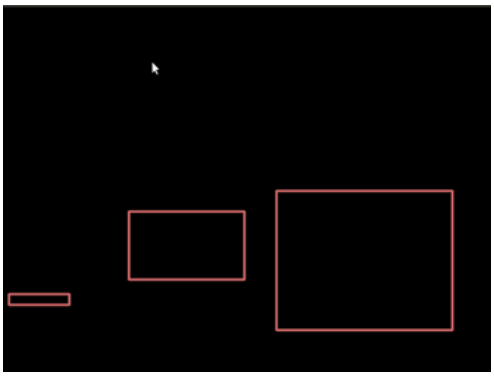
Na tabela 17 está descrita a resposta do sistema para o cenário da figura 39. Diferente dos testes realizados em ambiente simulado, nos testes com robôs reais alguns casos apresentaram inconsistências. Na segunda linha da tabela 17, tem-se que Σ_1 observa $(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p\ r)$. Nessa condição, da tabela de transformação do COI, as relações transformadas poderiam ser b' { $p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i$} r', no entanto, da visão de Σ_2 obteve-se ($r'\ o^+\ b') \wedge (b'\ o_i^-\ r')$, que como podemos observar a relação o_i^- não pertence ao conjunto de relações transformadas, por isso a relação está inconsistente.

Essa inconsistência acontece pois em alguns casos o sensor de profundidade não consegue obter o valor da distância que o objeto está do observador, e então é realizada uma medida

Figura 41 – Vista frontal de Σ_1 para o cenário com dois objetos desconectados.



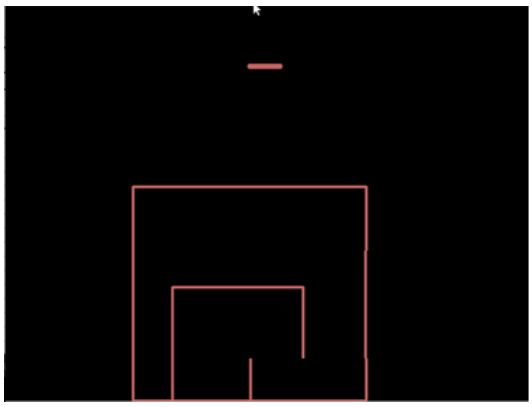
(a) Vista frontal de Σ_1 para o cenário da figura 39.



(b) Intervalos definas para os objetos identificados na visão de Σ_1.

Figura 42 – Vista frontal de Σ_1 para o cenário com dois objetos desconectados.

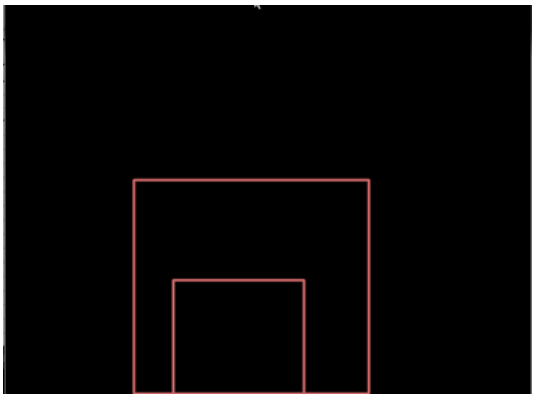
(a) Vista frontal de Σ_2 para o cenário da figura 39.



(b) Intervalos definas para os objetos identificados na visão de Σ_2.

Figura 43 – Vista frontal de Σ_2 para o cenário com dois objetos desconectados com filtro ajustado.

(a) Vista frontal de Σ_2 para o cenário da figura 39.



(b) Intervalos definas para os objetos identificados na visão de Σ_2.

errônea. Apesar da divergência do sensor, o sistema foi capaz de identificar a inconsistência ao verificar que a relação obtida não estava de acordo com a tabela de transformação utilizada.

Nas próxima seção estão apresentados os testes realizados com dois objetos, B e R em que $TPP(B,R)$.

6.2.2 Teste com dois objetos, B e R em que $TPP(B,R)$

Na figura 44 está representada a vista global para o cenário utilizando dois objetos, B e R em que $TPP(B,R)$.

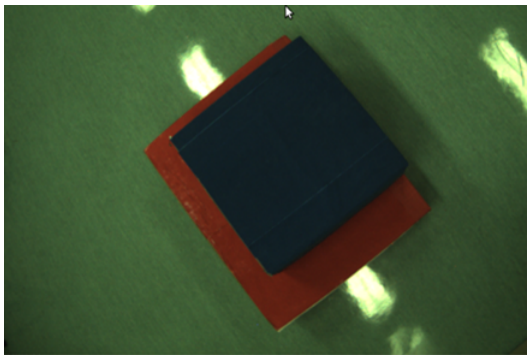
Na figura 44 (a) pode-se observar que o agente aéreo identificou o bloco azul (B) em cima do bloco vermelho (R). Na figura 36 (b), observa-se que o contorno do objeto azul está dentro do contorno do objeto vermelho, sendo que uma das bordas do bloco azul está tangencial a uma das bordas do bloco vermelho, com isso, para essa configuração será utilizada a tabela de transformação do $TPP(A,B)$ COI.

Na figura 45 (a) tem-se o ponto de vista de Σ_1 no cenário proposto. Neste caso, Σ_1 observa o agente Σ_2, e os blocos azul e vermelho.

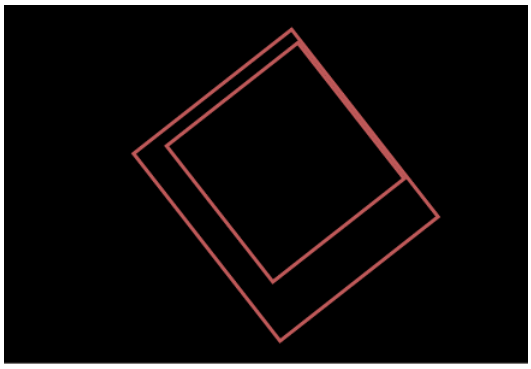
Na figura 46 (a) tem-se o ponto de vista de Σ_2. Neste caso, Σ_2 observa os blocos azul e vermelho, sendo que da perspectiva de Σ_2, o bloco azul está em cima e no meio do bloco vermelho.

Assim como feito para os testes no ambiente simulado, com o objetivo de avaliar o comportamento dos algoritmos nas demais posição, Σ_1 foi fixado e variou-se a posição de Σ_2 entre as regiões demarcadas para a configuração TPP apresentadas na figura 25 (b). A tabela 18 apresenta a resposta do sistema para esse teste.

Figura 44 – Vista global para o cenário com dois objetos, B e R em que $TPP(B,R)$.

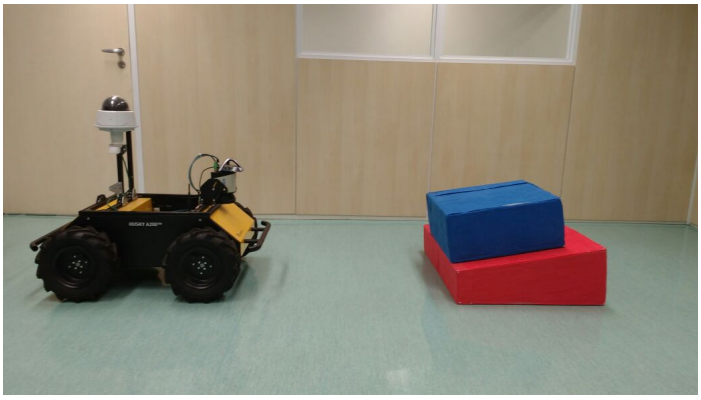


(a) Vista global para o cenário TPP em ambiente real.

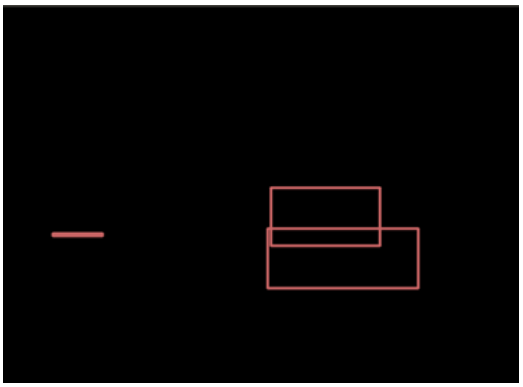


(b) Regiões definidas para os objetos identificados na vista global.

Figura 45 – Vista frontal de Σ_1 para o cenário com dois objetos, B e R em que $PP(B,R)$.

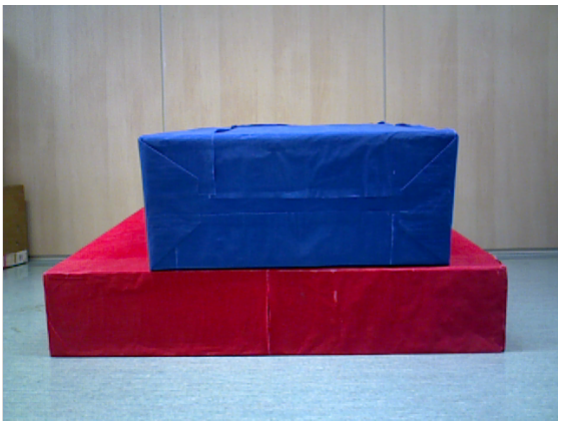


(a) Vista frontal de Σ_1 para o cenário TPP em ambiente real.

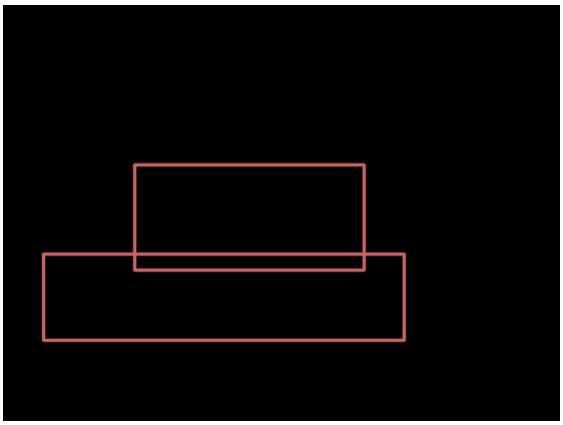


(b) Regiões definidas para os objetos identificados na visão de Σ_1.

Figura 46 – Vista frontal de Σ_2 para o cenário com dois objetos, B e R em que $TPP(B,R)$.



(a) Vista frontal de Σ_2 para o cenário TPP em ambiente real.



(b) Regiões definidas para os objetos identificados na visão de Σ_2.

Tabela 17 – Resultado da implementação do COI para o cenário apresentado na Figura 39.

Visão de Σ_1	**Relações Transformadas**	**Visão de Σ_2**	**Consistência**
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\}\ r'$	$(r'\ m\ b') \wedge (b'\ m_i\ r')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\}\ r'$	$(r'\ o^+\ b') \wedge (b'\ o_i^-\ r')$	Falso
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\}\ r'$	$(b'\ f^+\ r') \wedge (r'\ f_i^-\ b')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\}\ r'$	$(b'\ d^+\ r') \wedge (r'\ d_i^-\ b'\ )$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\}\ r'$	$(r'\ c^-\ b') \wedge (b'\ c^+\ r')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\}\ r'$	$(r'\ s_i^+\ b') \wedge (b'\ s^-\ r')$	Falso
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\ \}\ r'$	$(b'\ o^+\ r') \wedge (r'\ o_i^-\ b')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p\ b) \wedge (\sigma_2\ p\ r) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ p\ r) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\ \}\ r'$	$(r'\ p\ b') \wedge (b'\ p_i\ r')$	Verdadeiro

Tabela 18 – Resultado da implementação do COI para o cenário com dois objetos B e R onde $TPP(B,R)$ em ambiente real.

Visão de Σ_1	Relações Transformadas	Visão de Σ_2	Consistência
$(\sigma_2 \text{ p } r) \wedge (\sigma_2 \text{ p } b) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ s_i^-\ b) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ s^+\ r)$	$b'\ \{\ d^-, d^+, f^-, f^+, s^-, s^+\ \}\ r'$	$(r'\ f_i^-\ b') \wedge b'\ f^+\ r'$	Verdadeiro
$(\sigma_2 \text{ p } r) \wedge (\sigma_2 \text{ p } b) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ s_i^-\ b) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ s^+\ r)$	$b'\ \{\ d^-, d^+, f^-, f^+, s^-, s^+\ \}\ r'$	$(r'\ d_i^-\ b') \wedge b'\ d^+\ r'$	Verdadeiro
$(\sigma_2 \text{ p } r) \wedge (\sigma_2 \text{ p } b) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge (r\ s_i^-\ b) \wedge (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge (b\ s^+\ r)$	$b'\ \{\ d^-, d^+, f^-, f^+, s^-, s^+\ \}\ r'$	$(r'\ s_i^-\ b') \wedge b'\ s^+\ r'$	Verdadeiro
$(r\ s_i^-\ b) \wedge (r\ d_i^+\ \sigma_2) \wedge (b\ s^+\ r) \wedge (b\ o^+\ \sigma_2) \wedge (\sigma_2\ d^-\ r) \wedge (\sigma_2\ o_i^-\ b)$	$b'\ \{\ f^-\ \}\ r'$	$(\ r'\ f_i^+\ b') \wedge (b'\ f^-\ r')$	Verdadeiro
$(r\ s_i^-\ b) \wedge (r \text{ p } \sigma_2) \wedge (b\ s^+\ r) \wedge (b \text{ p } \sigma_2) \wedge (\ \sigma_2\ p_i\ r) \wedge (\sigma_2\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ d^-, s^-, f^-\ \}\ r'$	$(\ r'\ s_i^+\ b') \wedge (b'\ s^-\ r')$	Verdadeiro
$(r\ s_i^-\ b) \wedge (r \text{ p } \sigma_2) \wedge (b\ s^+\ r) \wedge (b \text{ p } \sigma_2) \wedge (\ \sigma_2\ p_i\ r) \wedge (\sigma_2\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ d^-, s^-, f^-\ \}\ r'$	$(r'\ d_i^+\ b') \wedge (b'\ d^-\ r')$	Verdadeiro
$(r\ s_i^-\ b) \wedge (r \text{ p } \sigma_2) \wedge (b\ s^+\ r) \wedge (b \text{ p } \sigma_2) \wedge (\ \sigma_2\ p_i\ r) \wedge (\sigma_2\ p_i\ b)$	$b'\ \{\ d^-, s^-, f^-\ \}\ r'$	$(\ r'\ f_i^+\ b') \wedge (b'\ f^-\ r')$	Verdadeiro
$(r\ s_i^-\ b) \wedge r\ d_i^-\ \sigma_2, (b\ s^+\ r) \wedge (b\ o^-\ \sigma_2) \wedge (\sigma_2\ d^+\ r) \wedge (\sigma_2\ o_i^+\ b)$	$b'\ \{\ s^-\ \}\ r'$	$(\ r'\ s_i^+\ b') \wedge (b'\ s^-\ r')$	Verdadeiro
$(\sigma_2 \text{ p } r) \wedge (\sigma_2 \text{ p } b) \wedge (r\ p_i\ \sigma_2) \wedge r\ d_i\ b, (b\ p_i\ \sigma_2) \wedge b\ d\ r$	$b'\ \{\ f^-\ \}\ r'$	$(b'\ f^-\ r') \wedge (r'\ f_i^+\ b')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ d^-\ r) \wedge (\sigma_2\ d^-\ b) \wedge (r\ d_i^+\ \sigma_2) \wedge (r\ d_i\ b) \wedge (b\ d_i^+\ \sigma_2) \wedge (b\ d\ r)$	$b'\ \{\ d^-, s^-, f^-\ \}\ r'$	$(r'\ d_i^+\ b') \wedge (b'\ d{-}\ r')$	Verdadeiro
$(\sigma_2\ p_i\ r) \wedge (\sigma_2\ p_i\ b) \wedge (r\ p\ \sigma_2) \wedge (r\ d_i\ b) \wedge (b\ p\ \sigma_2) \wedge (b\ d\ r)$	$b'\ \{\ s^-\ \}\ r'$	$(b'\ s^-\ r') \wedge (r'\ s_i^+\ b')$	Verdadeiro

6.3 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

O Cálculo de Oclusão de Intervalo (COI) tem como objetivo permitir que em um cenário com múltiplos agentes, cada agente seja capaz de interpretar as observações fornecidas por um agente e identificar inconsistências caso venham a ocorrer.

Nos testes realizados em ambiente simulado, tanto para a configuração com dois objetos A e B desconectados ($DC(A,B)$) quanto para a configuração $TPP(A,B)$, o sistema não apresentou inconsistência, como pode-se observar nas tabelas 12, 14 e 15 os agentes construíram as tabelas de transformação de perspectiva corretamente conforme validado por um especialista, no caso o autor.

Para a aplicação dos algoritmos desenvolvidos no ambiente real, devido a ruídos apresentados pelo sensor foram encontradas algumas inconsistências nas percepções dos agentes no domínio.

No experimento realizado com dois objetos A e B desconectados ($DC(A,B)$) em ambiente real, pode-se observar na segunda linha da tabela 17 que a consistência é falsa, ou seja, a informação obtida pelo agente não é consistente com as relações transformadas. Para este caso, o observador Σ_1 obtém da tabela de transformação de perspectiva as relações b' { p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i} r', no entanto, o observador Σ_2 retorna as relações (r' o^- b') $\wedge$ (b' o_i^- r'). Como a relação $o_i^- \notin$ { p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i} a informação obtida está inconsistente. Nesse caso pode-se observar que a relação $\{o\}$ pertence ao conjunto de relações transformadas mas a camada da relação está divergente, o conjunto de relações transformadas possui a relação o_i^+ e o agente observou o_i^- . Essa inconsistência ocorre devido a ruídos apresentados no sensor *kinect* ao obter a distância do objeto em relação ao observador.

Para o experimento com dois objetos A e B desconectados ($DC(A,B)$) em ambiente real pode-se concluir que o algoritmo se comportou conforme o esperado, pois para os casos em que um dos agentes retornou uma informação que não estava de acordo com o cenário proposto, o sistema acusou a inconsistência. No experimento em ambiente real na configuração $TPP(A,B)$, o sistema não apresentou nenhuma inconsistência, como pode-se observar na tabela 18, ou seja, tanto na situação com ruído quanto na situação em que os sensores não sofreram influência de ruídos o algoritmo funcionou corretamente.

Além da divergência apresentada acima, na figura 42 tem-se que o algoritmo não segmentou os objetos corretamente e ainda identificou um objeto que não estava no cenário. Isso acontece devido a forma escolhida de identificação de objetos que sofre interferência da variação de luminosidade do ambiente. Para este caso o filtro foi reajustado e o erro não voltou a aparecer. Definir um método mais robusto a ruídos na identificação dos objetos faz parte dos trabalhos futuros dessa dissertação.

No geral, para os cenários apresentados foi possível verificar que o COI pode ser aplicado em um ambiente com múltiplos agentes de forma colaborativa, de forma que os agentes sejam capazes de fazer a transformação de perspectivas e checar a consistência dessas infor-

mações visto que, para todos os casos que os agentes forneceram informações divergentes do esperado o sistema foi capaz de identificar a inconsistência. Na seção de trabalhos futuros são apresentadas as oportunidades encontradas durante esse trabalho para o refinamento dessa teoria e como solucionar as questões técnicas identificas neste trabalho.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a primeira implementação do Cálculo de Oclusão de Intervalo (COI) e testou essa implementação em ambiente real e simulado. Durante o estudo desse formalismo foi possível desenvolver um mecanismo para estender esse cálculo para qualquer disposição de dois objetos através da criação de tabelas de transformação de perspectiva.

Na implementação desse cálculo foram utilizados os modelos Husky A200 da Clearpath e o Pelican da AscTec, modelos disponíveis no laboratório de robótica no Centro Universitário da FEI.

Para aplicar esse cálculo foram desenvolvidos os algoritmos de identificação de intervalos, identificação das relações entre intervalos, troca de perspectiva e algoritmos de verificação de consistência. Os algoritmos desenvolvidos foram aplicados em ambiente simulado utilizando ROS (*Robotic Operating System*) e o simulador GAZEBO. Em seguida, os mesmos experimentos foram realizados com os robôs reais.

Para criação do ambiente de testes foram utilizados blocos coloridos e para identificação dos intervalos foram utilizadas técnicas de segmentação de cor.

Analisando o resultados obtidos percebeu-se que o método escolhido para identificação de intervalos se mostrou sensível a ruídos e variações no ambiente, de forma que no ambiente real alguns intervalos foram identificados erroneamente. No entanto, mesmo nesses casos os algoritmos de verificação de consistência foram capazes de identificar a inconsistência.

Avaliando o comportamento do sistema desenvolvido, ao longo desse trabalho verificou-se que o COI pode ser utilizado em um ambiente com múltiplos agentes, permitindo que esses agentes consigam fazer a transformação de perspectiva e verificar a consistência das informações recebidas.

A partir dessa dissertação foi gerado o artigo apresentado no apêndice B que foi submetido à conferência IEA/AIE 2017[1].

7.1 TRABALHOS FUTUROS

Durante o desenvolvimento deste trabalho foram identificadas oportunidades que serão descritas nessa seção para serem tratadas como continuidade desse trabalho. Como trabalho futuro tem-se a definição de um método apropriado e robusto a ruídos do ambiente, visto que a identificação por cor não se mostrou robusta quando aplicada no ambiente real.

Além de uma solução para identificação dos intervalos, como trabalho futuro tem-se a necessidade de estudar uma tratativa para aplicação da teoria em objetos reais, que podem ser complexos diferentes das formas simples utilizadas nesse projeto.

[1] http://www.cril.univ-artois.fr/ieaaie2017/

Outro trabalho futuro é incluir movimento nos agentes utilizando o artifício do reticulado para apoiar na consistência das informações recebidas e ainda incluir uma abordagem $Bayesiana$ par lidar com as incertezas dos dados observados pelos agentes envolvidos.

Outro ponto para o futuro é aplicar o Cálculo de Oclusão de Intervalo como ferramenta para o planejamento em uma tarefa de busca em um ambiente complexo e com múltiplos agentes.

REFERÊNCIAS

ARAI, Tamio; PAGELLO, Enrico; PARKER, Lynne E. Editorial: Advances in multi-robot systems. **IEEE Transactions on robotics and automation**, v. 18, n. 5, p. 655–661, 2002.

BOND, Alan H; GASSER, Les. **Readings in distributed artificial intelligence**. [S.l.]: Morgan Kaufmann, 2014.

CASATI, R.; VARZI, A.C. **Parts and Places: The Structures of Spatial Representation**. [S.l.]: MIT Press, 1999. (A Bradford book).

COHN, Anthony G; RENZ, Jochen. Chapter 13 Qualitative Spatial Representation and Reasoning. **Handbook of Knowledge Representation**, v. 3, p. 551–596, 2008.

DOHERTY, Patrick; HEINTZ, Fredrik; KVARNSTRÖM, Jonas. High-level mission specification and planning for collaborative unmanned aircraft systems using delegation. **Unmanned Systems**, World Scientific, v. 1, n. 01, p. 75–119, 2013.

DOHERTY, Patrick; HEINTZ, Fredrik; LANDÉN, David. A delegation-based architecture for collaborative robotics. In: AGENT-ORIENTED Software Engineering XI. [S.l.]: Springer, 2010. p. 205–247.

DOHERTY, Patrick et al. Research with collaborative unmanned aircraft systems. In: SCHLOSS DAGSTUHL-LEIBNIZ-ZENTRUM FUER INFORMATIK. DAGSTUHL Seminar Proceedings. [S.l.: s.n.], 2010. p. 1–14.

FRANK, A. U. Qualitative Spatial Reasoning: Cardinal directions as an example. **IJGIS**, v. 10, n. 3, p. 269–290, 1996.

FREKSA, Christian. Temporal reasoning based on semi-intervals. **Artificial intelligence**, Elsevier, v. 54, n. 1-2, p. 199–227, 1992.

GALTON, Antony. Lines of sight. In: AISB Workshop on Spatial and Spatio-Temporal Reasoning. [S.l.: s.n.], 1994.

GUHA, Prithwijit; MUKERJEE, Amitabha; VENKATESH, K. OCS-14: You Can Get Occluded in Fourteen Ways. **IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence**, p. 1665–1670, 2011.

KARACAPILIDIS, Nikos I; PAPADIAS, Dimitris; EGENHOFER, Max J. Collaborative Spatial Decision Making with Qualitative Constraints. In: ACM-GIS. [S.l.: s.n.], 1995. p. 53–59.

KRAY, Christian. The Benefits of Multi-Agent Systems in Spatial Reasoning. In: FLAIRS Conference. [S.l.: s.n.], 2001. p. 552–556.

LIGOZAT, G É. Reasoning about cardinal directions. **Journal of Visual Languages & Computing**, Elsevier, v. 9, n. 1, p. 23–44, 1998.

LIGOZAT, Gérard. **Qualitative spatial and temporal reasoning**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2013.

MAINAS, Nikolaos; PETRAKIS, Euripides G M. CHOROS 2 : Improving the Performance of Qualitative Spatial Reasoning in OWL. **2014 IEEE 26th International Conference on Tools with Artificial Intelligence**, p. 283–290, 2014.

MARTINO, Felipe; RODRIGUES, Esposito; SANTOS, Paulo E. Communication of Spatial Expressions on Multi-Agent Systems Using the Qualitative Ego-Sphere. **12th IEEE International Conference on Control and Automation**, p. 25–30, 2016.

MORATZ, Reinhard. Representing relative direction as a binary relation of oriented points. In: ECAI. [S.l.: s.n.], 2006. v. 6, p. 407–411.

NATH, Chayanika D; HAZARIKA, Shyamanta M. Combining Diagrammatic Reasoning with Qualitative Spatial and Temporal Reasoning for Motion Event Detection. **2015 Fifth National Conference on Computer Vision, Pattern Recognition, Image Processing and Graphics (NCVPRIPG)**, p. 1–4, 2015.

PETROV, AP; KUZMIN, LV. Visual space geometry derived from occlusion axioms. **Journal of Mathematical Imaging and Vision**, Springer, v. 6, n. 2-3, p. 291–308, 1996.

RANDELL, David A.; CUI, Zhan; COHN, Anthony G. A Spatial Logic based on Regions and Connection. In: 3RD International Conference On Knowledge Representation And Reasoning. [S.l.: s.n.], 1992. p. 165–176. arXiv: arXiv:1011.1669v3.

RANDELL, David; WITKOWSKI, Mark; SHANAHAN, Murray. From images to bodies: Modelling and exploiting spatial occlusion and motion parallax. **IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence**, p. 57–63, 2001.

_____. From images to bodies: Modelling and exploiting spatial occlusion and motion parallax. In: IJCAI. [S.l.: s.n.], 2001. p. 57–66.

SABHARWAL, C. L. A Complete Classification of Occlusion Observer's Point of View for 3D Qualitative Spatial Reasoning. **The proceedings of 21st International Conference on Distributed Multimedia Systems, and Journal of Visual Languages and Sentient Systems**, v. 1, p. 94–100, 2015.

SANTOS, Paulo E.; LIGOZAT, Gérard; SAFI-SAMGHABAD, Marjan. An occlusion calculus based on an interval algebra. **Proceedings - 2015 Brazilian Conference on Intelligent Systems, BRACIS 2015**, November, p. 128–133, 2015.

TARQUINI, F et al. A qualitative model for visibility relations. In: KI 2007: Advances in Artificial Intelligence. [S.l.]: Springer, 2007. p. 510–513.

TASSONI, S. et al. Toward a Qualitative 3D Visibility Model. **25th International Workshop on Qualitative Reasoning, co-located with the IJCAI-11 Conference, Barcelona, Spain**, 2011.

VILLEMAIRE, Roger; HALLÉ, Sylvain. Reasoning about visibility. **Journal of Applied Logic**, Elsevier, v. 10, n. 2, p. 163–178, 2012.

WELD, Daniel S.; KLEER, Johan de (Ed.). **Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems**. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1990.

APÊNDICE A – TABELAS DE TRANSFORMAÇÃO

Tabela 19 – Tabela de transformação para dois objetos externamente conectados $DC(A,B)$ para Σ_1 posicionado de forma a observar $a\ p\ b$.

	$\sigma_2\ p\ b$	$\sigma_2\ m\ b$	$\sigma_2\ o^-\ b$	$\sigma_2\ s^-\ b$	$\sigma_2\ d^-\ b$	$\sigma_2\ f^-\ b$	$\sigma_2\ o_i^-\ b$	$\sigma_2\ m_i\ b$	$\sigma_2\ p_i\ b$	$\sigma_2\ s^+\ a$	$\sigma_2\ d^+\ a$	$\sigma_2\ f^+\ a$	$\sigma_2\ o_i^+\ a$	$\sigma_2\ o^+\ a$
$\sigma_2\ p\ a$	$a'\ \{m_i, o_i^+, f^+, d^+, c^+, s^+, o^+, m\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ m\ a$	$a'\ \{m_i, o_i^+, f^+, d^+, c^+, s^+, o^+, m\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ o^-\ a$	$a'\ \{m_i, o_i^+, f^+, d^+, c^+, s^+, o^+, m\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ s^-\ a$	$a'\ \{m_i, o_i^-, f^-\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ d^-\ a$	$a'\ \{m_i, o_i^-, f^-\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ f^-\ a$	$a'\ \{m_i, o_i^-, f^-\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ o_i^-\ a$	$a'\ \{p_i\}b'$	$a'\ \{p_i\}b'$	$a'\ \{p_i\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ m_i\ a$	$a'\ \{p_i\}b'$	$a'\ \{p_i\}b'$	$a'\ \{p_i\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ p_i\ a$	$a'\ \{p_i\}b'$	$a'\ \{p_i\}b'$	$a'\ \{p_i\}b'$	$a'\ \{m_i, o_i^-, f_i^-, d^-\}b'$	$a'\ \{m_i, o_i^-, f_i^-, d^-\}b'$	$a'\ \{m_i, o_i^-, f_i^-, d^-\}b'$	$a'\ \{s^-, o^-, m, p\}b'$	$a'\ \{s^-, o^-, m, p\}b'$	$a'\ \{s^-, o^-, m, p\}b'$	$a'\ \{p\}b'$	$a'\ \{p\}b'$	$a'\ \{p\}b'$	$a'\ \{p\}b'$	n.d.
$\sigma_2\ s^+\ a$	$a'\ \{p_i\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ d^+\ a$	$a'\ \{p\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ f^+\ a$	$a'\ \{p\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ o_i^+\ a$	$a'\ \{p\}b'$	$a'\ \{p\}b'$	$a'\ \{p\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ o^+\ a$	$a'\ \{m_i, o_i^+, f^+, d^+, c^+, s^+, o^+, m\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Tabela 20 – Tabela de transformação para dois objetos externamente conectados $EC(A,B)$ para Σ_1 posicionado de forma a observar $a\ m\ b$.

	$\sigma_2\ p\ b$	$\sigma_2\ m\ b$	$\sigma_2\ o^-\ b$	$\sigma_2\ s^-\ b$	$\sigma_2\ d^-\ b$	$\sigma_2\ f^-\ b$	$\sigma_2\ o_i^-\ b$	$\sigma_2\ m_i\ b$	$\sigma_2\ p_i\ b$	$\sigma_2\ s^+\ b$	$\sigma_2\ d^+\ b$	$\sigma_2\ f^+\ b$	$\sigma_2\ o_i^+\ a$	$\sigma_2\ o^+\ a$
$\sigma_2\ p\ a$	$a'\ \{o_i^+, f^+, d^+, c^+, s^+, o^+, m\} b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ m\ a$	$a'\ \{o_i^+, f^+, d^+, c^+, s^+, o^+, m\} b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ o^-\ a$	$a'\ \{o_i^+, f^+, d^+, c^+, s^+, o^+, m, m_i\} b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ s^-\ a$	$a'\ \{m_i\} b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ d^-\ a$	$a'\ \{m_i\} b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ f^-\ a$	$a'\ \{m_i\} b'$	$a'\ \{m_i\} b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ o_i^-\ a$	n.d	n.d.	$a'\ \{m_i, o_i^-, f^-\} b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ m_i\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{m_i, o_i^-, f^-\} b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ p_i\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{m_i, o_i^-, f^-\} b'$	$a'\ \{m_i, o_i^-, f^-\} b'$	$a'\ \{m_i, o_i^-, f^-, d^-, o^-, s^-\} b'$	$a'\ \{s^-, o^-, d^-, m\} b'$	$a'\ \{s^-, o^-, d^-, m\} b'$	$a'\ \{m\} b'$	$a'\ \{m\} b'$	$a'\ \{m, o^-, s^-\} b'$	$a'\ \{m, o^-, s^-\} b'$	n.d.
$\sigma_2\ s^+\ a$	$a'\ \{m\} b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ d^+\ a$	$a'\ \{m\} b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ f^+\ a$	$a'\ \{m\} b'$	$a'\ \{m\} b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ o_i^+\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{m, o^-, s^-\} b'$
$\sigma_2\ o^+\ a$	$a'\ \{o_i^+, f^+, d^+, c^+, s^+, o^+, m\} b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Tabela 21 – Tabela de transformação para dois objetos A e B onde $PO(A,B)$ para Σ_1 posicionado de forma a observar $a\ o\ b$.

	$\sigma_2\ p\ b$	$\sigma_2\ m\ b$	$\sigma_2\ o^-\ b$	$\sigma_2\ s^-\ b$	$\sigma_2\ d^-\ b$	$\sigma_2\ f^-\ b$	$\sigma_2\ o_i^-\ b$	$\sigma_2\ m_i\ b$	$\sigma_2\ p_i\ b$	$\sigma_2\ s^+\ b$	$\sigma_2\ d^+\ b$	$\sigma_2\ f^+\ b$	$\sigma_2\ o_i^+\ b$	$\sigma_2\ o^+\ b$
$\sigma_2\ p\ a$	$a'\ \{o_i^+, f^+, d^+, c^+, s^+, o^+\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ m\ a$	$a'\ \{o_i^+, f^+, d^+, c^+, s^+, o^+\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ o^-\ a$	$a'\ \{o_i^+, f^+, d^+, c^+, s^+, o^+\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ s^-\ a$	$a'\ \{o_i\}b'$	$a'\ \{o_i\}b'$	$a'\ \{o_i\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ d^-\ a$	$a'\ \{o_i\}b'$	$a'\ \{o_i\}b'$	$a'\ \{o_i^-, f^-\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ f^-\ a$	n.d.	n.d.	$a'\ \{o_i^-, f^-\}b'$	$a'\ \{o_i^-, f^-\}b'$	$a'\ \{o_i^-, f^-\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ o_i^-\ a$	n.d	n.d.	$a'\ \{o_i^-, f^-, d^-\}b'$	$a'\ \{o_i^-, f^-, d^-\}b'$	$a'\ \{o_i^-, f^-, d^-\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ m_i\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{o_i^-, f^-, d^-\}b'$	$a'\ \{o_i^-, f^-, d^-\}b'$	$a'\ \{o_i^-, f^-, d^-\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ p_i\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{o_i^-, f^-, d^-\}b'$	$a'\ \{o_i^-, f^-, d^-\}b'$	$a'\ \{o_i^-, f^-, d^-\}b'$	$a'\ \{o_i^-, f^-, d^-, s^-, o^-\}b'$	$a'\ \{o_i^-, f^-, d^-, s^-, o^-\}b'$	n.d.	$a'\ \{s^-, o^-\}b'$	$a'\ \{s^-, o^-\}b'$	$a'\ \{d^-, s^-, o^-\}b'$	n.d.
$\sigma_2\ s^+\ a$	$a'\ \{o\}b'$	$a'\ \{o\}b'$	$a'\ \{o\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ d^+\ a$	$a'\ \{o\}b'$	$a'\ \{o\}b'$	$a'\ \{o\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{o\}b'$
$\sigma_2\ f^+\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{o\}b'$	$a'\ \{o\}b'$	n.d.	n.d.	$a'\ \{o\}b'$
$\sigma_2\ o_i^+\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{o\}b'$	$a'\ \{o\}b'$	n.d.	n.d.	$a'\ \{o\}b'$
$\sigma_2\ o^+\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{o\}b'$	$a'\ \{o\}b'$	n.d.	n.d.	$a'\ \{o\}b'$

Tabela 22 – Tabela de transformação para dois objetos A e B onde $TPP(A,B)$ para Σ_1 posicionado de forma a observar $a\ s^-\ b$.

	$\sigma_2\ p\ b$	$\sigma_2\ m\ b$	$\sigma_2\ o^-\ b$	$\sigma_2\ s^-\ b$	$\sigma_2\ d^-\ b$	$\sigma_2\ f^-\ b$	$\sigma_2\ o_i^-\ b$	$\sigma_2\ m_i\ b$	$\sigma_2\ p_i\ b$	$\sigma_2\ s^+\ b$	$\sigma_2\ d^+\ b$	$\sigma_2\ f^+\ b$	$\sigma_2\ o_i^+\ b$	$\sigma_2\ o^+\ b$
$\sigma_2\ p\ a$	$a'\ \{f^-, d^+, s^-\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ m\ a$	n.d.	$a'\ \{f^-, d^+, s^-\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ o^-\ a$	n.d.	n.d.	$a'\ \{f^-, d^+, s^-\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ s^-\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{f^-\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ d^-\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{f^-\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ f^-\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{f^-\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ o_i^-\ a$	n.d	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{f^-\}b'$	$a'\ \{f^-\}b'$	$a'\ \{f^-\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ m_i\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{f^-\}b'$	$a'\ \{f^-\}b'$	$a'\ \{f^-\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ p_i\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{f^-\}b'$	$a'\ \{f^-\}b'$	$a'\ \{f^-, d^-, s^-\}b'$	$a'\ \{f^-, d^-, s^-\}b'$	$a'\ \{f^-, d^-, s^-\}b'$	n.d.	$a'\ \{s^-\}b'$	$a'\ \{s^-\}b'$	$a'\ \{s^-\}b'$	$a'\ \{s^-\}b'$
$\sigma_2\ s^+\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{s^-\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ d^+\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{s^-\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ f^+\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{s^-\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ o_i^+\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{s^-\}b'$	$a'\ \{s^-\}b'$	$a'\ \{s^-\}b'$	n.d.
$\sigma_2\ o^+\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{s^-\}b'$

Tabela 23 – Tabela de transformação para dois objetos A e B onde $NTPP(A,B)$.

	$\sigma_2\ p\ b$	$\sigma_2\ m\ b$	$\sigma_2\ o^-\ b$	$\sigma_2\ s^-\ b$	$\sigma_2\ d^-\ b$	$\sigma_2\ f^-\ b$	$\sigma_2\ o_i^-\ b$	$\sigma_2\ m_i\ b$	$\sigma_2\ p_i\ b$	$\sigma_2\ s^+\ b$	$\sigma_2\ d^+\ b$	$\sigma_2\ f^+\ b$	$\sigma_2\ o_i^+\ b$	$\sigma_2\ o^+\ b$
$\sigma_2\ p\ a$	$a'\ \{d^-\ \}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ m\ a$	n.d.	n.d.	$a'\ \{d^-\ \}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ o^-\ a$	n.d.	n.d.	$a'\ \{d^-\ \}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ s^-\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{d^-\ \}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ d^-\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{d^-\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ f^-\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{d^-\ \}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ o_i^-\ a$	n.d	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{d^-\ \}b'$	$a'\ \{d^-\ \}b'$	$a'\ \{d^-\ \}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ m_i\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{d^-\ \}b'$	$a'\ \{d^-\ \}b'$	$a'\ \{d^-\ \}b'$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ p_i\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{d^-\ \}b'$	$a'\ \{d^-\ \}b'$	$a'\ \{d^-\ \}b'$	$a'\ \{d^-\ \}b'$	$a'\ \{d^-\ \}b'$	n.d.	$a'\ \{d^-\ \}b'$	$a'\ \{d^-\ \}b'$	$a'\ \{d^-\ \}b'$	n.d.
$\sigma_2\ s^+\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{d^-\ \}b'$	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ d^+\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{\ d^-\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ f^+\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{\ d^-\}b'$	n.d.	n.d.	n.d.
$\sigma_2\ o_i^+\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{\ d^-\}b'$	$a'\ \{\ d^-\}b'$	$a'\ \{\ d^-\}b'$	n.d.
$\sigma_2\ o^+\ a$	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$a'\ \{\ s^-\}b'$

APÊNDICE B – ARTIGO SUBMETIDO

Consistency Check in a Multiple Viewpoint System for Reasoning about Occlusion

Ana Paula Martin[1], Paulo Santos, and Marjan Safi-Samghabadi[2]

[1] Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, BRA,
ana.martin@fei.edu.br
[2] Alzahra University, Tehran, Iran

Abstract. This paper presents the implementation of a qualitative spatial reasoning formalism called Interval Occlusion Calculus based on Allen's Algebra, that considers multiple viewpoints in a scene and the interpretation of the observations made from each point from the perspective of other agents. Furthermore we present a mechanism to check consistency for the information provided by the agents using a constraint satisfaction process. This formalism was tested in a 3D domain with real and simulated robot's viewpoints.

Keywords: Qualitative Spatial Reasoning, Multiple Viewpoints

1 Introduction

Recently, the use of robots has gradually increased to support human teams in performing various tasks, such as searching for and rescuing victims from disaster situations [2]. In scenarios of natural disasters, where there are victims and a large number of unknown and disordered scenes, robots are useful to reduce the human exposure to the risks that these situations offer, increase the speed of access to obstructed areas and to reach potentially inaccessible areas.

An Artificial Intelligence subfield called Qualitative Spatial Reasoning (QSR) provides representations and inference systems for spatial entities, which approximate the way humans describe and reason about space, in contrast to numerical techniques for representing distances, sizes, orientation, among others [4].

In order to reason about space, the vision is a fundamental tool in the process of acquisition of spatial information [5]. One piece of visual information that could be enhanced by reasoning is occlusion. Most previous work about occlusion assume only the viewpoint from a single agent, leaving aside issues related to reasoning about multiple viewpoints in a scene. In order to cope with this issue, [6] presents a multiple-view spatial reasoning system called Interval Occlusion Calculus (IOC), based on Allens Interval Algebra [1]. This formalism integrates several distinct points of view from which notions of object occlusion are shared by all agents present in the environment. This work assumes a 3D domain.

2 Related Work

The concept of visibility is fundamental for performing a series of tasks by both humans and robotic agents, so this concept is related to many fields of application such as robot navigation, computer graphics and telecommunications systems [5]. Many formalisms in Qualitative Space Reasoning (QSR) use vision to acquire information and to reason about occlusion. Occlusion occurs when one body intercepts another from a particular point of view.

One of the first qualitative formalisms about spatial occlusion was proposed in [7] where a set of axioms was designed to restrict occlusion relations using ternary relations. [8] proposed a calculus based on Lines of Sight, which represent the relative position between two bodies from the point of view of an observer, deriving 14 different relations. Based on this idea, [10] proposed the Region Occlusion Calculus (ROC) defining the occlusion as a mereotopological theory, deriving twenty occlusion relations known as ROC-20. The work described in [11] proposes a modal logic about binary relations representing visibility. With a different approach, [12] proposes a set of 20 occlusion relations making it explicit whether an observed object is fragmented or not, and whether it is being hidden by a moving object or the background of the scene. [14] develops a QSR approach within a 3D domain and [13] extends the calculation of region occlusion with the notion of depth.

The formalisms presented above, and most QSR work, address the issue from the point of view of a single observer. However, in general, researchers in the area of artificial intelligence agree that multi-agent systems behave more robustly and efficiently performing collaborative tasks [15]. In contrast, this paper presents a QSR theory on occlusion and multiple viewpoints defined on a relation algebra: Allen's Interval Algebra.

3 Allen's Interval Algebra

Allen's interval algebra [1] is defined by a set of 13 jointly-exhaustive and pairwise-disjoint base relations representing the possible relations between pairs of intervals taking into account their upper and lower limits. Given two intervals, x and y, the Allen interval relations are shown in Figure 1.

One of the QSR challenges is to verify whether the information provided by agents is consistent, i.e. to verify the existence of at least one scenario in which the configurations provided are possible. A scenario described by a set of Allen's relations may have its consistency verified from the algebraic closure in a constraint network. A constraint network consists of a pair (N, C), where N is a finite set of vertices composed of domain variables and C is the set of constraints that determine how the variables relate, in which case the vertices represent intervals and the constraints between nodes are Allen's relations [16].

Taking a constraint network with three vertices (i, j, k) the constraint $C(i, k)$ must be compatible with the composition of $C(i, j)$ and $C(j, k)$, so we have:

$$C(i, k) \cap (C(i, k) \circ C(k, j)) \neq 0.$$

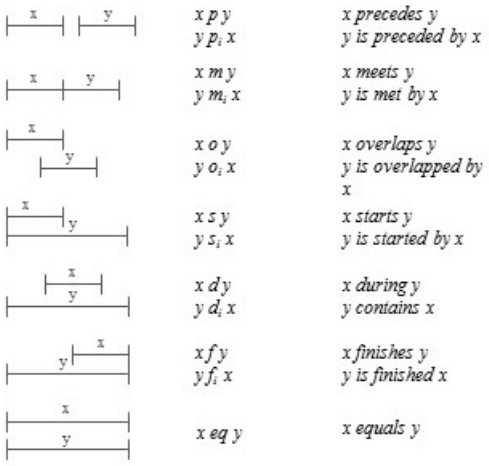


Fig. 1. Allens Relations.

If the intersection above is empty, then the network is not consistent, since there is no scenario that represents the set of relations.

Allen's interval algebra is fundamental for the formalism presented in this work. In the next section we introduce the Region Connection Calculus that will be used to classify the relations between to objects.

This work uses another formalism called Region Connection Calculus (RCC) [9] that is a QSR formalism that formalizes mereotopological relations between two regions. This formalism is based on a primitive relation $C(x, y)$ that means "x is connected to y". From this relation two objects x and y can be defined as being disconnected $DC(x, y)$, externally connected $EC(x, y)$, x partially overlaps y $PO(x, y)$, x is a tangential part of y $TPP(x, y)$, x is an interior part of y $NTPP(x, y)$ and x is equal y $EQ(x, y)$.

Together with Allen's interval algebra, RCC is used in this paper to qualify the relations between objects from a global viewpoint and this is used in the extension to a calculus of occlusion (the Interval Occlusion Calculus) proposed in this work. This calculus is introduced in the next section.

4 Interval Occlusion Calculus

In the Interval Occlusion Calculus [6] two entities are considered in the Euclidean plane: objects and observers. Objects can be identified by the 2D position of their centroids, while observers are represented by a pair $\Sigma = (x_i, v_i)$, where x_i represents the position 2D of the observer's centroid and v_i is a unit vector indicating its orientation. Objects are perceived by observers as a function $image(x, \Sigma)$ that maps the projection of the object x from the point of view Σ.

It is assumed that each observer is able to describe the relations between visible objects within their field of view and the observations made from one observer is available to the other agents by means of a message-passing procedure.

The basic relations of the Interval Occlusion Calculus (IOC) [6] can be understood as a qualitative distinction of the observation of pairs of objects, given their lines of sight, as can be seen in Figure 2, where assuming that a point of view Σ is oriented in a way that the objects A and B are in its field of view, we have that $a = image(A, \Sigma)$ and $b = image(B, \Sigma)$, where *image* is a function that maps a physical body and a viewpoint Σ to the image of this body as seem from Σ. If Σ is in the region marked by p in Figure 2, then it will see that a precedes b, but if it is in the region demarcated by m, it will find that a meets b, and so on for all regions indicated in the figure.

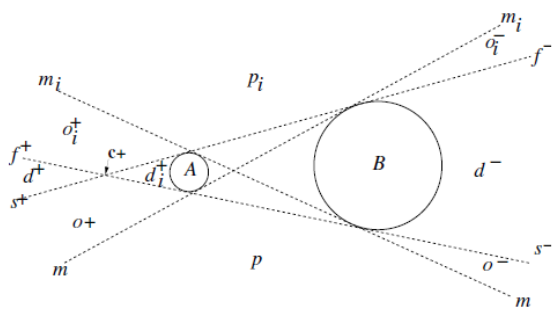


Fig. 2. The lines of sight between two objects A and B and the IOC base relations [6].

In addition to its relative position, an interval can be identified by the distance that is from the observer, and for this we will consider that we have intervals in layers. Let L be linear, a layered interval is defined by $I = (I_a, l)$, where I_a is an interval and l is the interval layer with $l \in L$.

For layered intervals we assume two functions, $ext(I)$ that maps the extension of an interval and $\ell(I)$ that maps the interval layer, where ℓ represents the proximity of the object to the observer: the closer the object is to the observer the greater is the value of ℓ. So, given two intervals I and J ($I \neq J$) and the Allen Relations (described in Section 3) we have the IOC relations as follows: $I\ p\ J : \Sigma$, read as "I precedes J from Σ if *ext(I) p ext(J)*"; $I\ m\ J : \Sigma$, read as "I meets J from Σ if *ext(I) m ext(J)*"; $I\ o^+\ J : \Sigma$, read as "I overlaps and is in front of J from Σ if *ext(I) o ext(J)* and $\ell(I) > \ell(J)$"; $I\ o^-\ J : \Sigma$, read as "I overlaps and is behind J from Σ if *ext(I) o ext(J)* and $\ell(I) < \ell(J)$"; $I\ s^+\ J : \Sigma$, read as "I starts and is in front of J from Σ if *ext(I) s ext(J)* and $\ell(I) > \ell(J)$" (resp. for $I\ s^-\ J : \Sigma$); $I\ d^+\ J : \Sigma$, read as "I is during and is in front of J from Σ if *ext(I) d ext(J)* and $\ell(I) > \ell(J)$" (resp. for $I\ d^-\ J : \Sigma$); $I\ f^+\ J : \Sigma$, read as "I finishes and is in front of J from Σ if *ext(I) f ext(J)* and $\ell(I) > \ell(J)$" (resp. for $I\ f^-\ J : \Sigma$); $I\ c^+\ J : \Sigma$, read as "I coincides with and is in front of J from

Σ if *ext(I) eq ext(J)* and $\ell(I) > \ell(J)$"; $I\ c^{-}\ J : \Sigma$, read as "I coincides with and is behind of J from Σ if *ext(I) eq ext(J)* and $\ell(I) > \ell(J)$"; $I\ eq\ J : \Sigma$, read as "I is equal J from Σ if *ext(I) eq ext(J)* and $\ell(I) = \ell(J)$".

From these relations and the diagram shown in Figure 2 it is possible to define the translation from the observations of one agent to another agent's viewpoint. This translation can be encoded by a table called IOC translation table, as described in the next section.

4.1 IOC translation table

As mentioned previously, IOC allows that the observations made for the agents in the same environment be shared among them, with that is the need of an agent be able to understand or recognize the observations made by another agent.

Let's assume Σ_1 and Σ_2 as two distinct viewpoints, and $a = image(A, \Sigma_1)$, $b = image(B, \Sigma_1)$, $\sigma_2 = image(\Sigma_2, \Sigma_1)$, $a' = image(A, \Sigma_2)$, $b' = image(B, \Sigma_2)$, $\sigma_1 = image(\Sigma_1, \Sigma_2)$. The translation table is a function with three arguments $R_i(a, b)$, $R_j(a, \sigma_2)$, $R_k(b, \sigma_2)$ and returns the set of possible relations observed from Σ_2, that is $a'\ R\ b'$, given a, b, and σ_2.

In order to build the translation table, we consider every location of an observer Σ_1 around a pair of objects A and B, given that Σ_1 also views the observer Σ_2. The table is built by considering exhaustively all the possible locations of Σ_2, excluding those that are inconsistent with Σ_1 observations.

Assuming that Σ_1 is located in the region where it can observe $a\ p\ b$, as shown in Figure 3, considering the lines of sight between Σ_1, A and B we have five regions: 1, 2, 3 and the two red-dashed regions.

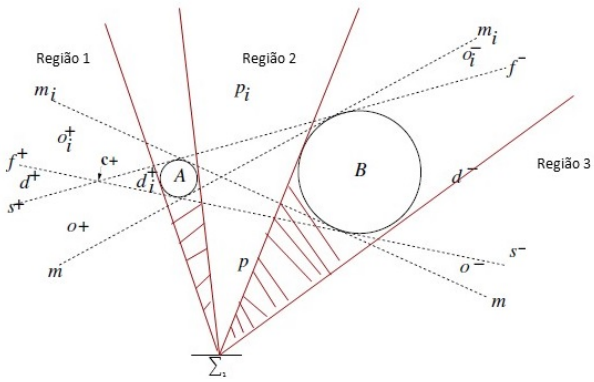


Fig. 3. Example of how to build a translation table [6].

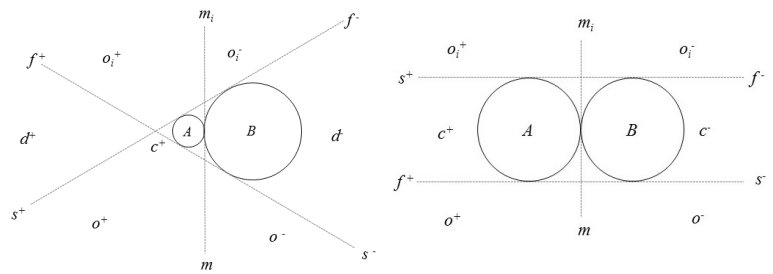
So, for instance if Σ_2 is in the region 1 in Figure 3, then $\Sigma_1$observes $a\ p\ b$, $\sigma_2\ \{p, m, o^{+}\}\ a$ and $\sigma_2\ p\ b$ then Σ_2 can observe the set of relations a'

$\{p, m, o^+, s^+, f^+, c^+, d_i^+, d^+, o_i^+, m_i, p_i\}\ b'$. The information between brackets represent a disjunction of relations that could possibly hold between the pair of objects outside the brackets.

In [6] is presented the IOC for two disconnected objects, in this paper we propose a mechanism to generalize the IOC translation table, so that it can identify regions and build the translation table for any arrangement between two convex objects.

5 Extending the IOC translation table

From the Region Connection Calculus relations on connectivity, in this work we define the lines-of-sight to build the IOC translation table for any arrangement between two objects. For an arrangement where two objects (A and B) are externally connected $EC(A, B)$, we have the lines-of-sight represented in Figure 4. In this figure we have the representation of two objects with different (Figure 4(a)) and the same size (Figure 4(b)).



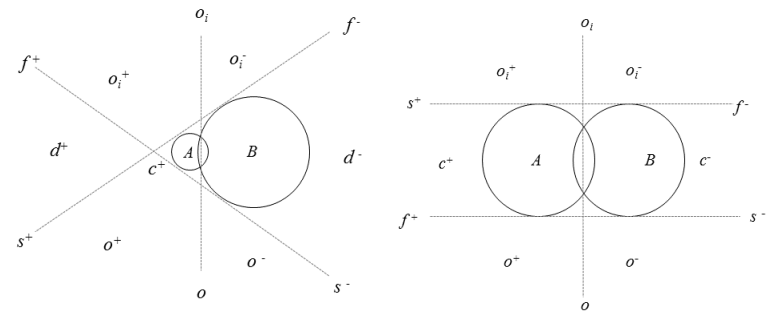
(a) Two objects with different size (b) Two objects with the same size

Fig. 4. Lines-of-sight between objects A and B and the IOC relations for $EC(A, B)$.

For the arrangement where an object A partially overlaps B, we have the lines-of-sight shown in Figure 5.

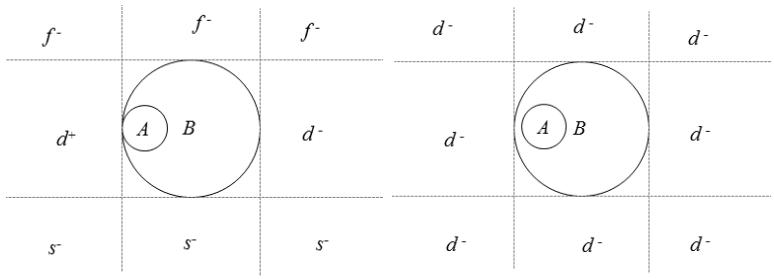
Finally, we have the arrangement where an object A is proper part of B. For this situation we have qualitative regions defined with the possible observations made around these objects (Figure 6).

With these qualitative maps it is possible to build the IOC translation table for any arrangement between two simple objects. In this way, robotics agents can be able to reasoning about space and share their observations so that one agent is able to understand the information obtained by another agent, although they have different perspectives. The next section shows how the IOC was tested in simulated and real environments.



(a) Two objects with different size (b) Two objects with the same size

Fig. 5. Lines-of-sight between objects A and B and the IOC relations for $PO(A, B)$.



(a) A is tangential part of B (b) A is interior part of B

Fig. 6. Qualitative regions for object A and B and the IOC relations for $PP(A, B)$.

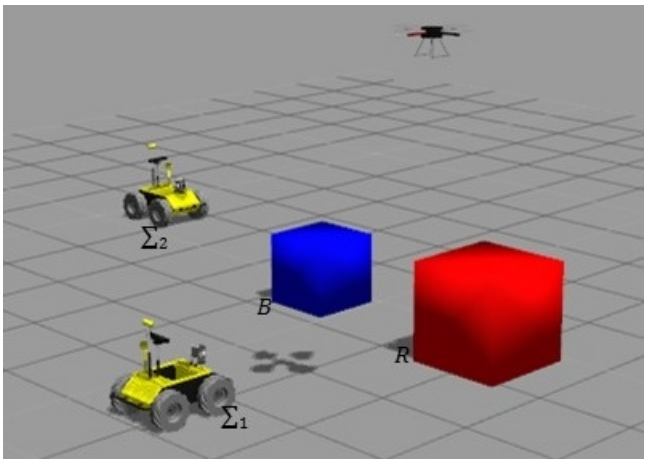
6 Tests and Results

With the definitions of the previous sections we developed a solution to implement IOC in simulated and real robots with the aim to verify if the theory presented in this work can be applied in a real situation. Figure 7 shows the functions that each agent must execute to use IOC for reasoning about spatial information.

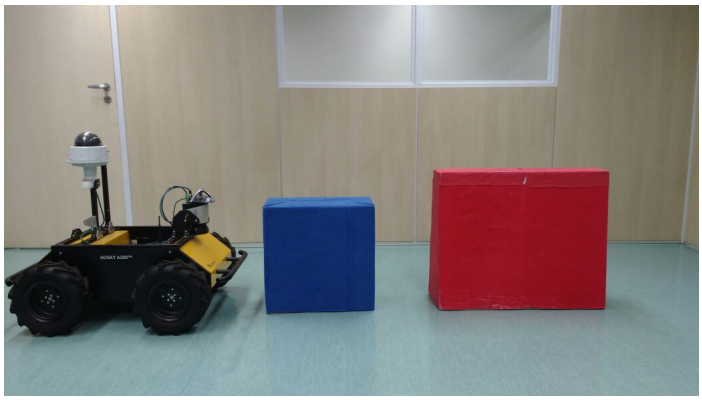
Fig. 7. Flowchart of the algorithms to apply the IOC.

The first step is to identify the objects and observers in a scene and define the intervals for each object, for this a color code was adopted, so that each color represents an object, and it is assumed that there is just a single object for each color. So, since the intervals are defined, the IOC relations between these intervals are identified. Using this information we are able to build the IOC translation

table for a scene. With the IOC translation table and the observations made by the agents, check the consistency of the information provided is verified. The flowchart in Figure 7 is executed for each agent in a scene.



(a) Simulated environment



(b) Real environment

Fig. 8. Scenario for two objects B and R where $DC(B, R)$.

Figure 8(a) shows a scene with two disconnected objects, a blue (B) and a red (R) block, and two observers Σ_1 and Σ_2. For this case Σ_1 observes σ_2 p B, σ_2 p R and B p R, as we can see in the first column of Table 1, so from Figure 3 we know that Σ_2 is in the region 1, with that, Σ_2 can observe B { p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i} R which are the transformed relations and in Table 1 are indicated in the second column. By a message-passing procedure we obtain that Σ_2 is observing B o_i^+ R, that is in the third column of Table 1, being o_i^+ $\cap$ { p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i} $\neq 0$, so the information provided

are consistent as we can see in Table 1 last column, that indicate whether the information obtained by each agent are consistent.

Table 1. Results of IOC for Figure 8(a).

Vision from Σ_1	**Transformed Relations**	**Vision from Σ_2**	**Consistency**
$\sigma_2\ p\ B$,$\sigma_2\ p\ R$, $B\ p_i\ \sigma_2$, $B\ p\ R$, $R\ p_i\ \sigma_2$, $R\ p_i\ B$	$B\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\}\ R$	$R\ o^-\ B$, $B\ o_i^+\ R$	True

This test was applied in many other situations changing the positions of Σ_1 and Σ_2. In all cases tested we had that the observations made by the agents were consistent.

However, when applied the same solution to a real environment, due the difference of illumination and sensor noise, the agents could provide incorrect information. Figure 8(b), shows the scene where IOC was tested on a real environment. Σ_1 is in the bottom of the image, not visible. In this case, by Σ_1 we obtained the same relations as the simulated environment $\sigma_2\ p\ B$, $\sigma_2\ p\ R$, $B\ p\ R$, and in consequence we have the same transformed relations, but because of reflection Σ_2 provided an incorrect layer for the intervals, so we obtained from this point of view $B\ o_i^-\ R$ and being $o_i^+ \cap \{\ p,\ m,\ o^+,\ s^+,\ c^+,\ d_i^+,\ d^+,\ f^+,\ o_i^+,\ m_i,\ p_i\}$ empty, this information are not consistent as shown in Table 2.

Table 2. Result of IOC for the Fig 8(b).

Vision from Σ_1	**Transformed Relations**	**Vision from Σ_2**	**Consistency**
$\sigma_2\ p\ B$,$\sigma_2\ p\ R$, $B\ p_i\ \sigma_2$, $B\ p\ R$, $R\ p_i\ \sigma_2$, $R\ p_i\ B$	$B\ \{\ p, m, o^+, s^+, c^+, d_i^+, d^+, f^+, o_i^+, m_i, p_i\}\ R$	$R\ o^+\ B$, $B\ o_i^-\ R$	False

So the Interval Occlusion Calculus was successfully applied in situations where one of the agents provided a wrong information, since the system could detect the inconsistency.

From this initial configuration we change the two agents position Σ_1 and Σ_2 between all regions for this configurations, and did the same process for others arrangements ($EC(A,B)$, $PO(A,B)$, $PP(A,B)$) and in every case that some agent provided some incorrect information this solution identified the inconsistency.

7 Conclusion

This paper presented the first implementation of Interval Occlusion Calculus (IOC), a calculus based on occlusion and multiple viewpoints. In this work we extended the IOC to be applied for any configurations between two objects

and implemented this calculus in an environment with multiple agents. In this environment, the agents were set to share their observations among themselves so that each agent was able to interpret the information provided by the other agents, and check the consistency of this information.

Future work shall consider the development of a more robust algorithm to identify objects and the related intervals. It is also our interest to apply IOC in a dynamic scenario.

References

1. Allen, J. F.: Maintaining knowledge about temporal intervals. Commun. ACM, 26(11):832843, November 1983.
2. Karacapidilis, N. I., Papadias, D., EGENHOFER, M. J.: Collaborative spatial decision making with qualitative constraints. In: ACM-GIS. [S.l.: s.n.], 1995. p. 5359.
3. Doherty, P., Heintz, F., Landn, D.: A delegation-based architecture for collaborative robotics. In: Agent-Oriented Softwar Engineering XI. [S.l.]: Springer, 2010.
4. Cohn, A. G.; Renz, J.: Chapter 13 Qualitative Spatial Representation and Reasoning. Handbook of Knowledge Representation, v. 3, p. 551596, 2008.
5. Tarquini, F., Felice, G., Fogliaroni, P., Clementini, E.: A qualitative model for visibility relations. In: KI 2007: Advances in Articial Intelligence. [S.l.]: Springer, 2007.
6. Santos, P. E., Ligozat, G., Safi-Samghabad, M.: An occlusion calculus based on an interval algebra. In: Proceedings-2015 Brazilian Conference on Intelligent Systems, BRACIS 2015, n. November, p. 128133, 2016.
7. Petrov, A., Kuzmin, L.: Visual space geometry derived from occlusion axioms. In: Journal of Mathematical Imaging and Vision, Springer, v. 6, n. 2-3, p. 291308, 1996
8. Galton, A.: Lines of sight. In: AISB Workshop on Spatial and Spatio-Temporal Reasoning. [S.l.: s.n.], 1994.
9. D. A. Randell, Z. Cui, and A. G. Cohn, "A spatial logic based on regions and connection," in *Proc. of KR*, 1992.
10. Randell, D., Witkowski, M., Shanahan, M.: From images to bodies: Modelling and exploiting spatial occlusion and motion parallax. In: IJCAI International Joint Conference on Articial Intelligence, p. 5763, 2001. ISSN 10450823.
11. Villemaire, R., Hall, S.: Reasoning about visibility. In: Journal of Applied Logic, Elsevier, v. 10, n. 2, p. 163178, 2012.
12. Guha, P., Mukerjee A., Venkatesh, K. S.: Ocs-14: You can get occluded in fourteen ways. In: Proceedings of the Twenty-Second International Joint Conference on Artificial Intelligence - Volume Two, IJCAI-11, pages 16651670. AAAI Press, 2011.
13. Sabharwal, C. L.: A complete classication of occlusion observers point of view for 3d qualitative spatial reasoning. In: The proceedings of 21st International Conference on Distributed Multimedia Systems,and Journal of Visual Languages and Sentient Systems, v. 1, p. 94100, 2015.
14. Tassoni,S., Fogliaroni, P., Bhatt,M., Felice, G. D.: Toward a qualitative 3d visibility model. In: 25th International Workshop on Qualitative Reasoning, co-located with the IJCAI-11 Conference, Barcelona, Spain, 2011.
15. Arai, T., Pagello, E., Parker, L. E.: Conceptual neighborhood and its role in temporal and spatial reasoning. Decision Support Systems and Qualitative Reasoning, p. 181187, 1991.
16. Ligozat, G.: Qualitative Spatial and Temporal reasoning. J.Wiley & Sons, 2013.