

A Multiagent System for Urban Traffic Control

Antonio de Abreu Batista Júnior
 Núcleo de Tecnologia da Informação
 Universidade Federal do Maranhão
 São Luís, Maranhão, Brasil
 junior2004@pop.com.br

Luciano Reis Coutinho
 Departamento de Informática
 Universidade Federal do Maranhão
 São Luís, Maranhão, Brasil
 lrc@deinf.ufma.br

Abstract—In this paper we propose a multiagent system (MAS) – designed as a social organization – to operate in the control of successive signals along a section of an avenue that combines green wave and adaptive control in a dynamic way. The members of this organization represent traffic agents that communicate among themselves via a specific purpose interaction protocol. On the one hand, the coordination of successive signals is achieved dynamically through standardized communication between organizational roles. On the other hand, the adaptive control is achieved by the independent and autonomous actions of the agents that make up the organization. We test our approach in simulation. The results show that our approach result in good performance, achieving both local control at the intersections as well as coordination of successive intersections.

Index Terms—multiagent coordination, intelligent traffic control, traffic simulation, social organization.

I. INTRODUÇÃO

O problema do congestionamento é uma questão séria na vida urbana causando transtornos sociais tais como atrasos, perdas econômicas e poluição ambiental [1]. Há muitos aspectos técnicos e sociais com relação a mobilidade que afetam o trânsito e necessitam de melhoras, um deles é como os semáforos regulam os fluxos de veículos nas interseções. Com relação a esse aspecto, uma abordagem usada é o controle adaptativo, onde se busca otimizar o desempenho de cada semáforo de uma forma isolada. Todavia, a suposição de interseção isolada simplifica o problema de otimização da rede viária por não considerar os conflitos que surgem entre interseções adjacentes. Uma outra abordagem empregada é a sincronização de sucessivos sinais para alcançar a chamada onda verde. No entanto, a onda verde tem seus benefícios reduzidos justamente por não exibir o controle adaptativo.

Neste artigo, nós propomos um sistema multiagente (SMA) – concebido como uma organização social – para operar no controle de sucessivos sinais ao longo de uma seção de uma avenida que combina onda verde e controle adaptativo de uma forma dinâmica. Os membros dessa organização representam agentes de trânsito que se comunicam entre si por meio de um protocolo de uso específico. Por um lado, a coordenação de sucessivos sinais é alcançada dinamicamente através da comunicação padronizada entre papéis organizacionais. Por outro lado, o controle adaptativo é alcançado pelas ações autônomas e independente dos agentes que compõem a organização.

Este trabalho é inspirado na atuação dos agentes humanos

no controle do tráfego urbano. A imitação do comportamento autônomo dos agentes e da ação conjunta deles em uma organização social são as bases para este trabalho.

Este artigo está organizado como segue. Na seção II nós apresentamos alguns trabalhos relacionados. Na seção III, nós propomos uma nova arquitetura multiagente para o controle do tráfego urbano que imita uma organização social. A seguir, na seção IV discutimos os detalhes de implementação e os resultados de simulação. Finalmente, na seção V concluímos o artigo e apontamos as direções das pesquisas futuras.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Em [1] é proposta uma abordagem baseada em agentes, onde cada interseção é controlada por um agente auto interessado operando com uma visão limitada da chegada de veículos. A questão central dessa abordagem é uma representação agregada dos fluxos de tráfego como padrões agregados críticos de filas e pelotões antecipados. Esses padrões agregados fornecem a base para políticas de controle de sinais em tempo real que incorpora uma visão antecipada do fluxo de veículos. Os autores projetaram duas políticas baseadas em pelotões com o objetivo de decidir se estende ou não a fase através de períodos ociosos sem tráfego, a fim de servir tráfego futuro, com o objetivo de promover coordenação indireta entre sucessivos sinais e o estabelecimento de ondas verdes.

Em [2] é apresentada uma abordagem onde cada semáforo se comporta como um inseto social, tendo planos coordenados de sinais como tarefas a serem executadas. O modelo utiliza um mecanismo de comunicação restrita e grupos coordenados são formados de uma maneira dinâmica. A abordagem pretende combinar as vantagens da descentralização, via *swarm intelligence* e a formação dinâmica de grupos. A principal vantagem desta abordagem é a adaptação às mudanças no tráfego. As mudanças são percebidas e os agentes reagem a essas mudanças de forma rápida e independente, sem qualquer organização hierárquica.

Em [3] é descrito uma abordagem onde cada semáforo é modelado como um agente. Cada um possui planos pré-definidos para sincronização/coordenação com agentes adjacentes em diferentes direções de acordo com a situação do tráfego. Essa abordagem utiliza técnicas de teoria dos jogos evolucionária, tendo como principais benefícios: os agentes podem criar subgrupos de sincronização para melhor

atender as necessidades do fluxo em alguma direção, não há necessidade de um controle central e não há comunicação nem negociação direta entre os agentes.

In [4] é considerado uma abordagem que mistura redes neurais, aprendizagem por reforço e lógica *fuzzy* para aprender em tempo real os comportamentos dos sinais de trânsito. Porém a parte que interessa a esse trabalho é a maneira como o problema da coordenação entre sinais adjacentes foi modelada. A coordenação é feita usando agentes de controle e o conceito de teoria dos jogos. Um algoritmo foi projetado para resolver o problema da coordenação diretamente, sem que nenhuma negociação acontecesse.

Em [5] é proposto um framework multiagente para o controle de sinais que combina coordenação indireta e direta. A reação a fluxo de tráfego dinâmico é atendido pela coordenação indireta e a formação de onda verde é atendida pela coordenação direta. Em fluxo de tráfego diário normal, cada agente opera no modo de coordenação indireta. Porém, quando o fluxo de tráfego colapsa próximo a certos agentes, os agentes mudam seu modo de coordenação para o modo de coordenação direta para formar um grupo organizado que crie onda verde.

Em [6] é desenvolvido um modelo de fluxo de tráfego, composto pelos seguintes elementos: estradas, cruzamentos, semáforos e volumes de veículos. Para garantir os resultados esperados, um algoritmo de formigas foi aplicado no qual os veículos em movimento nas estradas do modelo deixam feromônio dependendo de quanto tempo eles iriam esperar para atravessar um cruzamento particular. Para estradas congestionadas com sequências de semáforos mal coordenados, um nível adequado de feromônio depositado incentivaria o tráfego a ser direcionado em uma direção apropriada. Esta relação entre o tempo de espera e a concentração de feromônio também funcionaria como um sinal para iniciar mudanças em sequências de semáforos nas interseções de modo que os veículos poderiam sair mais rapidamente da área congestionada.

Os trabalhos citados são muito atrativos e apresentam bons resultados, porém as vantagens de se combinar o controle adaptativo e a sincronização de sucessivos sinais ainda não foi completamente explorado. Nós acreditamos que podemos conseguir resultados ainda melhores. Neste artigo nós propomos um sistema multiagente para o controle do tráfego urbano que explora essas características. O sistema é capaz de sincronizar sucessivos sinais de uma forma dinâmica e localmente exibir controle adaptativo.

III. UMA ARQUITETURA ORGANIZACIONAL PARA O CONTROLE DO TRÁFEGO URBANO

A Fig. 1 mostra uma visão geral da arquitetura. Aqui, a camada organizacional estabelece um conjunto de restrições que moldam ou restringem a atividade conjunta dentro da organização tendo em vista o propósito de combinar onda verde e controle adaptativo sobre a via arterial. A segunda camada é a camada sobre a qual a organização de agentes executa. Essa camada fornece toda infraestrutura necessária

para implementação distribuída dos agentes. A terceira camada é a camada sobre a qual os agentes operam. O ambiente é suposto ser o ambiente real, porém para propósito de teste, como descrito neste trabalho, o ambiente pode ser um simulador de tráfego.

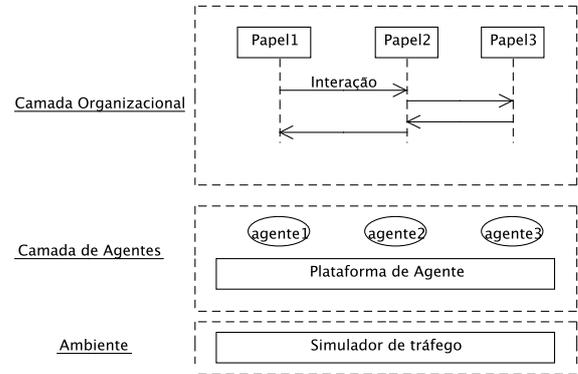


Fig. 1. Visão geral da Arquitetura em Camadas.

A seguir definimos um agente de trânsito desta organização social.

A. Agente de Trânsito BDI

São entidades de software que estão situadas em um ambiente dinâmico, que recebem continuamente informações sobre ele e tomam ações para modificá-lo, tudo baseado em seu estado mental interno. Crenças, Desejos e Intenções são as três atitudes mentais e elas capturam os componentes informacionais, motivacionais, e de decisões do agente, respectivamente.

1) *Crenças*: As crenças C de um agente j são usadas para determinar que pré-condições de planos da biblioteca de planos do agente são satisfeitas. Por meio de sensores distribuídos sobre as pistas e da interação com outros agentes adjacentes, o agente j captura uma coleção de informações, sobre o cruzamento j que ele controla, criando um mundo virtual que ele acredita existir e sobre o qual gera desejos. Na tabela I essas crenças são apresentadas.

TABLE I
MUNDO VIRTUAL CRIADO PELO AGENTE J.

Base de Crenças do Agente j
Plano semafórico i em uso no cruzamento j (PS_j^i)
Grau de saturação do link crítico de cada fase i do cruzamento j (Sat_j^i)
Número de carros na fila n

Onde o grau de saturação de um link crítico é dado pela fórmula,

$$Sat_j^i = \frac{VecIn}{VecOut} \quad (1)$$

Sendo que $VecIn$ é o número de veículos que deseja atravessar a área de retenção do cruzamento j e $VecOut$

é o número de veículos que pode atravessar, ambos medidos em um certa quantidade de ciclos.

Em termos práticos, o grau de saturação de um link reflete seu nível de carregamento. Por exemplo, se o grau de saturação de um link é igual a 50% ($Sat_j^i = 0.5$), significa que poderia passar duas vezes o número de veículos durante o tempo de verde adotado. Um outro exemplo, se o grau de saturação de um link é igual a 150% ($Sat_j^i = 1.5$), isto significa que dois terços dos veículos cruzariam a área de retenção durante o tempo de verde adotado enquanto um terço seria retido para o próximo período.

2) *Desejos*: Os desejos de um agente são as pós-condições de planos da biblioteca de planos do agente. Os desejos de um agente j são um conjunto de pares $\langle d, Cond_{d_j} \rangle$ tal que, d é um desejo e $Cond_{d_j}$ é uma atribuição a uma proposição p . A interpretação é que j acredita que o desejo d é satisfeito se $Cond_{d_j}$ é satisfeita com relação a C_j . A TABLE II mostra o modelo de objetivos do agente j fictício. O agente controla um cruzamento com duas fases $i = \{1, 2\}$. Ele pode acionar 5 planos semafóricos. Ao perceber o modelo do mundo, o agente decidirá se aciona um plano semafórico ou mantém o atual.

TABLE II
MODELO DE OBJETIVOS DO AGENTE j .

d	$Cond_{d_j}$
PS_j^1	$PS_j^2 \wedge Sat_j^1 < 1.0 \wedge Sat_j^2 < 1.0$
PS_j^2	$(\forall PS_j^i \neq PS_j^2) \wedge Sat_j^1 > 1.5 \wedge Sat_j^2 < 1.0$
PS_j^3	$(\forall PS_j^i \neq PS_j^3) \wedge Sat_j^1 > 1.5 \wedge Sat_j^2 > 1.5$
PS_j^4	$(\forall PS_j^i \neq PS_j^4) \wedge Sat_j^1 < 1.0 \wedge Sat_j^2 > 1.5$
PS_j^5	$PS_j^4 \wedge Sat_j^1 < 1.0 \wedge Sat_j^2 < 1.5$

3) *Intenções*: As intenções de um agente representam os desejos $\langle d, Cond_{d_j} \rangle$ que ele se compromete a alcançar. Esse comprometimento, do agente com um objetivo, se dá por dois motivos:

- Ou porque ele faz parte de uma sociedade, e assim, ele resolve atender um pedido de outro agente para alcançar um objetivo em prol do funcionamento coerente da comunidade; ou
- Porque após a análise do seu modelo de mundo atual, ele deseja algo diferente. Ele acredita que a execução de um determinado plano pode levar ao modelo de mundo pretendido.

A seguir é definido o protocolo de interação usado pelos agentes de trânsito. Ele foi criado com o propósito de direcionar as ações dos agentes para criar ondas verdes dinamicamente, sobre a artéria na direção de fluxo mais carregado. Porém mantendo as preocupações locais de cada agente, tais como, não deixar criar filas em nenhuma das pistas dos cruzamentos que eles controlam.

B. Protocolo de Onda Verde Adaptativa (POVA)

Este protocolo usa a linguagem de comunicação KQML [7] usada pelo interpretador Jason. Sua semântica é baseada na teoria dos atos da fala definida em [8], onde as mensagens estão associadas a atos performativos que representam a vontade do agente sobre a informação contida na mensagem. A seguir é listado os atos performativos usados neste protocolo, r é o emissor da mensagem e s o receptor:

- *askOne* é usado quando um agente r quer saber se o conteúdo da mensagem é verdadeiro para um outro agente s ;
- *tell* é usado quando um agente r quer que um agente s acredite que ele acredita que o conteúdo da mensagem é verdadeiro;
- *achieve* é usado quando um agente r quer que o agente s tente e alcance um estado de coisas onde a literal no conteúdo da mensagem é verdadeira.

Nas próximas seções definimos a parte estática e dinâmica do protocolo.

1) *Estrutura Estática*: Neste artigo, os agentes de trânsito são vistos como membros de uma organização social. O modelo MOISE+ [9], na Fig. 3, é usado para a especificação estrutural da organização. Nesta especificação, os *Ag Trânsitos* são responsáveis por controlar a sequência de semáforos ao longo da artéria. São definidos três papéis, *Ag Externo*, *Ag Meio*, *Ag Base*. Os *Ag Externos* comandam os *Ag Meios* e controlam as interseções das extremidades. Um *Ag Base* é o *Ag Externo* que comanda a organização em um determinado momento. Um *Ag Externo* é um *Ag Base* se ele possui um objeto indicador que indica que ele é o *Ag Base*. Os *Ag Meios* são responsáveis por controlarem as interseções intermediárias e colaborarem com os *Ag Externos*.

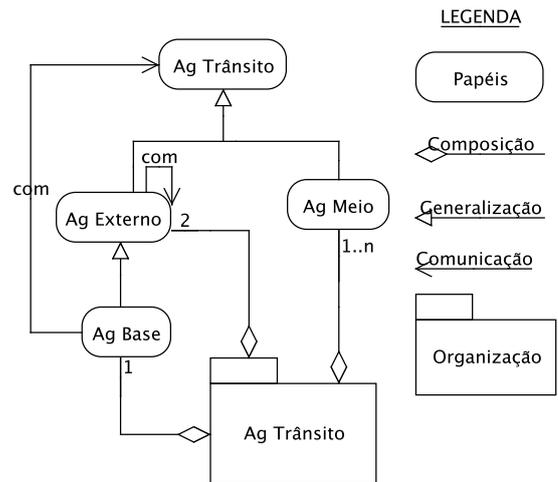


Fig. 2. Estrutura organizacional do SMA, em MOISE+.

2) *Estrutura Dinâmica*: Nesta seção descrevemos a dinâmica de funcionamento da organização de agentes. Por

meio de diagramas AUML [10], são ilustradas as seqüências de mensagens trocadas entre os papéis e os tipos de mensagens que podem ser enviadas e recebidas por cada papel.

O protocolo prevê três situações - (1) que agente inicia o protocolo, (2) o que um agente base sem o objeto de negociação deve fazer para obtê-lo e, (3) de posse do objeto de negociação, o que deve fazer o agente base quando a situação do trânsito mudar.

Iniciando o protocolo: No diagrama AUML da Fig. 3 são ilustradas as seqüências e as mensagens trocadas para iniciar o protocolo. Após o término da inicialização do sistema, qualquer *Ag Externo* pode iniciar o protocolo. Um *Ag Externo*, ao receber uma mensagem de inicialização deve responder, indicando que ele tomou conhecimento e que ele sabe a quem requisitar o objeto indicador. O *Ag Externo* que iniciou o sistema, após receber a mensagem de resposta, deve informar aos *Ag Meios* que ele é o *Ag Base*. Em seguida, ele deve informá-los o objetivo que eles devem alcançar *achieve(objetivo)*.

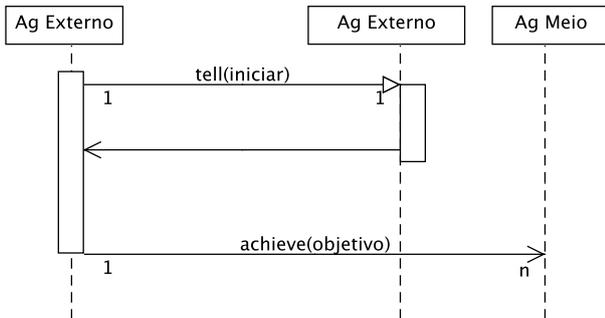


Fig. 3. Inicialização do protocolo.

Adquirindo o objeto de negociação: A Fig. 4 ilustra a troca de mensagens entre os papéis para adquirir o direito de ser um *Ag Base* o objeto indicador. Sobre a artéria, somente um *Ag Base* possuirá o direito de controlar o sentido da onda verde, sendo este o responsável pela decisão da liberação do direito a outro *Ag Externo*. No entanto, assim que um *Ag Externo* analisa as condições de sua via e verifica que necessita do direito de controlar o sentido da onda verde, ele realiza um pedido do objeto ao *Ag Base* que o possui. Assim que um *Ag Base* recebe um pedido do objeto, ele analisa as condições de sua via e decide, através da análise de suas crenças e objetivos, por passar ou não o objeto de negociação. Caso resolva não passar o objeto, o *Ag Externo* aguarda alguns segundos e tenta novamente. Desta forma o objeto indicador passa de *Ag Externo* para outro alternando o sentido da onda verde de acordo com o sentido mais carregado da via arterial.

No diagrama também é mostrado que de posse do objeto indicador o *Ag Base* requisita aos *Ag Meios* para alcançar um objetivo. Um desejo d (plano semafórico) e uma condição $Cond_{d_j}$ (situação do trânsito que deve ser mantida para utilização do plano semafórico) são passados para os *Ag*

Meios. O alinhamento dos planos sobre a artéria se dá quando cada *Ag* de trânsito individualmente alcança seus objetivos (planos), uma vez que a defasagem entre os planos foi previamente configurada.

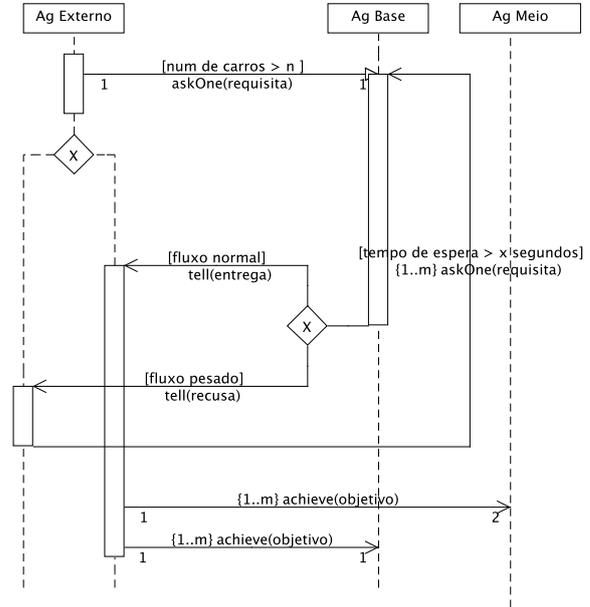


Fig. 4. Adquirindo o objeto de negociação.

Mudando os objetivos: O diagrama AUML da Fig. 5 ilustra a situação em que a atualização de crenças leva a novos objetivos. O *Ag Base* de posse do objeto pode mudar o seu objetivo e reenviar um novo objetivo aos *Ag Meios*.

O controle Adaptativo é alcançado através da autonomia dos agentes à medida que eles devem manter um estado de coisas apropriado (situação do trânsito que deve ser mantida para utilização do plano semafórico perseguido). De um modo geral, os *Ag* de trânsitos mantêm o desejo de implementar o plano semafórico alvo e, para satisfazer suas vontades, modifica as condições do ambiente para que as pré-condições do plano alvo sejam satisfeitas para que possam adotá-lo. Após implementada a sua vontade, eles observam continuamente as pós-condições do plano alvo de modo a tomar ações para corrigi-lo, caso ele não esteja de acordo com suas crenças.

IV. IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

Nesta seção, nós discutimos a implementação e testes para validação do modelo.

A. Construção do Ambiente de Simulação

A Fig. 6 mostra uma visão geral do ambiente de simulação. O interpretador Jason [11] é usado para criar os agentes. O simulador de tráfego SUMO (Simulation of Urban Mobility) [12] torna-se o ambiente onde os agentes atuam. O Jason é integrado ao SUMO por meio da XTraci API¹.

¹<http://www.cs.cmu.edu/~xfxie/download/xtraci1.0.tar.gz>

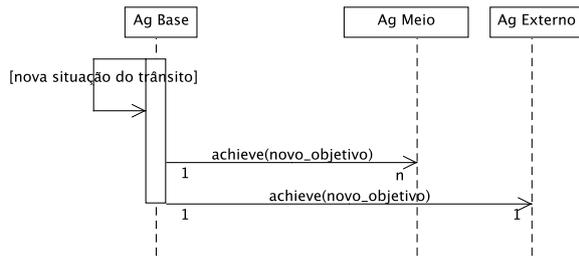


Fig. 5. Informando novos objetivos.

Cada agente pode perceber e modificar a condição atual do tráfego no cruzamento sob sua responsabilidade. Quando um agente decide adotar um plano semafórico, um processo é executado para modificar o plano semafórico atual, no ambiente do simulador, para refletir a vontade do agente. Da mesma forma, a percepção dos agentes é obtida através de sensores espalhados pelo ambiente do simulador.



Fig. 6. Integrando Jason ao SUMO.

B. Cenário de Simulação

O experimento acontece sobre o cenário simples abstrato da Fig. 7 e, tem dois objetivos:

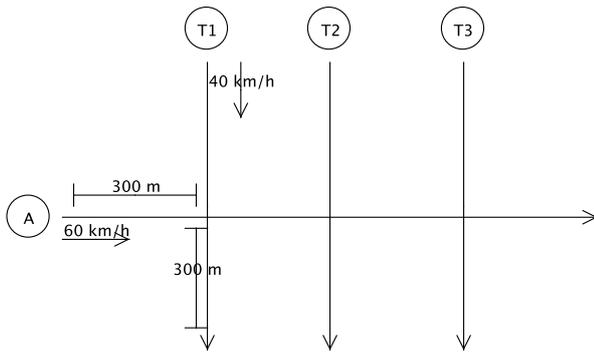


Fig. 7. Arterial network.

- 1) Medir a capacidade de adaptabilidade em tempo real dos agentes ao enfrentar problemas locais; e
- 2) Medir a habilidade dos agentes de se auto organizarem criando onda verde, em um sentido programado, à medida que as condições em seus cruzamentos forem jogadas adequadas por eles.

Cada agente foi equipado com um conjunto de planos previamente configurados e, apresentados na TABLE III.

TABLE III
PLANOS DOS AGENTES.

Planos	Cíclo	Fase1	Fase2	Objetivo
plan 1	80	50	30	servir rapidamente
plan 2	120	80	40	Aumentar atendimento
plan 3	120	30	90	priorizar fase2

A velocidade máxima permitida na via arterial (A) é de 60 km/h e nas transversais (T_i) é de 40 km/h . Todos os segmentos de pista têm o mesmo comprimento $L=300 \text{ m}$. A fim de medir os objetivos 1 e 2, foram reproduzidas situações de tráfego onde essas propriedades pudessem ser avaliadas. Nós simulamos tráfego aleatório de um único tipo de veículo. Os veículos partem das fontes P1, T 1, T 2 e T 3 de acordo com um processo de Poisson aproximado aqui por uma distribuição binomial.

Resultados e Discussões: A Fig. IV simula uma possível situação de fluxo intenso nas transversais $T2=3/16$ e $T3=4/16$, nos primeiros 20 minutos da simulação e, de fluxo normal nos 40 minutos finais. Em contrapartida, na artéria, há um aumento gradual do fluxo de veículos ao longo de uma hora. Nos últimos 20 minutos, o fluxo é intenso sobre ela. Com o propósito de medir o objetivo 1 o parâmetro TD_{T_i}

TABLE IV

NÚMERO DE VEÍCULOS/PERÍODO DE TEMPO GERADO EM CADA FONTE.

Cenário 1	T1	T2	T3	P4
1-20 min	1/30	3/16	3/16	1/30
21-40 min	1/30	1/30	1/30	4/16
41-60 min	1/30	1/30	1/30	1/16

foi usado para medir a adaptabilidade. O TD_{T_i} representa o atraso experienciado pelos veículos nas transversais T_i . O cenário 1 é usado para verificar esse objetivo.

A TABLE V mostra o resultado das medições. A diferença do atraso medido, TD_{T_i} , entre um agente capaz de perceber e adaptar-se às variações de fluxo nas transversais e uma estratégia de plano fixo foi bastante expressiva e, mostra o ganho obtido quando controlado por um agente. Cada agente individualmente é capaz de decidir o plano correto de acordo com a situação percebida no seu cruzamento.

TABLE V

O ATRASO EXPERIENCIADO PELOS VEÍCULOS NAS TRANSVERSAIS

Forma de controle	TD_{T_1}	TD_{T_2}	TD_{T_3}	$\sum_{i=1}^3 TD_{T_i}$
Plano fixo	50,8	6028,9	6425,3	12505,0
Agente	41,8	458,5	315,2	815,5

A Tab. VI reproduz uma situação de fluxo intenso em T2 nos primeiros 20 minutos da simulação. Nos próximos 20 minutos T3 exibe fluxo intenso, enquanto a situação em T2 se normaliza. Nos últimos 20 minutos o fluxo é normal em T2 e T3. Por outro lado, na artéria, há uma diminuição gradual do fluxo de veículos.

Com o propósito de medir a habilidade do SMA de criar onda verde sobre a artéria, o parâmetro TD_{A_i} foi medido. O

TABLE VI
QUANTIDADE DE VEÍCULOS/SEGUNDO PARTINDO DAS FONTES
GERADORAS.

Cenário 2	T1	T2	T3	P4
1-20 min	1/30	3/16	1/16	2/16
21-40 min	1/30	1/30	3/16	2/16
41-60 min	1/30	1/30	1/30	1/16

TD_{A_i} representa o atraso experienciado pelos veículos sobre o segmento i da artéria.

Na TABLE VII é mostrado os resultados de simulação do cenário 2. Os resultados mostram que nos primeiros 20 minutos da simulação há uma sobrecarga $T2 = 3/16$ sobre a pista transversal do cruzamento 2. Diante dessa situação, o agente 2 adota planos para trazer a situação do seu cruzamento para o estado normal. Nesse intervalo, a quebra de sincronismo devido à necessidade de adaptação local, causa atrasos nas pistas arteriais TD_{A_2} e TD_{A_3} . No entanto, passados os primeiros 20 minutos a situação na transversal do cruzamento 2 se normaliza $T2 = 1/30$. Essa condição é percebida pelo agente 2 que imediatamente volta a adota o plano de sincronismo. O valor de $TD_{A_2} = 0$, medido nos últimos 30 minutos da simulação, indica que há sincronismo dos cruzamentos 1 e 2.

TABLE VII
O TD_{A_i} SOBRE OS CRUZAMENTOS 2 AND 3 MEDIDOS EM UMA HORA
DE SIMULAÇÃO.

Primeiros 30 min		últimos 30 min		últimos 15 min	
TD_{A_2}	TD_{A_3}	TD_{A_2}	TD_{A_3}	TD_{A_2}	TD_{A_3}
191	134	0	113	0	0

A mesma situação pode ser observada sobre o cruzamento 3, no intervalo de 20 à 40, o agente precisa constantemente trocar de plano para normalizar as condições do tráfego. Porém passado o intervalo, a situação volta a se normalizar $T3 = 1/30$ e o agente adota o plano de sincronismo. Novamente, essa situação pode ser vista na TABLE VII, nos 15 minutos finais o valor dos parâmetros $TD_{A_2} = 0$ e $TD_{A_3} = 0$ é nulo, o que indica que o sistema está sincronizado pela cruzamento 1.

Dessa forma, comprova-se a habilidade dos agentes de se auto organizar para gerar fluxo suave quando as condições são favoráveis. O mais comum é fluxo mais intenso sobre a artéria, o que justifica o esforço dos agentes para manter o sincronismo sobre ela.

V. CONCLUSÃO

Neste artigo, nós propomos um sistema multiagente – que imita uma organização social – para operar no controle do tráfego urbano combinando adaptação local e coordenação de sucessivos semáforos. Um protocolo de uso específico foi usado internamente pela organização de agentes para alinhar uma sequência de semáforos de uma forma dinâmica. O controle adaptativo requerido para otimização local foi

alcançado pelas ações independentes e autônomas dos agentes localmente. A arquitetura BDI foi usada para modelar a parte cognitiva dos agentes de trânsito e um simulador de tráfego foi usado para o propósito de teste e validação do funcionamento do sistema.

Nós testamos nossa abordagem em simulação. Os resultados mostraram que nossa abordagem resultou em uma boa performance, alcançando tanto controle local quanto coordenação de sucessivos sinais. A melhora na performance é atribuída à autonomia dos agentes e à eficiência do protocolo de onda verde adaptativa.

No entanto, ainda há muito a ser investigado. Como trabalhos futuros pretendemos dar aos agentes à habilidade de aprender novos planos, e desta forma, tornar o sistema proposto independente das peculiaridades de cada sequência de semáforos. Nós também pretendemos adicionar ao protocolo mecanismos de tolerância a falhas e melhorar a capacidade de percepção dos agentes.

REFERENCES

- [1] X. Xie, G.J. Barlow, S.F. Smith, Z.B. Rubinstein, "Platoon-Based Self-Scheduling for Real-Time Traffic Signal Control," in IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pp. 879–884, 2011.
- [2] D. Oliveira, A.L.C Bazzan, "Swarm Intelligence Applied to Traffic Lights Group Formation," in VI Encontro Nacional de Inteligência Artificial (ENIA 2007), pp. 1003-1012, 2007.
- [3] A.L.C Bazzan, "A Distributed Approach for Coordination of Traffic Signal Agents," in Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, Vol. 10, pp. 131–164, 2005.
- [4] S. Shamshirband, "A Distributed Approach for Coordination Between Traffic Lights Based on Game Theory," The International Arab Journal of Information Technology, pp. 148–152, 2012.
- [5] T. Shirai, Y. Konaka, J. Yano, S. Nishimura, K. Kagawa, T. Morita, M. Numao and S. Kurihara, "Multi-agent traffic light control framework based on direct and indirect coordination," in Proceedings of the 7th International Workshop on Agents in Traffic and Transportation, pp. 9–17, 2012.
- [6] D. Król, M. Mrozek, "Swarm-based Multi-agent Simulation: a Case Study of Urban Traffic Flow in the city of Wrocław," ICCCI 2011, LNAI 6923, Springer, pp. 191–200, 2011.
- [7] T. Finin, R. Fritzson, D. McKay, R. McEntire, "Kqml as an agent communication language," in Proceedings of the 3rd International Conference on Information and Knowledge Management, pp. 456–463, 1994.
- [8] J. Searle, "Speech Acts: An Essay in the Philosophy of Language," Cambridge University Press, 1969.
- [9] J. F. Hübner, J. S. Sichman, O. Boissier, "S-moise+: A middleware for developing organised multiagent systems," in International Workshop on Organizations in Multi-Agent Systems: From Organizations to Organization Oriented Programming, pp. 107–120, 2005.
- [10] B. Bauer, "Extending uml for the specification of interaction protocols," in submission for the 6th Call for Proposal of FIPA and revised version part of FIPA, 1999.
- [11] R. H. Bordini, J. F. Hubner, M. Wooldridge, "Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak using Jason," John Wiley & Sons, London, UK, 2007.
- [12] M. Behrisch, L. Bieker, J. Erdmann and D. Krajzewicz, "SUMO - Simulation of Urban Mobility: An Overview," in SIMUL 2011, The Third International Conference on Advances in System Simulation, pp. 63–68, 2011.