

Uso de Métricas de Roteamento através de Tabela de Decisão Adaptativa para Redes de Sensores Sem Fio

D. S. Miguel

D. A. G. de Oliveira

Resumo—Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) vem ganhando foco entre os pesquisadores, devido sua abrangência de aplicações como: detecção e acompanhamento, monitoramento de ambientes e indústrias, acompanhamento médico entre outros.

O paradigma Internet das Coisas (Internet of Things (IoT)) torna possível a interconectividade entre dispositivos em qualquer momento e em qualquer lugar do planeta [9], porém, alguns dispositivos não possuem poder de processamento, memória ou, até protocolos para se comunicarem diretamente pela internet. As RSSF's desempenham um papel fundamental na IoT, tornando possível a conexão de pequenos dispositivos e objetos à internet. Adaptatividade é a capacidade que um sistema tem em modificar seu conjunto de regras.

Existem diversos trabalhos na literatura que empregam a adaptabilidade para flexionar as regras propostas para a solução de um problema em específico.

Observando o emprego de adaptatividade na literatura, observamos que seu uso se dá por modificações as regras definidas estaticamente e, geralmente empregadas junto à outras técnicas como de inteligência artificial, para flexionar as regras não só das soluções propostas aos problemas como também às regras da própria adaptabilidade.

Keywords—Redes de Sensores Sem Fio, Internet das Coisas, Internet of Things, Adaptatividade, Adaptabilidade.

I. INTRODUÇÃO

A. Redes de Sensores Sem Fio (RSSF's)

Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) vem ganhando foco entre os pesquisadores, devido sua abrangência de aplicações como: detecção e acompanhamento, monitoramento de ambientes e indústrias, acompanhamento médico entre outros. O paradigma Internet das Coisas (Internet of Things (IoT)) torna possível a interconectividade entre dispositivos em qualquer momento e em qualquer lugar do planeta [9], porém, alguns dispositivos não possuem poder de processamento, memória ou, até protocolos para se comunicarem diretamente pela internet. As RSSF's desempenham um papel fundamental na IoT, tornando possível a conexão de pequenos dispositivos e objetos à internet.

Uma das maiores preocupações, quando programando um sensor (dispositivo sem fio), é o consumo de energia, uma vez que o sensor é energeticamente restrito. Muitos trabalhos de pesquisa focam em economizar por reduzir a carga de processamento ou desligando e ligando periféricos como

D. S. Miguel, Doctoral student at Universidade de São Paulo, email: dan.sm.mineiro@gmail.com.

D. A. G. de Oliveira, Master's student at Universidade de São Paulo, email: doriedson.ago@gmail.com.

sensores, rádio [10] e, até o processador. Uma alternativa seria saber a energia remanescente do nó para auxiliar nas decisões de economia e roteamento, uma vez que o rádio é o maior consumidor de energia no nó. Porém, adicionar hardware para medição encareceria o sensor além de consumir mais energia. Uma solução viável é estimar a energia remanescente do nó através de monitoria de uso do hardware [11]. É comum em RSSF's utilizar o ETX [12] como métrica de roteamento, porém, isso pode fazer com que um nó esgote sua energia muito antes de outros e, assim, acabar particionando a rede e presenciar alguns nós, ainda com energia, ficarem inacessíveis.

B. Adaptatividade

A adaptatividade é a capacidade que um sistema ou dispositivo tem de se auto-modificar, alterando o comportamento de um processo em execução. A adaptatividade pode ser percebida quando um dispositivo definido com regras parametrizadas e comportamento invariante torna seu comportamento dinâmico, incorporando regras adaptativas. Diz-se que um dispositivo formal é adaptativo sempre que seu comportamento muda dinamicamente, em resposta direta a seus estímulos de entrada, sem interferência de agentes externos, mesmo seus usuários [1]. A adaptatividade pode ser aplicada aos formalismos tradicionais, tais como: Statechart, Autômatos Finitos, Redes de Markov e Tabela de Decisão [2].

Como descrito em [3] inúmeras aplicações potenciais existem para a tecnologia derivada da adaptatividade, tais como inferência, processamento de textos em linguagem naturais, síntese de voz, reconhecimento de padrões, tomada de decisão, linguagens de programação adaptativas, otimização de código, meta-modelagem, computação evolutiva, engenharia de software e robótica. As aplicações potenciais enumeradas em [3] definem a tecnologia adaptativa como um campo de pesquisa emergente podendo ser inserida visando a resolução de problemas complexos apresentados em diversas áreas de interesse.

De maneira geral, as ações adaptativas permitem que regras sejam consultadas, eliminadas ou incluídas no sistema [4]. O comportamento de um sistema guiado por regras depende, exclusivamente, de um conjunto finito de regras, responsáveis por mapear cada possível configuração do sistema em uma configuração seguinte correspondente, em resposta a algum

	S	R	R	R	R
	1	2	3	4	5
State =		0	0	1	1
Carga <= 18		S	N	N	S
Carga > 18		N	S	S	N
State:=	0	0	1	1	0
ETX:=	100%	100%	0%	0%	100%
Energia:=	0%	0%	100%	100%	0%

Figura 1. Tabela de decisão para uso de ETX ou energia como métrica de roteamento.

estímulo de entrada recebido [5].

1) *Tabelas de Decisão*: A tabela de decisão representa ações a serem executadas, como resultado do comprimento de um conjunto de condições estabelecidas. As regras de decisão são pontos importantes para estrutura de uma tabela de decisão, a partir delas o conjunto de ações a serem executadas é definido, é necessário que um determinado conjunto de condições seja atendido para que tais ações sejam executadas. As tabelas de decisão podem auxiliar na formulação de questões de problemas, nem sempre claras em outras formas [6].

2) *Tabelas de Decisão Adaptativas*: Nas tabelas de decisão adaptativas o dispositivo subjacente é uma tabela de decisão convencional [7]. Como visto em [8] uma tabela de decisão convencional é composta por colunas que representam conjuntos de regras associadas a condições e ações. Novamente em [7] é descrito que na versão adaptativa de uma tabela de decisão convencional pode ser obtida adicionando-se a ela linhas, onde são incluídas as funções adaptativas. Além disso, a cada coluna que representa uma regra simples, deve ser adicionada uma chamada para uma função adaptativa associada à execução de uma regra em particular [7]. Com isso, sempre que uma regra adaptativa é aplicada, uma ação adaptativa é invocada, permitindo que sejam feitas mudanças no conjunto de regras [7].

II. ABORDAGEM PROPOSTA

Utilizando a energia remanescente do nó ao invés do ETX, conseguimos um balanceamento de carga entre todos os nós de forma homogênea. Assim, os nós tendem a ficarem sem energia quase ao mesmo tempo, não havendo particionamento na rede devido a morte prematura de alguns nós.

Verificamos que ao usar somente energia como métrica de roteamento, os nós tendem a usar algumas rotas maiores se comparadas às rotas definidas por ETX, que tendem a usar o menor caminho (saltos) possível. Com isso, um pacote tende a gastar mais energia, na rede como um todo, em sua rota desde a origem até seu destino. Observando

isso, concluímos ser interessante utilizar um método que equilibrasse o uso do roteamento priorizando o menor caminho (uso de menos energia no roteamento de um pacote) e o uso equilibrado de energia em toda rede para que um nó não morra prematuramente e assim particione a rede.

Assim, elaboramos uma tabela de decisão que define como

	H	-	-	-	+	+	+	H	-	-	-	+	+	+
State =	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Carga <= 18	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	S
Carga > 18	S	S	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	S	N
Tempo > 300s	N	S	N	N	S	N	N	S	N	S	N	N	S	N
State:=	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
Tempo:=	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETX:=	80%	60%	100%	60%	40%	100%	60%	40%	100%	40%	20%	100%	40%	20%
Energia:=	20%	40%	0%	40%	60%	0%	40%	60%	0%	60%	80%	0%	60%	80%
K	A		V			V		A		V				
L														
M														V
N														
O			V			V				V				V
p1				p1		60%	60%			p1			40%	40%
p2				p2		40%	40%			p2			60%	60%
p3				p3		40%	40%			p3			20%	20%
p4				p4		60%	60%			p4			80%	80%

Figura 2. Tabela de decisão adaptativa para métricas de roteamento.

estado inicial o uso somente de ETX como métrica de roteamento e, a partir do momento que houver desequilíbrio de energia entre os nós da rede, a regra é alterada para levar em conta energia como métrica de roteamento conforme figura 1.

Em uma abordagem inicial, trocaríamos o uso de ETX pelo uso de energia como métrica de roteamento para o reequilíbrio da energia nos nós da rede. Porém, isso poderia mudar drasticamente as rotas já definidas na rede implicando em sobrecarga no fluxo de pacotes de controle. Assim, definimos usar uma tabela de decisão adaptativa para balancear o uso de ETX e energia como métrica de roteamento a fim de suavizar o fluxo de pacotes de controle e restabelecer o balanceamento de energia da rede como mostrado na figura 2 3 e 4.

Para definirmos quando os nós estão desequilibrados energeticamente, definimos a seguinte fórmula:

$$\text{Carga} := \max(|M - \min E|, |M - \max E|)$$

Onde,

M é a média da energia de todos os nós da rede.

minE é o valor da energia do nó com menos energia na rede.

MaxE é o valor da energia do nó com mais energia na rede.

Onde a carga da rede é definida pegando o maior valor dentre os módulos das diferenças da média energética da rede e o menor e maior valor de energia da rede.

III. CONCLUSÃO

Analisando a tabela adaptativa proposta, podemos notar que o equilíbrio energético da rede tende a se reestabelecer voltando a usar o ETX como métrica única de roteamento. Assim, priorizando o menor consumo de energia no roteamento de pacotes. Mesmo assim, se a rede demorar a reestabelecer o seu equilíbrio energético, a tabela adaptativa

	H	-	-	-	+	+	+	H	-	-	-	+	+
State =		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1
Carga <= 18		N	N	S	N	N	S		N	N	S	N	S
Carga > 18		S	S	N	S	S	N		S	S	N	S	N
Tempo > 300s		N	S	N	N	S	N		N	S	N	nop	N
State:=		1	1	0	1	1	0		1	1	0	1	0
Tempo:=		0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
ETX:=		40%	20%	100%	20%	0%	100%		20%	0%	100%	0%	100%
Energia:=		60%	80%	0%	80%	100%	0%		80%	100%	0%	100%	0%
K													
L													
M		A		V									
N						V		A		V			
O				V			V			V		V	
p1				p1		20%	20%			p1		0%	
p2				p2		80%	80%			p2		100%	
p3				p3		0%	0%			p3		0%	
p4				p4		100%	100%			p4		100%	

Figura 3. Tabela de decisão adaptativa para métricas de roteamento.

	H	-	-	-	-	-	+	+	+	S	R	R	R	R	R	
	H	-	-	-	-	-	+	+	+	1	2	3	4	5	6	
State =		1	1	1	1	1	1	1	1		0	0	1	1	1	
Carga <= 18		N	N	N	N	N	S	N	N	S	S	N	N	N	S	
Carga > 18		S	S	S	S	S	N	S	S	N	N	S	S	S	N	
Tempo > 300s		N	nop	S	S	S	N	N	S	N	nop	nop	N	S	N	
State:=		1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0		
Tempo:=		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
ETX:=		p1	p1	p3	p3	p3	100%	80%	60%	100%	100%	100%	80%	80%	60%	100%
Energia:=		p2	p2	p4	p4	p4	0%	20%	40%	0%	0%	0%	20%	20%	40%	0%
K														V		
L				V												
M					V											
N						V										
O		A					V								V	
p1				p1	p1	p1	p1	80%	80%					80%	80%	
p2				p2	p2	p2	p2	20%	20%					20%	20%	
p3				p3	p3	p3	p3	60%	60%					60%	60%	
p4				p4	p4	p4	p4	40%	40%					40%	40%	

Figura 4. Tabela de decisão adaptativa para métricas de roteamento.

se encarregará de montar uma abordagem cada vez mais agressiva para o reestabelecimento do equilíbrio energético. Como trabalhos futuros, implementaremos a tabela descrita neste artigo em uma rede de sensores sem fio para análise de sua eficácia bem como suas nuances.

REFERÊNCIAS

[1] J. J. NETO, "Adaptative rule-driven devices – general formulation and a case study", In: CIAA'2001 Sixth International Conference on Implementation and Application of Automata, pages 234–250, Pretoria, South Africa, July 2001.

[2] SANTOS. Dispositivos adaptativos cooperantes. Em: Memórias do X Workshop de Tecnologia Adaptativa - WTA 2016. EPUSP, São Paulo. ISBN: 978-85- 86686-86- 3, pp. 11-15. 28 e 29 de Janeiro, 2016.

[3] J. J. NETO, "Um levantamento da evolução da adaptatividade e da tecnologia adaptativa". Revista IEEE América Latina, 5.7, 1548-0992, 2007.

[4] TCHEMRA E CAMARGO, Aplicação da tecnologia adaptativa em sistemas de tomada de decisão, uma abordagem estratégica na seleção de fornecedores. In: Segundo Workshop de Tecnologia Adaptativa - WTA 2008. EPUSP, 2008.

[5] BALDI, CASTRO JUNIOR, RODRIGUES E RODRIGUES. Modelo adaptativo para um framework educacional. Em Memórias do X Workshop de Tecnologia Adaptativa - WTA 2016. EPUSP, São Paulo. ISBN: 978-85-86686-86- 3, pp. 70-79. 28 e 29 de Janeiro, 2016.

[6] TCHEMRA. A. H. Tabela de decisão adaptativa na tomada de decisão multicritério. Tese apresentada na Universidade de São Paulo, 2009.

[7] STANGE E JOSÉ NETO. Aprendizagem incremental usando tabelas de decisão adaptativas. In: Quinto Workshop de Tecnologia Adaptativa - WTA 2011. EPUSP, 2011.

[8] HUGHES, M. L., SHANK, R. M., STEIN, E. S.: Decision Tables. Midi Publications, Management Development Institute, Divisions of Information, Ind'ustries, Inc., Wayne, Pennsylvania, 1968.

[9] R. Want, B. N. Schilit, and S. Jenson, "Enabling the internet of things," Computer (Long. Beach. Calif.), vol. 48, no. 1, pp. 28–35, 2015.

[10] A. Dunkels, "The ContikiMAC Radio Duty Cycling Protocol," SICS Technical Report T2011:13 , ISSN 1100-3154, 2011. [Online]. Available: <http://dunkels.com/adam/dunkels11contikimac.pdf>. [Accessed: 23-Feb-2016].

[11] A. Dunkels, F. Osterlind, N. Tsiftes, and Z. He, "Software-based on-line energy estimation for sensor nodes," Proc. 4th Work. Embed. Networked sensors - EmNets '07, p. 28, 2007.

[12] O. Gnawali, R. Fonseca, K. Jamieson, M. Kazandjieva, D. Moss, and P. Levis, "CTP: An efficient, robust, and reliable collection tree protocol for wireless sensor networks," ACM Trans. Sens. Networks, vol. 10, no. 1, pp. 1–49, 2013.