



Centro de Ciências Agrárias
Departamento de Zootecnia
Laboratório de Abelhas



Apicultura de precisão: Utilização de “Machine Learning” para reconhecimento de padrões biológicos em abelhas

Antonio Diego de Melo Bezerra
Engenheiro Agrônomo
Doutor em Produção Animal,
Área de concentração: Abelhas e Polinização

20 de Novembro de 2018
Fortaleza - Ceará

1. Introdução
2. Referencial teórico
3. Artigo I – BEEttag: A Low-Cost, Image-Based Tracking System for the Study of Animal Behavior and Locomotion
4. Artigo II – b+WSN: Smart beehive with preliminary decision tree analysis for agriculture and honey bee health monitoring
5. Considerações finais

1. Introdução

- ~20 mil espécies de abelhas no mundo

Michener C., 2007

- Apenas 0.01% são manejas

Imperatriz-Fonseca et al., 2012

- *Apis mellifera*

- Cosmopolita;
- Generalista – visitando os mais diversos grupos e famílias botânicas;
- Criação e Manejo racional conhecido e difundido por todo o mundo,
- Valor econômico dos produtos apícolas US\$ 200 milhões.
- 95 culturas agrícolas nos Estados Unidos;
 - Valore econômico do serviço de polinização US\$ 20 bilhões.

- *Bombus sp.* (*Bombus terrestris*, *Bombus impatiens*)



1. Introdução

- ~20 mil espécies de abelhas no mundo

Michener C., 2007

- Apenas 0.01% são manejas

Imperatriz-Fonseca et al., 2012

- *Apis mellifera*

- Cosmopolita;
- Generalista – visitando os mais diversos grupos e famílias botânicas;
- Criação e Manejo racional conhecido e difundido por todo o mundo,
- Valor econômico dos produtos apícolas US\$ 200 milhões.
- 95 culturas agrícolas nos Estados Unidos;
 - Valore econômico do serviço de polinização US\$ 20 bilhões.

- *Bombus sp.* (*Bombus terrestris*, *Bombus impatiens*)



2. Referencial teórico

Riley J.R. et al. 1996. Tracking bees with harmonic radar. Nature, 379, 29–30

Tracking bees with harmonic radar

SIR — Much of our knowledge of the high-altitude flight behaviour of insects has been derived from the use of pulse radars¹, and there are many instances where equivalent information about low-altitude flight would also be of considerable entomological value, host-finding behaviour by tsetse flies, foraging by bees and flight to pheromone sources by Lepidoptera to name but a few. Unfortunately, radar reflections from ground features (clutter) prevent this technique from being used to observe low-level flight, except where this occurs over extremely flat and bare terrain². We have therefore used the harmonic radar principle^{3,4} to develop a method of measuring the trajectories of low-flying insects over distances of hundreds of metres. We report here its first trial application, the observation of foraging flights by bumble bees and honey bees.

The technique requires that the target insect be 'tagged' with an electrically non-

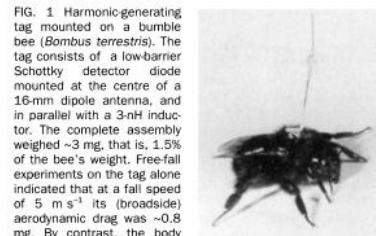
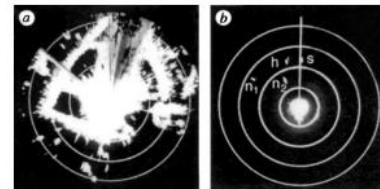
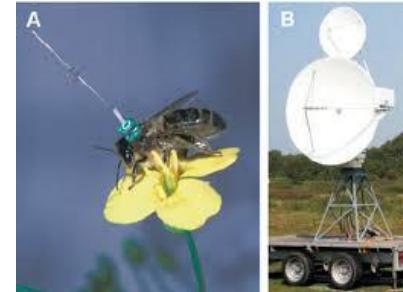


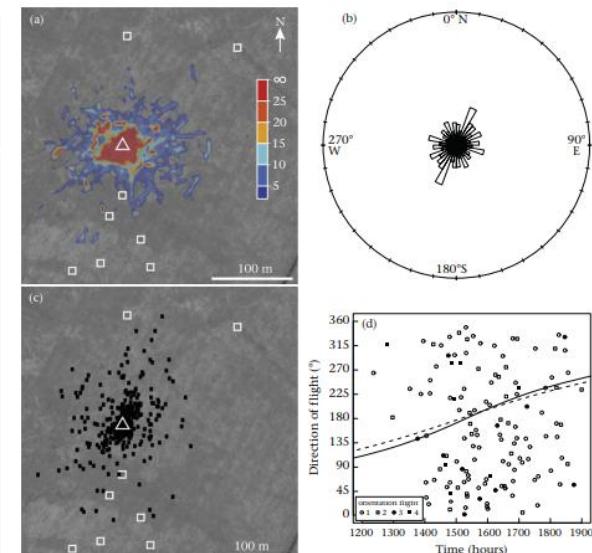
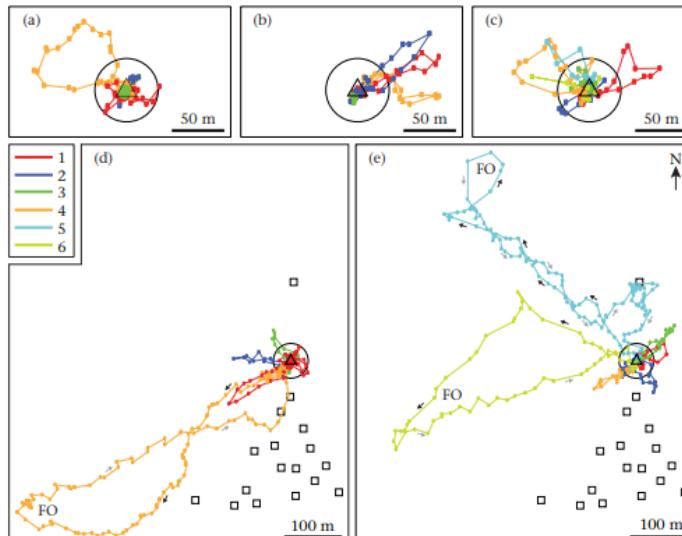
FIG. 1 Harmonic-generating tag mounted on a bumble bee (*Bombus terrestris*). The tag consists of a low-barrier Schottky detector diode mounted at the centre of a 16-mm dipole antenna, and in parallel with a 3-nH inductor. The complete assembly weighed ~3 mg, that is, 1.5% of the bee's weight. Free-fall experiments on the tag alone indicated that at a fall speed of 5 m s^{-1} its (broadside) aerodynamic drag was -0.8 mg . By contrast, the body drag of a bumble bee flying at 5 m s^{-1} is $20\text{--}30 \text{ mg}$ (ref. 5), so the tag seems unlikely to add substantially to the overall drag that the bee has to overcome. The upwards-turning moment that it induces may, however, perturb the bee's flight pitch angle, and this could perhaps result in a significant increase in drag.



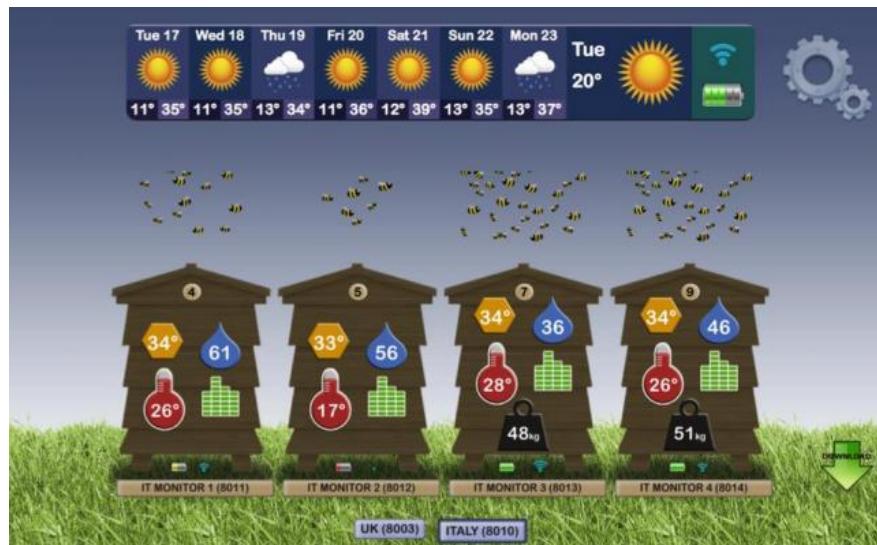
29



Degen et al. 2014. Exploratory behaviour of honeybees during orientation flights. Animal behaviour, 102, 45-47



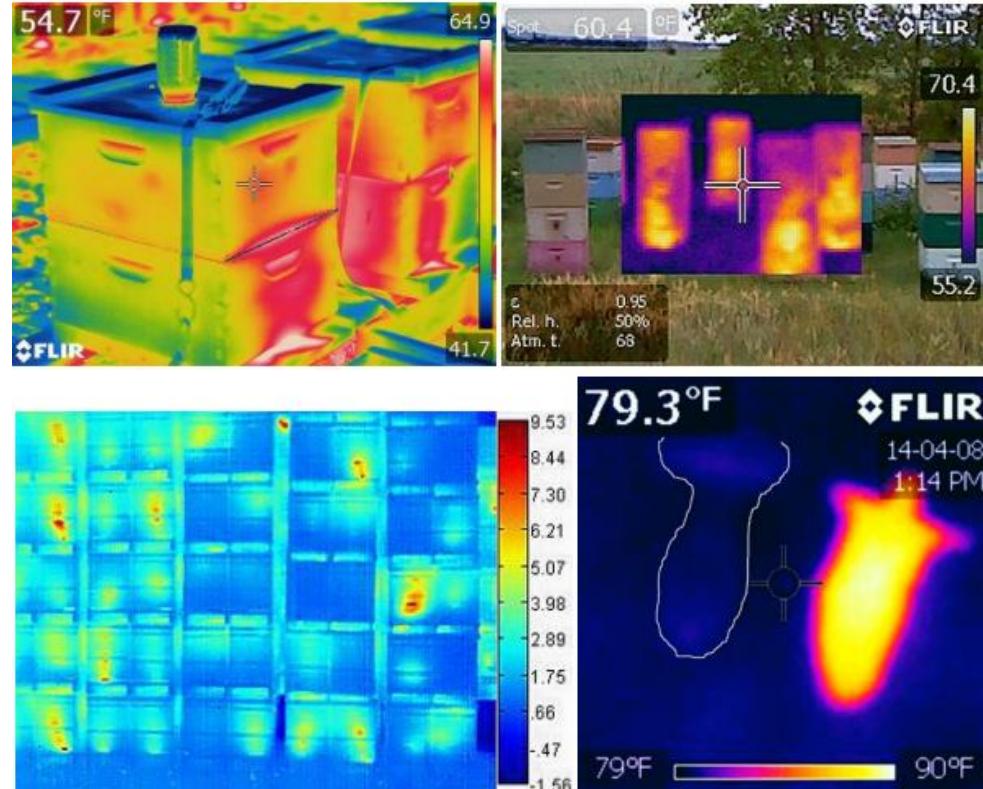
2. Referencial teórico



Fonte: Arnia Remote Hive Monitoring.



Wario F. et al. 2017 Automatic detection and decoding of honey bee waggle dances PLoS One. 2017; 12(12): e0188626



Kastberger, G. & Stachl, R. Infrared imaging technology and biological applications. Behav. Res. Methods Instrum. Comput. J. Psychon. Soc. Inc. 2003, 35, 429–439.

3. Artigo I

BEEtag: Um sistema de rastreamento baseado em imagem e de baixo custo para o estudo do comportamento animal e da locomoção

RESEARCH ARTICLE

BEEtag: A Low-Cost, Image-Based Tracking System for the Study of Animal Behavior and Locomotion

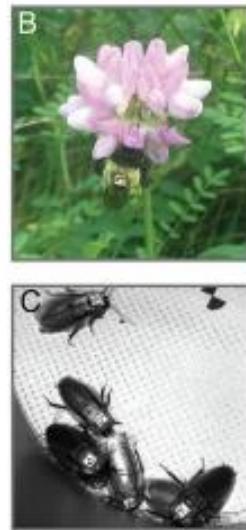
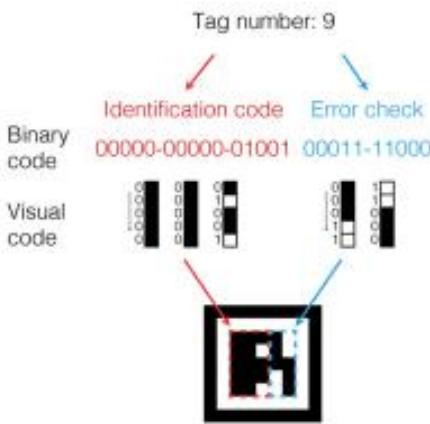
James D. Crall^{1*}, Nick Gravish^{1,2}, Andrew M. Mountcastle¹, Stacey A. Combes¹

1 Concord Field Station, Organismic and Evolutionary Biology, Harvard University, Bedford, Massachusetts, United States of America, **2** School of Engineering and Applied Sciences, Harvard University, Cambridge, Massachusetts, United States of America

Crall J.D. et al., (2015) BEEtag: A Low-Cost, Image-Based Tracking System for the Study of Animal Behavior and Locomotion. PLOS ONE 10(9): e0136487. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136487>

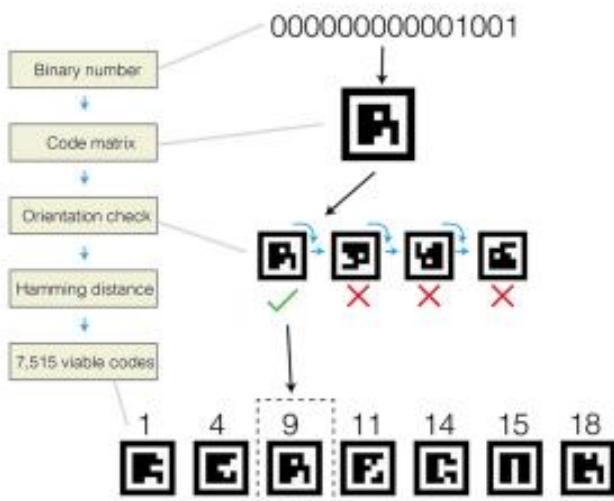
Apresentar o BEEtag, como um sistema de rastreamento baseado em imagem de código aberto em Matlab que permite a identificação única de animais individuais ou marcadores anatômicos.

A Code example



- ARtag e CALTag;
- Code Matrix 25 bit pixels (5×5);
- 15 bit identify code e 10 bit para error check;
- 15 bit identiy code representação binaria de um número entre 32767;
- Preenchido e orientados a esquerda em uma matrix 5×3 pixels;

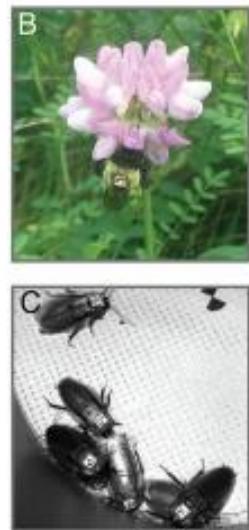
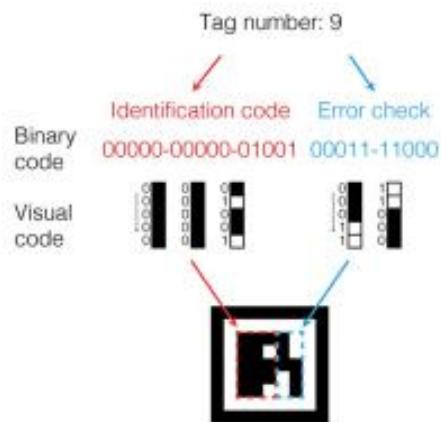
D Generating unique tags



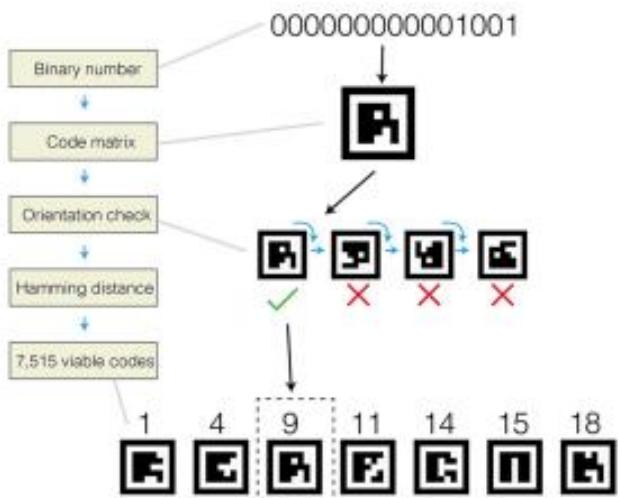
- Um único 10 bit erro code eram gerados a cada código;
- A matriz binária simples foi dimensionada para qualquer tamanho;
- Foram utilizadas 110 tags.
- Com uma distância de Hamming, 7, disponível pelo pacote BEEtag, como “robustCodeList.mat”.

A Low-Cost, Image-Based Tracking System for the Study of Animal Behavior and Locomotion

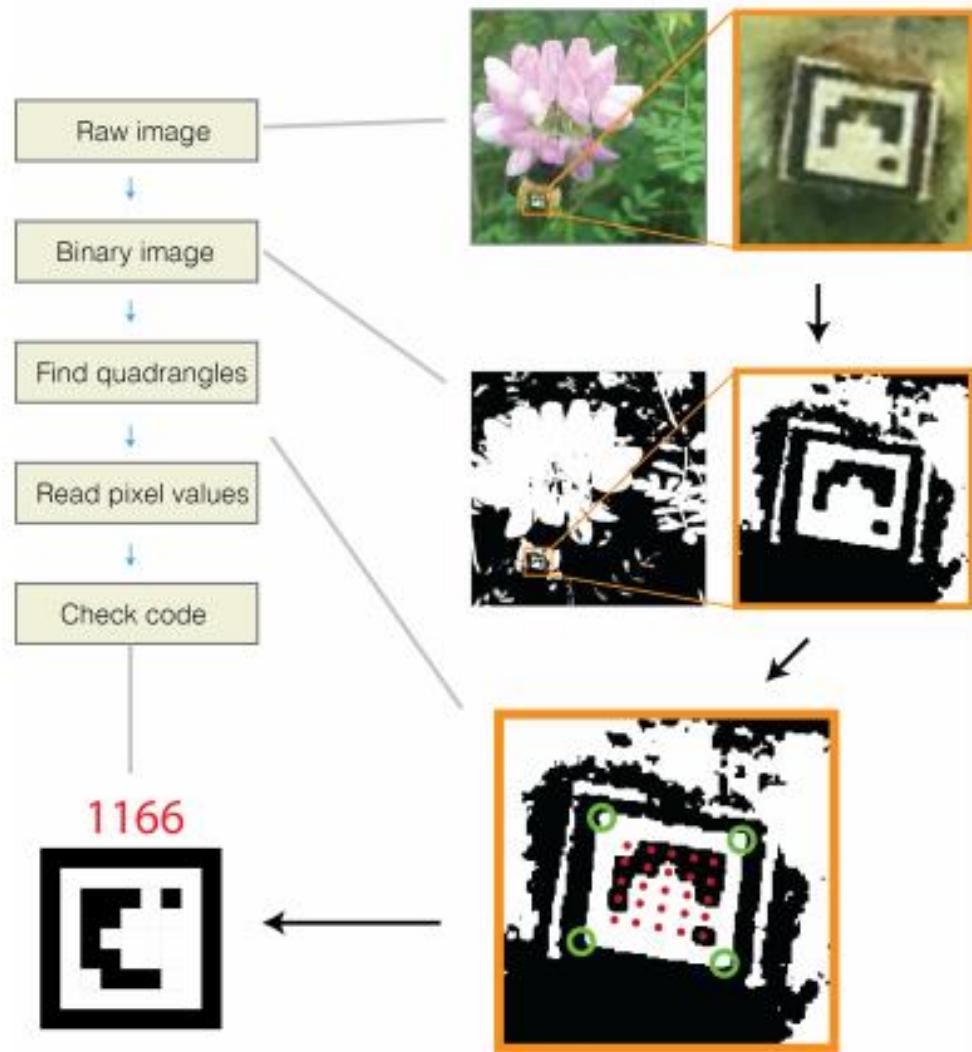
A Code example



D Generating unique tags



Code tracking



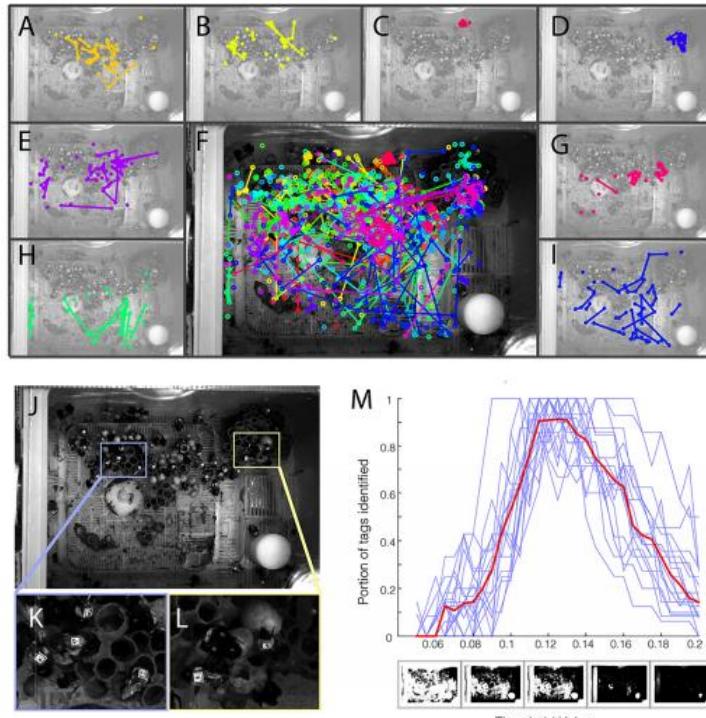
Validação do BEEtag tracking system

- Uma única colônia (área do ninho 21,5 x 15 cm) de “Bumblebee” (*Bombus impatiens*) – Biobest;
- A colônia era mantida em laboratório com acesso a ambiente natural através de tubo plástico;
- Foram dados 2 dias para aclimatação,
- 100 operárias foram etiquetadas com uma BEEtag, impressa no tamanho de 8,5x11in em papel à prova d'agua; em resolução de 1200 dpi;
- Uma câmera Nikon D3200 DSLR, operando em resolução máxima de 6016x4000 pixels;
- A câmera foi colocada a 1M de altura da colônia, acionada automaticamente com uma alavanca mecânica acionada por um micro controlador Arduino;
- Fotos foram tiradas a cada 5 segundos, entre o período de 12h às 12h30, em um total de 372 fotos.





- Das 372 imagens, foram extraído 3516 etiquetas de 74 BEETags diferentes;
- O resultado da identificação de BEETags foram de 99,97%, ou uma taxa de 0,03% de FP;
- Os dados de 30 thresholds em cada quadro foram usados para recuperar cada BEETag em cada quadro. Sendo que, o threshold ótimo de rastreamento foi de 90%.
- Para aproximar em 100% deve (a) melhorando a homogeneidade de iluminação ou (b) rastreando cada quadro em vários limites (com o custo de aumento do tempo de computação) .
- As etiquetas permitem rastrear o comportamento em nível individual no ninho e revelam variações nas atividades e deslocamento espacial das operárias etiquetadas.



Aplicações alternativas e futuras direções

- Não se limita apenas a estudos na área de etologia ou ecologia comportamental;
- As aplicações não se limitam também a ambientes estacionário, podendo ser utilizadas em ambientes complexos e naturais;
- São ideais para reconstrução de rotas corporais tridimensionais;
- Além disso o BEEtag esta mantido no GitHub para contribuições de outro usuários.

ARTICLE

Corrected: Author correction

DOI: 10.1038/s41467-018-03561-w

OPEN

Spatial fidelity of workers predicts collective response to disturbance in a social insect

James D. Crall¹, Nick Gravish², Andrew M. Mountcastle¹, Sarah D. Kocher¹,⁴

Robert L. Oppenheimer¹,⁵, Naomi E. Pierce¹ & Stacey A. Combes¹,⁶

Individuals in social insect colonies cooperate to perform collective work. While colonies often respond to changing environmental conditions by flexibly reallocating workers to different tasks, the factors determining which workers switch and why are not well understood. Here, we use an automated tracking system to continuously monitor nest behavior and foraging activity of uniquely identified workers from entire bumble bee (*Bombus impatiens*) colonies foraging in a natural outdoor environment. We show that most foraging is performed by a small number of workers and that the intensity and distribution of foraging is actively regulated at the colony level in response to forager removal. By analyzing worker nest behavior before and after forager removal, we show that spatial fidelity of workers within the nest generates uneven interaction with relevant localized information sources, and predicts which workers initiate foraging after disturbance. Our results highlight the importance of spatial fidelity for structuring information flow and regulating collective behavior in social insect colonies.

Neonicotinoid exposure disrupts bumblebee nest behavior, social networks, and thermoregulation

James D. Crall^{1,2,3,*}, Callin M. Switzer^{4,5}, Robert L. Oppenheimer⁶, Ashlee N. Ford Versypt^{7,8}, Biswadip Dey⁹, Andrea Brown¹...

* See all authors and affiliations

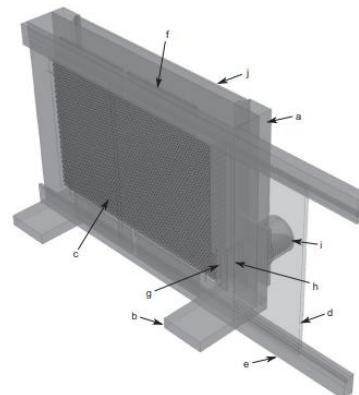
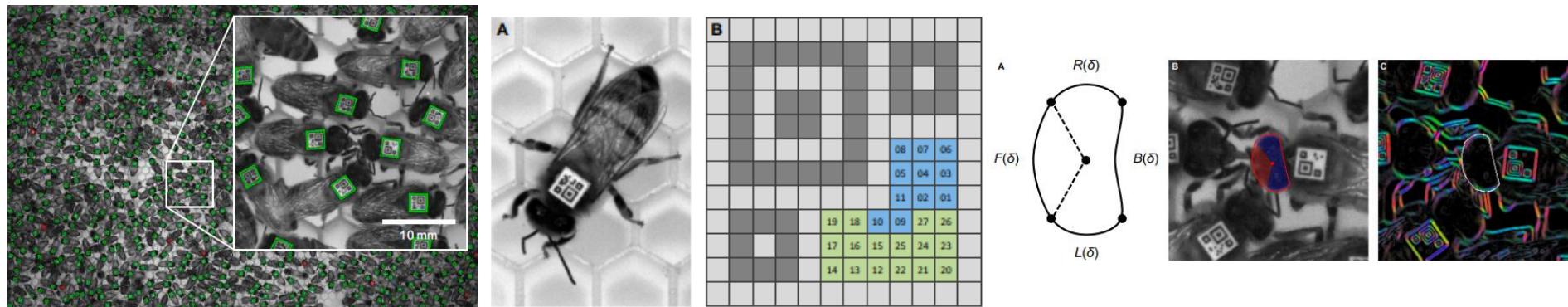
Science 09 Nov 2018:
Vol. 362, Issue 6415, pp. 683-686
DOI: 10.1126/science.aat1598

Aplicações alternativas e futuras direções

Automated monitoring of behavior reveals bursty interaction patterns and rapid spreading dynamics in honeybee social networks

Tim Gernat^{a,b}, Vikyath D. Rao^{a,c}, Martin Middendorf^b, Harry Dankowicz^d, Nigel Goldenfeld^{a,c}, and Gene E. Robinson^{a,e,f,1}

Proc Natl Acad Sci U S A. 2018 Feb 13;115(7):1433-1438. doi:10.1073/pnas.1713568115.



4. Artigo II -

Computers and Electronics in Agriculture 124 (2016) 211–219



Contents lists available at ScienceDirect

Computers and Electronics in Agriculture

journal homepage: www.elsevier.com/locate/compag



b+WSN: Smart beehive with preliminary decision tree analysis for agriculture and honey bee health monitoring [☆]



Fiona Edwards-Murphy ^{a,*}, Michele Magno ^b, Pádraig M. Whelan ^c, John O'Halloran ^c, Emanuel M. Popovici ^a

^aDepartment of Electrical and Electronic Engineering, University College Cork, Ireland

^bIntegrated Systems Laboratory, ETH Zurich, Switzerland

^cSchool of Biological Earth and Environmental Sciences (BEES), University College Cork, Ireland

b+WSN: Colmeia inteligente com análise de árvore de decisão preliminar para a agricultura e o monitoramento da saúde das abelhas

Redes heterogêneas de sensores sem fio são utilizadas para coletar dados sobre uma variedade de parâmetros de uma colméia, com o objetivo de descrever com precisão as condições internas e a atividade da colônia.

Parâmetros analisados:

- CO₂;
- O₂;
- Gases poluentes,
- Temperatura interna, umidade relativa e aceleração;
- Dados climáticos (sol, chuva e temperatura), também foram coletados para fornecer uma dimensão de análise adicional

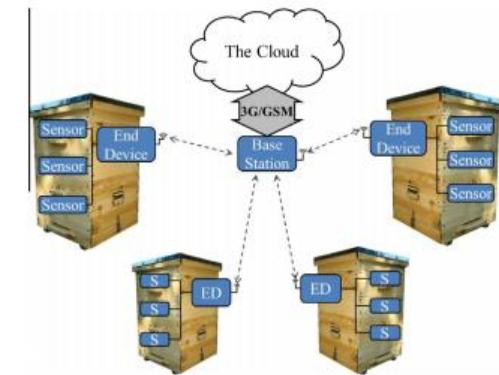


Fig. 1. Network transfers data from the hive to the cloud.



Fig. 3. Final instrumented hive at deployment site.

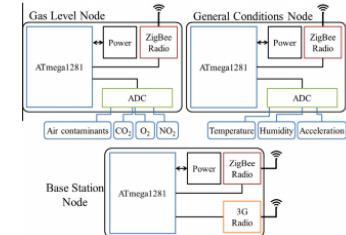


Fig. 2. Architecture of developed nodes.

b+WSN: Smart beehive with preliminary decision tree analysis for agriculture and honey bee health monitoring

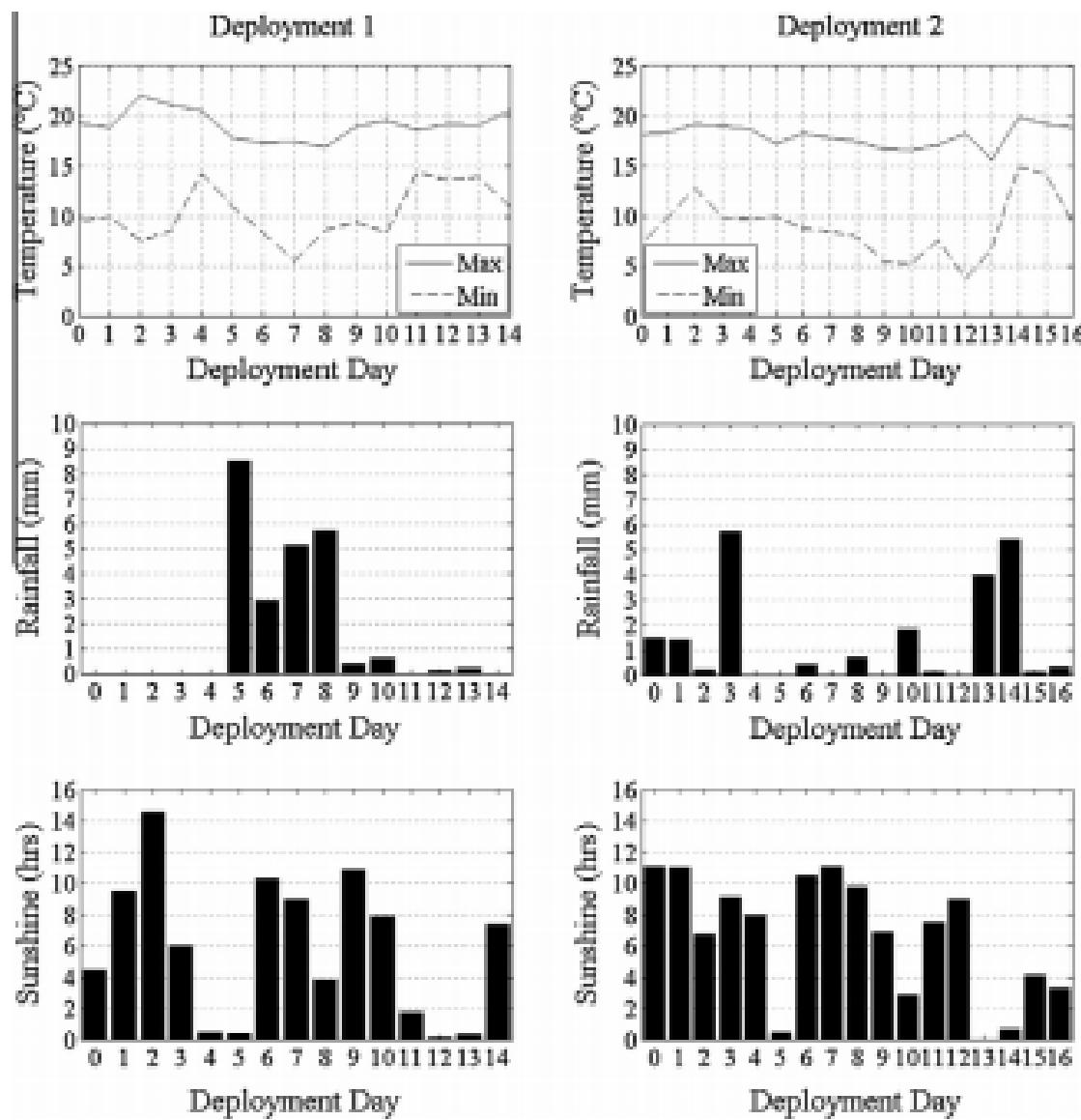


Fig. 6. Weather 29/06/2014–13/07/2014 and 11/08/2014–27/08/2014.

b+WSN: Smart beehive with preliminary decision tree analysis for agriculture and honey bee health monitoring

```
1: procedure CO2(C0,...C4, T) ▷ CO2 over 24 hours and  
   current temperature  
2:   Cavg ← average(C0,...C4)  
3:   Cmax ← max(C0,...C4)  
4:   Cmin ← min(C0,...C4)  
5:   deltaC ← Cmax – Cmin  
6:   if Cavg < 450 AND T > 7 then  
7:     alarm1           ▷ Potential illness or swarm  
8:   else Cavg < 450 AND T < 7  
9:     alarm2           ▷ Colony may be hibernating  
10:  end if  
11:  if deltaC > 20 then  
12:    alarm3          ▷ CO2 is fluctuating - check hive  
13:  end if  
14:  sleep             ▷ Wait for another sample  
15: end procedure
```

Fig. 7. Carbon dioxide threshold algorithm.

```
1: procedure TEMP(T0,...T6) ▷ Temperature over 24 hours  
2:   Tmax ← max(T0,...T6)  
3:   Tmin ← min(T0,...T6)  
4:   deltaT ← Tmax – Tmin  
5:   if Tmin < 7 then  
6:     alarm2           ▷ Hive is too cold  
7:   else if Tmax > 37 then  
8:     alarm1           ▷ Hive is too warm  
9:   end if  
10:  if deltaT < 20 then  
11:    alarm3          ▷ Temperature is fluctuating - check hive  
12:  end if  
13:  sleep             ▷ Wait for another sample  
14: end procedure
```

Fig. 8. Temperature threshold algorithm.

Classes

1. Condições normais de umidade, temperatura e CO₂;
2. Hibernação das colônias no inverno;
3. Abelhas ventilando para evaporação do néctar;
4. Colônia com baixa umidade, ideal para o controle de pragas durante o inverno;
5. Colônia sem flutuação temperatura diurna (Abandono ou morte);
6. Colônia com grande flutuação de temperatura diurna (> 20°C), podendo indicar colônia fraca ou doente;
7. Colônia com grande flutuação de CO₂ (>15 ppm), indicando colônia fraca ou doente;
8. Colônia sem níveis de CO₂ médios esperados, podendo indicar redução da população;
9. Colônia com temperatura interna alta, indicando atenção para melhorar a ventilação;
10. Alta umidade na colônia podendo causar danos para a colônia.

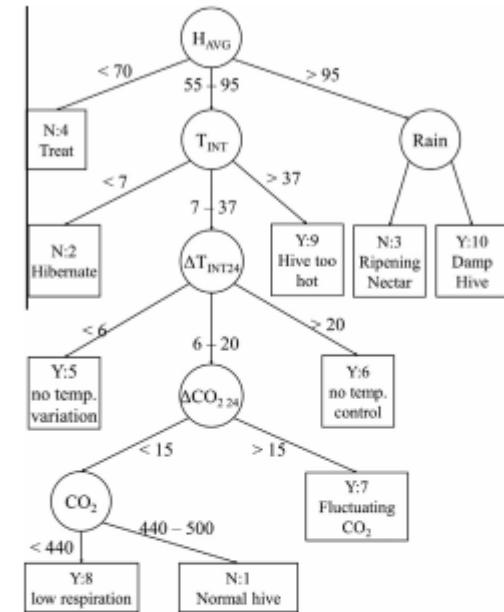


Fig. 9. Decision tree induced from the training set for hive classification.

$$I(Y;X) = H(Y) - EH(X) \quad (1)$$

$$H(A) = -\sum_{i=1}^K P_i \log_2 P_i \quad (2)$$

$$EH(B) = \sum_{i=1}^K \frac{P_i}{P} H(P_i) \quad (3)$$

- Os resultados de duas implantações foram analisados a partir de perspectivas biológicas, meteorológicas e de engenharia. Um algoritmo baseado em threshold foi proposto pela primeira vez para detectar mudanças importantes nas colmeias e alertar o apicultor.
- A análise de uma árvore de decisão desenvolvida classificou a colmeia em um dos dez estados possíveis. O algoritmo pode classificar com precisão a colmeia em 95,38% dos casos.
- A partir da análise meteorológica, uma árvore de decisão de previsão do tempo a curto prazo, local foi proposto utilizando níveis de CO₂ in vivo (95,4% de acerto, a ser validado em estudos futuros). Este algoritmo previu padrões de chuva local para a colmeia específica monitorada.
- Esses algoritmos foram implantados no 3G/GSM node habilitado e aumento dos requisitos de energia em apenas 5,35%.

5. Considerações finais

- O BEEtag ou QRcode juntos com o computação visual pode ser utilizado como ferramenta sensorial para reconhecimento de padrões comportamentais e biológicos das abelhas. Além disso, a utilização de sensores para aferição de padrões biológicos, meteorológicas pode auxiliar para uma melhor acurácia dos métodos;
- O Machine learning usado para aplicar automaticamente os conhecimentos apícolas estabelecidos aos dados coletados, permitindo a identificação precoce de problemas de saúde para melhorar a saúde das colônias, bem como a análise de comportamento;
- O especialista deve atuar em conjunto com os desenvolvedores para uma aprendizagem supervisionada com maior precisão na determinação de comportamento ou, até mesmo, de distúrbios que possam resultar em falsos positivos.

Apicultura de precisão: Utilização de “Machine Learning” para reconhecimento de padrões biológicos em abelhas



Antonio Diego de Melo Bezerra

Engenheiro Agrônomo

Doutor em Produção Animal,

E-mail: antonniodiego@hotmail.com