

REDES INALÁMBRICAS DE GEOSENSORES APLICADAS EN SISTEMAS DE OBSERVACIÓN Y MONITOREO AMBIENTAL

WIRELESS GEOSENSOR NETWORKS APPLIED IN OBSERVATION SYSTEMS AND MONITORING ENVIRONMENTAL



AUTOR

JORGE ANTONIO BLANCO VELANDIA
Magister(c)
*Universidad Distrital Francisco José de
Caldas
Estudiante
Grupo Internacional de Investigación en
Informática, Comunicaciones y Gestión
del Conocimiento – GICOGE
jorgeblanco@uniboyaca.edu.co
COLOMBIA

AUTOR

JOSÉ NELSON PÉREZ CASTILLO
Doctor
*Universidad Distrital Francisco José de
Caldas
Docente Universitario e Investigador
Director del Grupo Internacional
de Investigación en Informática,
Comunicaciones y Gestión del
Conocimiento - GICOGE
nelsonp@udistrital.edu.co
COLOMBIA

INSTITUCIÓN

* UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO
JOSÉ DE CALDAS
UDISTRITAL
Carrera 7 No. 40B – 53
admisiones@udistrital.edu.co
COLOMBIA

INFORMACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN O DEL PROYECTO: El presente artículo de revisión surge como resultado de un estudio realizado en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas al interior del Grupo Internacional de Investigación en Informática, Comunicaciones y Gestión del Conocimiento – GICOGE en el marco del proyecto general denominado: Modelo para el manejo de la información geográfica generada por una red inalámbrica de Geosensores, proyecto específico: Plataforma de computación grid para redes inalámbricas de Geosensores.

RECEPCIÓN: Febrero 20 de 2012

ACEPTACIÓN: Marzo 27 de 2012

TEMÁTICA: Sistemas inalámbricos y móviles, Teleaplicaciones

TIPO DE ARTÍCULO: Artículo de Revisión

RESUMEN ANALÍTICO

Este artículo aborda una visión general sobre los componentes que integran la plataforma computacional base para el funcionamiento de una Red Inalámbrica de Geosensores (GSN, Wireless GeoSensor Network) y modelos de envío de datos por demanda, continuos, conducidos por eventos e híbridos que se pueden establecer entre estos componentes. Describe los tipos de GSN y presenta gráficamente las diferentes arquitecturas empleadas en las GSN para colección de información y la forma como cada una beneficia a los tipos de GSN. Las particularidades que debe ofrecer una GSN en cuanto a calidad de servicio (QoS) son analizadas. Se definen los sistemas de monitoreo ambiental como un sistema continuo de observación de medidas y evaluaciones para propósitos definidos y se presentan ejemplos de los diferentes tipos de sistemas de control y observación ambiental tales como sistemas de observación terrestre, sistemas de observación geológica y sistemas de observación acuática. Describe las áreas de investigación relacionadas con los desafíos de las GSN, programación y plataformas, administración inteligente de energía y sensor web.

PALABRAS CLAVES: Redes Inalámbricas de Geosensores, Sistemas de observación y monitoreo ambiental, Sensor web, Redes Inalámbricas de sensores

ANALYTICAL SUMMARY

This article discusses an overview about the components which form the basis for computing platform running a Wireless Geosensors Network (GSN) and sending data models on demand, continuous, event-driven and hybrid that can be established between these components. Describes the types of GSN and graphically presents the different architectures used in the GSN for collection of information and how each benefits the types of GSN. The special GSN should offer in terms of service quality (QoS) are analyzed. Defined environmental monitoring systems as a continuous system monitoring and evaluation measures for defined purposes and examples of different types of control systems and environmental monitoring systems such as Earth observation, geological observation systems and systems aquatic monitoring. Describes the researching areas related to the challenges of the GSN, programming and platforms, intelligent power management and sensor web.

KEYWORDS: Wireless Geosensor Networks, Observing systems and environmental monitoring, Sensor web, Wireless Sensor Networks

INTRODUCCIÓN

La necesidad del ser humano de pronosticar situaciones de la naturaleza como erupciones volcánicas, inundaciones, movimientos sísmicos, tsunamis entre otras, lo han llevado a diseñar redes inalámbricas de Geosensores (GSN) implementadas "in situ" que pueden monitorear variables físicas, ambientales o atmosféricas, permitiendo generar alertas tempranas y consecuentemente prevenir catástrofes mayores.

La evolución tecnológica de los dispositivos que conforman una WSN y especialmente su reducido tamaño han permitido a este tipo de redes estar en toda parte, incluso dentro de un ser vivo, lo que ha generado

nuevas tendencias en el desarrollo de redes de sensores especialmente en el seguimiento a especies en vía de extinción, control de procesos industriales, aplicaciones militares y particularmente en GSN.

Un área de aplicación de las GSN es el monitoreo ambiental. De acuerdo con Nittel [1] se han diseñado GSN para construir sistemas de observación terrestre (seguimiento de especies animales o vegetales), sistemas de observación geológica (monitoreo de actividad sísmica, glaciales y maremotos) y sistemas de observación acuática (monitoreo de parámetros químicos, físicos y biológicos en agua dulce o ecosistemas marinos [3]).

1. PLATAFORMA COMPUTACIONAL

Las GSN se fundamentan en las Redes Inalámbricas de Sensores (WSN, Wireless Sensor Networks) [10], las GSN son redes inalámbricas de sensores para monitoreo de fenómenos físicos o ambientales dentro de un espacio geográfico [7], basadas en los conceptos de detección, procesamiento y transmisión. Detección de acontecimientos dentro de un espacio geográfico determinado (campo de sensado), procesamiento de los datos sensados y transmisión de estos datos a los nodos colectores (sink) [36] Se consideran también como un conjunto de nodos de sensores que supervisan fenómenos en un espacio geográfico, estos nodos captan y transmiten a sus vecinos, estos a su vez retransmiten a sus nodos vecinos y así sucesivamente hasta que los datos colectados llegan a una estación base y de allí a redes de datos tradicionales. Una vez los datos han llegado a su destino pueden ser procesados por aplicaciones especializadas obteniendo de esta forma información en tiempo real de la actividad en el área geográfica de interés [11][42]

La plataforma de computación de una Red Inalámbrica de GeoSensores (GSN) está formada por dos componentes principales, el hardware o componente físico y el software o componente lógico. El primero lo conforman nodos sensores, puertas de enlace, estaciones base y la red de datos convencional. El componente software refiere al sistema operativo de los nodos sensores, bases de datos y aplicaciones propias.

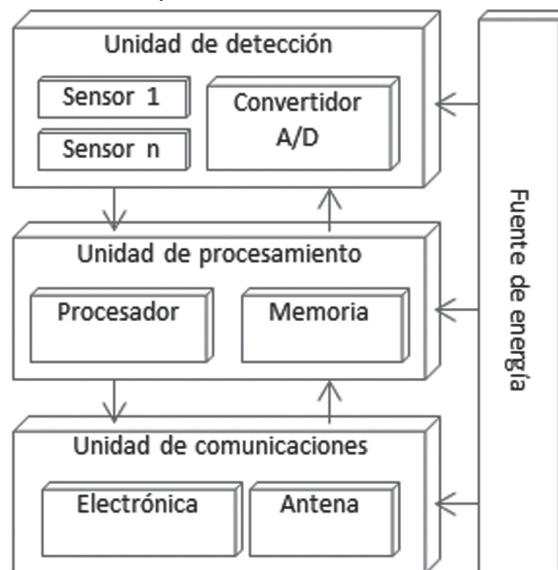
1. 1 COMPONENTES FÍSICOS DE LA PLATAFORMA

1.1.1 Nodo Sensor

La arquitectura de un nodo sensor se muestra en la Figura 1, formado por una unidad de procesamiento pequeña y de bajo consumo energético [45][8][27] [34], un módulo de memoria que permitirá realizar el almacenamiento temporal de los datos sensados, el módulo de comunicación encargado de enviar y recibir datos [37][16], y las unidades de sensor consideradas desde el punto de vista de las GSN como dispositivos electrónicos que captan y convierten magnitudes ambientales en valores medibles de dicha magnitud. Según [43] este proceso se realiza en tres pasos: (1) el fenómeno físico es capturado por el sensor y genera una señal eléctrica como salida dependiente del valor de la variable física, (2) la señal es modificada por un sistema electrónico de acondicionamiento de señal cuya salida es un voltaje, (3) el sensor amplifica o transforma la tensión de salida, la cual pasa al conversor A/D que convierte la señal de tensión continua en una señal discreta enviada a la Unidad de Procesamiento.

Para optimizar el consumo de energía, la elección del medio de comunicación a usar en GSN se establece como uno de los factores más importantes dado que cada medio posee sus propias bondades y limitaciones [3] En general los enlaces inalámbricos que pueden establecerse en GSN varían entre Radio Frecuencia (RF), medios ópticos, ultrasonido y técnicas de inducción magnética; [26][8] siendo RF el medio de comunicación más empleado en GSN.

FIGURA 1. Arquitectura nodo sensor



Fuente: Autor, basado en [34][45]

1.1.2 Puerta de Enlace

La puerta de enlace o Gateway actúa como coordinador de red, encargado de autenticar el nodo, almacenar mensajes y ser puente entre la GSN y la red tradicional. Puede implementarse diferentes Gateway cada uno comunicándose por un canal inalámbrico diferente [32]

1.1.3 Estación Base (sink)

Llamados también nodos colectores, su función es coleccionar información de los nodos sensores. Existen aplicaciones con escenarios de un solo sink, o con múltiples sink fijos o móviles acondicionados a elementos que le permiten movilidad [33] En ocasiones los nodos sensores no tienen línea de vista con el nodo sink debido a condiciones geográficas del terreno impidiendo el envío de datos de manera directa, por esta razón la comunicación entre el nodo sensor y el sink se realiza mediante enrutamiento por múltiples saltos (multihop) que beneficia el consumo energético de los nodos sensores [27]

Los protocolos de enrutamiento y de control de acceso al medio dependen del modelo de envío de datos que se emplee ya que están directamente relacionados con el consumo de energía.

1.2 MODELOS DE ENVÍO DE DATOS ENTRE ELEMENTOS DE UNA GSN

Los modelos de envío de datos se establecen de acuerdo a la periodicidad con la cual los nodos sensores envían datos al sink.

1.2.1 Conducido por eventos (event – driven)

Los nodos sensores reportan los datos sensados al sink tan pronto como un evento específico ha sido detectado. Este modelo suele ser implementado en GSN de tiempo real y típicamente de misión crítica como ejemplo incendios forestales, tsunamis o derrames de químicos [33, 28]

1.2.2 Modelo de envíos continuos (time-driven)

Los nodos sensores reúnen información desde el área geográfica y envían los paquetes de acuerdo a una tasa de transmisión previamente establecida [33][28] Este modelo es usado en aplicaciones de GSN de bajo impacto relacionadas con muestreos de calidad del aire en una ciudad, o temperatura ambiental.

1.2.3 Modelo por demanda (on-deman)

Los usuarios deciden cuando solicitar los datos. Ellos envían instrucciones a la GSN indicando el instante de captura y posterior envío de datos [33]

1.2.4 Modelo Híbrido

Existen aplicaciones GSN donde deben coexistir los modelos descritos.

2. ARQUITECTURA DE LAS GSN

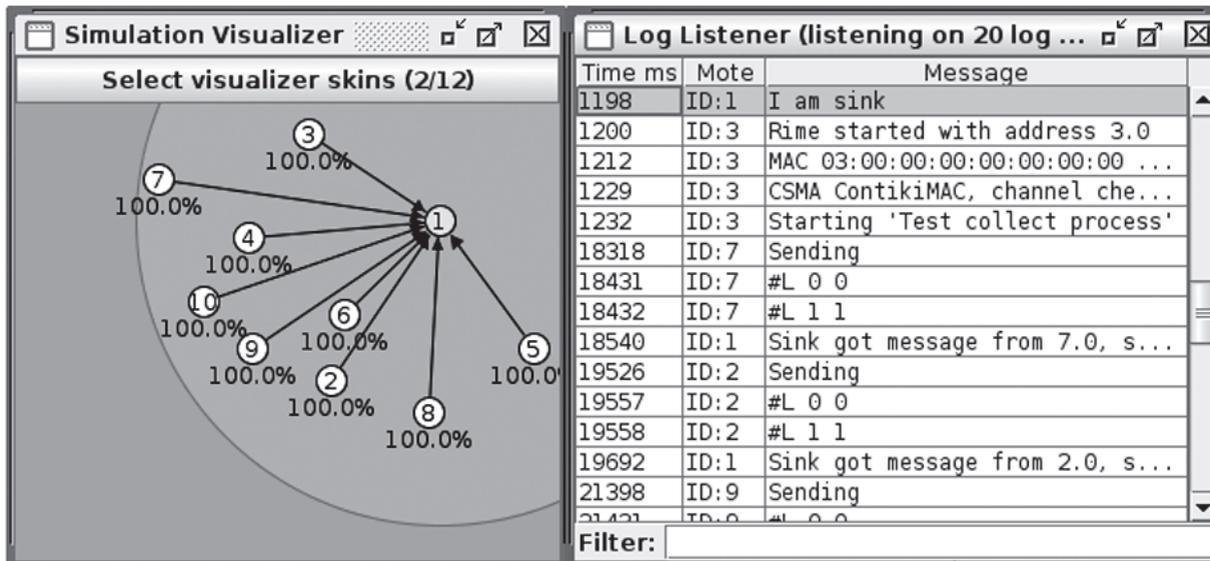
Existen dos tipos de GSN: homogéneas y heterogéneas. En las homogéneas todos los nodos sensores realizan la misma función. En las heterogéneas los nodos sensores realizan funciones diferentes.

Se establecen dos tipos de arquitectura: GSN centralizadas donde los nodos se comunican directamente con el nodo Sink (favorece a GSN homogéneas) y la arquitectura distribuida en la cual los nodos sensores son agrupados en clusters, arquitectura indicada para GSN heterogéneas [29][25][39]

2.1 ARQUITECTURA CENTRALIZADA

La Figura 2 muestra que el sink es el círculo indicado con el número 1, los demás envían sus datos sensados a este nodo. El sector circular verde indica el entorno de radio que alcanza la unidad radio del sink.

FIGURA 2. Simulación de una GSN centralizada



Fuente. Autor, empleando simulador COOJA [48]

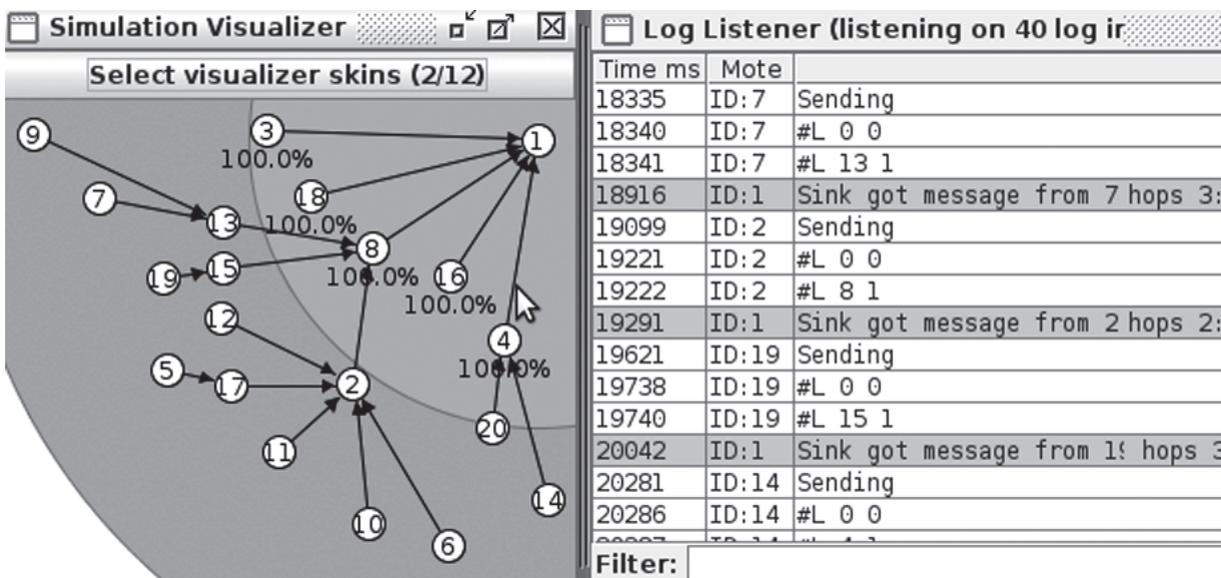
2.2 ARQUITECTURA DISTRIBUIDA

La Figura 3 muestra como los nodos sensores son agrupados en clusters para ejecutar algoritmos distribuidos y obtener una respuesta global que el nodo cabecera (cluster head) se encargará después de comunicar al skin.

Independiente del tipo de arquitectura empleada el despliegue topológico de los nodos afecta directamente al protocolo de enrutamiento usado. El despliegue

puede hacerse de forma determinista, dinámico o mixto. Para el primero la ubicación geográfica de cada nodo sensor es planeada, las líneas de enrutamiento están definidas, mientras en el segundo la ubicación geográfica de los nodos sensores no es planificada, son GSN auto-organizadas, los nodos se diseminan de forma aleatoria formando redes Ad-Hoc [34] El despliegue mixto propone la diseminación de los nodos sensores en el área geográfica y seguidamente en sitios planeados implantar sinks, el consumo de energía se hace más eficiente dado que el enrutamiento del sink al gateway o a la red puede ser planificado.

FIGURA 3. Simulación de una GSN Distribuida



Fuente. Autor empleando simulador COOJA [48]

3. CALIDAD DE SERVICIO (QOS)

A diferencia de las redes tradicionales las GSN además de transmitir información también interactúan con un entorno geográfico, esto hace que tengan sus propias particularidades al momento de entregar Calidad de Servicio [30][8][29]:

- Ancho de Banda limitado: Establecer un balance entre el tráfico de captación y el tráfico de control. Energía: limitada a la duración de la batería. Esta duración depende del volumen de datos sensados, la frecuencia de captura, envío y el enrutamiento de los paquetes.
- Límite de memoria (buffer): Los nodos durante el proceso de transmisión se encuentran recibiendo – transmitiendo, este cambio produce consumo de energía que puede minimizarse si el nodo posee un buffer suficientemente grande.

- Tráfico: El soporte de tráfico puede variar de un nodo a otro, esto implica que el tráfico no sea balanceado. Dependiendo de la arquitectura de la red existirá congestión en los nodos cabecera o nodos sink.

Las GSN pueden contener cientos o miles de nodos sensor, la Calidad de Servicio debe escalar aunque el número de estos aumente. Analizar el número de sink de manera que no se generen cuellos de botella en el proceso de transmisión. Lo anterior va ligado al tipo de arquitectura y de red que se implemente.

4. OBSERVACIÓN Y MONITOREO AMBIENTAL

Los sistemas de monitoreo ambiental se definen como un sistema continuo de observación de medidas y evaluaciones para propósitos definidos. Nittle [29] al igual que el CENS [9xx] clasifican en tres las áreas de aplicación de las GSN: sistemas de observación terrestre, sistemas de observación geológica y sistemas de observación acuática.

4.1 SISTEMAS DE OBSERVACIÓN Y MONITOREO TERRESTRE

Aplicaciones de monitoreo continuo para evaluación y seguimiento de hábitats y cultivos, observación y medición de procesos geofísicos [1] y agricultura de precisión [12]

Generalmente se diseñan empleando arquitecturas distribuidas con topologías en malla y la comunicación entre los nodos se realiza mediante múltiples saltos.

SWAP [6] es un proyecto que aborda el desarrollo de una solución de telemetría basada en redes de inalámbricas sensores, como herramienta facilitadora de técnicas de agricultura de precisión, para la mejora del rendimiento de cultivos con criterios de sostenibilidad.

En la isla de Faro, en el archipiélago de las Cíes (España), se desarrolla el proyecto QUIROTEC [17] El objetivo general del proyecto es la construcción de una plataforma robusta, eficiente y eficaz de monitoreo de variables ambientales en los hábitats de alimentación y desplazamiento de las especies de murciélagos presentes en un área determinada mediante redes inalámbricas de geosensores.

Sonoma Dust [13] es una WSN, constituida por 120 nodos sensores que se instalaron en el condado de Sonoma, California, para supervisar las condiciones de hábitat de la Sequoia (planta perteneciente a la familia de las Cupresáceas). Los nodos con sistema operativo TinyOS [50] se programaron para medir las condiciones ambientales (temperatura, humedad y fotosintéticamente radiación activa) cada cinco minutos y transmitir a través de una red en malla a una estación base local. Los datos se envían desde la estación base a un computador situado a 70 Km de distancia, a través de enlaces de radio [13]

Networked Soil CO2 Sensing Systems [1] es un proyecto desarrollado por el Center for Embedded Networked Sensing (CENS) - University of California, los Angeles (UCLA). El objetivo de este proyecto ha sido examinar la heterogeneidad espacial y temporal de un entorno de suelo dentro de un área de bosque en la Reserva James (Carolina del Sur - EEUU). Las mediciones ambientales del suelo se recogen con diez estaciones, cada una de ellas consta de una serie de sensores bajo tierra, incluido el CO2 del suelo, temperatura del suelo, humedad, temperatura del aire sobre la superficie, humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa [9] [29]

El grupo de investigación TEOS del CENS [9] utiliza sistemas avanzados de detección para investigar

procesos ecológicos críticos. Los proyectos que desarrollan incluyen integración de medición simultánea de múltiples procesos.

A nivel Latinoamericano existen diferentes proyectos de monitoreo ambiental que se basan en GSN:

- Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México SIMAT [37], está integrado por la Red Automática de Monitoreo Atmosférico RAMA que cuenta con 34 estaciones, es el subsistema que realiza mediciones continuas y permanentes de ozono (O3), dióxido de azufre (SO2), óxidos de nitrógeno (NOX), monóxido de carbono (CO), partículas menores a 10 micrómetros (PM10) y partículas menores a 2.5 micrómetros (PM2.5), la Red Manual de Monitoreo Atmosférico (REDMA) que consta de 12 estaciones, la Red de Depósito Atmosférico (REDDA) que tiene 16 sitios de muestreo y la Red de Meteorología y Radiación Solar (REDMET) que opera con 16 estaciones. La información que se genera en los subsistemas RAMA y REDMET del SIMAT, se concentra en el Centro de Información de la Calidad del Aire (CICA), donde cada minuto se obtiene un registro de los 184 sensores automáticos (107 de contaminantes atmosféricos y 77 de parámetros meteorológicos) y cada hora se verifica y valida la información para generar 184 promedios horarios, que se emplean para la generación del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) y el Índice de radiación solar o ultravioleta (IUV). Información útil al gobierno para la toma de decisiones [37]
- Proyecto SINIA, de la Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile [38], es una plataforma organizada de información ambiental georreferenciada, que fortalece el apoyo en la gestión ambiental y la toma de decisiones, permitiendo a todo tipo de actores contar con una herramienta que expresa el componente territorial ambiental [38]
- CEMAM, del Ministerio de Medio Ambiente de Brasil [44]

4.2 SISTEMAS DE OBSERVACIÓN Y MONITOREO GEOLÓGICO

Las aplicaciones desarrolladas en esta área se caracterizan por la detección de eventos en tiempo real [1][3] la comunicación entre los nodos de estas redes se realizan de modo Event - Driven [33][28]

Una red de sensores inalámbricos se desplegó para vigilar las erupciones en el volcán Tungurahua, situado en Ecuador [13][29] Esta red de un solo salto está constituida por cinco nodos de sensores en el que tres de

ellos están equipados con un micrófono especialmente construido para detectar señales infrasónicas originadas por las erupciones volcánicas. Los datos recogidos por los sensores son enviados a un sink local y luego transmitidos a través de enlaces de radio a un computador situado a 9 km de distancia [13][1]

Este tipo de red es empleada también en diferentes países para detectar y medir posibles eventos sísmicos.

Una aplicación exitosa del empleo de geosensores se logró en el rescate de treinta y tres mineros en Chile [19] El 5 de agosto de 2010, treinta y tres mineros quedaron atrapados dentro de una mina en un yacimiento al norte de Chile, no existían mapas ni tomografías de la mina, para obtener esta información fue enviado un geosensor por el ducto producto de un sondaje realizado infructuoso a más de 700 metros que sirvió para confeccionar una tomografía del terreno, esto permitió entregar información gráfica del terreno y de esta forma encontrar el lugar donde se encontraban los mineros y su posterior rescate [19]

4.3 SISTEMAS DE OBSERVACIÓN Y MONITOREO ACUÁTICOS

Sistemas inalámbricos de detección que proporcionan en tiempo real, capacidades de monitoreo de parámetros químicos, físicos y biológicos en agua dulce o ecosistemas marinos [2]

Son redes de Geosensores dotadas de nodos móviles acondicionados sobre Sistemas Inteligentes de Transporte (VANET) [18], animales o boyas oceánicas. Empleadas para detección temprana de tsunami, detección de contaminación y observación de costas y océanos [1]

Un ejemplo de esta área es el sistema Alemán - Indonesia de alerta temprana de Tsunami para el Océano Índico (GITEWS, German-Indonesian Tsunami Early Warning System for the Indian Ocean) [51] el cual ha demostrado su funcionalidad completa durante varios terremotos y tsunamis.

La alerta de tsunami se genera no más de cinco minutos después de un terremoto submarino, tomando como base toda la información disponible de las 300 estaciones construidas en Indonesia durante los últimos 6 años. Éstas incluyen sismómetros, estaciones GPS, mareógrafos y boyas oceánicas. La información se convierte en un mapa situacional que proporciona los niveles de alerta adecuados en la costa afectada [51]

El enfoque técnico del GITEWS se basa en la combinación de diferentes sensores, teniendo como elemento

central la detección y el análisis rápido y preciso de los terremotos, con el apoyo de mediciones GPS [52]

5. DESAFÍOS PARA NUEVAS INVESTIGACIONES EN GSN

El desarrollo de pequeños nodos de computación, el suministro de nuevas baterías renovables, el desarrollo de nuevos microsensores, así como la solución a problemas que se presentan a nivel de software son algunos desafíos que se plantean para el desarrollo de nuevas investigaciones en el área de GSN.

5.1 PROGRAMACIÓN Y PLATAFORMAS

Hoy en día, las interfaces de programación están basadas en lenguaje C o Java [49] El lenguaje de programación nesC [46] fue desarrollado para WSN; TOSSIM [47] y Contiki [48] son entornos de programación que combinan desarrollo de código para simulaciones, depuración y pruebas, que posteriormente se implementan sobre nodos sensores [1]

Los científicos entienden los procesos ambientales, pero necesitan facilidad para reprogramar la red, explorar y desplegar nuevos experimentos en escenarios diferentes de muestreo y distribución espacial. Por lo tanto la recolección de datos y la reprogramación deben ser tareas significativamente simples para que los usuarios de una GSN sean autónomos y no dependan de los programadores [1]

Por otra parte las GSN deben enviar constantemente los datos sensados por cada nodo de acuerdo a modelos enunciados en capítulo 1. El gasto más grande de energía en una GSN se genera en el nodo sensor cuando realiza transmisiones de datos a otros nodos o al sink, consumiendo 800 veces más energía que si realizara el cálculo dentro de los chips del nodo. De esta manera el objetivo del diseño de algoritmos es minimizar el número y el tamaño de mensajes que se envían entre los diferentes nodos de la GSN [1]

En una red GSN de múltiples saltos, los nodos más lejanos al sink conservarán mayor energía que los que están más cerca, debido a que por cada salto el tamaño del mensaje aumenta al igual que la energía empleada para la transmisión. La idea general de nuevas aplicaciones para GSN será no enviar grandes cantidades de datos sino permitir el procesamiento de estos dentro del nodo sensor o dentro de un conjunto de nodos cercanos al fenómeno que está ocurriendo y enviar solo una respuesta que cumpla con las especificaciones del usuario final previamente programada dentro de los nodos.

5.2 ADMINISTRACIÓN INTELIGENTE DE ENERGÍA

Los teléfonos móviles modernos están cambiando de dispositivos simples poco funcionales a dispositivos multifuncionales. Como resultado, una gran cantidad de aplicaciones móviles están surgiendo, muchas de las cuales se ejecutan en segundo plano. La mayoría de las aplicaciones de observación y monitoreo son de este tipo, por lo tanto, estas aplicaciones afectan negativamente la vida de la batería del teléfono [35]

El objetivo de los desarrolladores de aplicaciones de monitoreo para dispositivos móviles será construir aplicaciones que mediante administración inteligente de energía, permitan adaptar su velocidad de operación, monitorear el sistema y planear con anticipación para cumplir con las expectativas del usuario.

5.3 SENSOR WEB

Sensor web hace referencia a una red de sensores frecuentemente inalámbrica que es accesible desde la web, dicho de otra manera la información captada por la GSN es accesible desde la web convirtiendo millones de datos en información útil para predicciones, toma de decisiones o desarrollo de nuevas aplicaciones.

A futuro, la integración de redes de sensores sin importar su diseño o tecnología deberán integrarse y operar de manera transparente para el usuario final como si fuese una sola, llegando a construir plataformas globales de sensores con información en tiempo real de diferentes fenómenos terrestres, acuáticos o geológicos o medición de variables en cualquier parte de la geografía mundial.

Para permitir esta integración global de plataformas de sensores se deberá tener en cuenta la estandarización de las interfaces para conectarse y el acceso a dispositivos, así como la representación estandarizada de los datos sensados [1]

6. CONCLUSIONES

Los avances tecnológicos en el área de sensores y GeoSensores ha cambiado radicalmente las estrategias de recolección, administración y análisis de información geoespacial. Al igual que nuevas técnicas de almacenamiento, recuperación y procesamiento de los datos y el desarrollo de nuevas herramientas de software que apoyan esta labor.

Las arquitecturas centralizada y distribuida han sido empleadas en el diseño de redes de monitoreo atmosféricos y ambiental en diferentes estados Latinoamericanos y en otros proyectos a nivel mundial.

Proyectos y aplicaciones que han sido la base en la toma de decisiones gubernamentales referentes a políticas sobre medio ambiente.

Las GSN modernas establecen un reto para los diseñadores en lo relacionado con la entrega de calidad de servicio teniendo en cuenta que está condicionado por aspectos como el limitado ancho de banda, procesamiento, escasa memoria y energía que hacen que las redes tengan una vida útil corta.

Los sistemas de observación y monitoreo ambiental se presentan como una alternativa tecnológica efectiva para detectar de manera temprana la ocurrencia de fenómenos naturales o establecer estadísticas de calidad del aire, mediciones continuas y permanentes de ozono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno o monóxido de carbono en centros urbanos o industriales.

El futuro de las GSN se proyecta hacia aplicaciones sensor web móviles que permitirán al usuario final consultar, observar o monitorear áreas geográficas sin preocuparse de donde está o de la tecnología de acceso que utilice para ingresar a la red.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NITTEL, Silvia, A Survey of Geosensor Networks: Advances in Dynamic Environmental Monitoring. 2009. (online) Universidad de Maine. EEUU (13 julio 2009). www.mdpi.com/1424-8220/9/7/5664/pdf
- [2] Terrestrial Ecology Observing Systems (online) UCLA. EEUU. disponible en <http://research.cens.ucla.edu/teos/> consultado el 10/08/2011
- [3] MARRON, Pedro José. WHITEHOUSE, Kamin. Wireless Sensor Network, 8th European Conference, EWSN 2011, Bonn Germany, Feb 2011
- [4] I.F. Akyildiz, W. Su*, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci. Wireless sensor networks: a survey; Computer Networks (online). (Atlanta EEUU) dic 2001.
- [5] Wireless Internet of CROPS: Internet de cultivos(online). (2011) disponible en <http://www.wicrops.es/>
- [6] Sistema de telemetría basado en redes WSN para Agricultura de Precisión en Galicia. (online) (2011) disponible en <http://www.swapproject.org>

- [7] NITTEL, Silvia. Geosensor Networks: New Challenges in Environmental Monitoring using Wireless Sensor Networks, Spatial Information Science & Engineering. (University of Maine USA), 2008.
- [8] HOLGER Karl y Andreas Willig. Protocols and Architectures For Wireless Sensor Networks. John Wiley & Sons, Ltda. 2007. 497 p.
- [9] Center for Embedded Networked Sensing - CENS (online). (Enero 2012). disponible en <http://research.cens.ucla.edu/>
- [10] F. L. LEWIS. "Wireless Sensor Networks", e.d D.J Cook and S.K Das, John Wiley, New York, pp 8-9, 2004.
- [11] STEFANIDIS, Anthony y NITTEL, Silvia. NETWORKS GEOSENSOR. Boca Raton London New York Washington, D.C. 2005. CRC PRESS.
- [12] LÓPEZ, Analía. Redes de Sensores sin cables para Agricultura de precisión Congreso Nacional del Medio Ambiente (España). Madrid 2010 disponible en <http://www.conama10.es/conama10/download/files/CT%202010/1000000142.pdf>
- [13] M. Luis y OLIVEIRA Joel J. P. C. Rodrigues, Wireless Sensor Networks a Survey on Environmental Monitoring, journal of communications, vol. 6, no. 2, april 2011, pp 143-151.
- [14] CORKE, Peter y Tim Wark, Raja Jurdak, Wen Hu, Philip Valencia, Darren Moore Environmental Wireless Sensor Networks, IEEE vol 98, No. 11, November 2010, pp 1903-1917
- [15] Ruchi Mittal. M.P.S Bhatia. Wireless Sensor Networks for Monitoring the Environmental Activities 2010 IEEE
- [16] SOHRABY, Kazem. MINOLI, Daniel. F. ZNATI, Taieb. Wireless sensor networks: technology, protocols, and applications. Wiley. 2007
- [17] Monitorización y estudio del hábitat de quirópteros a través de redes de WSN QUIROTEC. (online) España (2011) disponible en <http://www.quirotec.org/>
- [18] SKORDYLIS, A., TRIGONI, Niki, Delay-bounded routing in vehicular Ad-hoc networks. In ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc), Hong Kong, China, 2008.
- [19] 24 HORAS. Con Geosensor buscan posible ubicación de los mineros (online) (CHILE 2008) disponible en <http://24horas.cl/videos.aspx?id=85211>
- [20] NITTEL, Silvia. DUCKHAM, Matt y KULIK, Lars. Information Dissemination in Mobile Ad Hoc Geosensor Networks. 2003
- [21] BUYYA, Rajkumar. SensorGrid: A new Cyberinfrastructure Integrating Sensor Network and Grid Computing for e-Science Applications. (online). Melbourne. 2010. Disponible en <http://www.buyya.com>.
- [22] FERNÁNDEZ RUIZ DE LARRINAGA, María. Gaceta SOST Sobre actualidad europea del I+D+i, Abril 2006 nº 76. Comisión Europea, Dirección General de Sociedad de la Información y Medios
- [23] ZIGBEE. Specifications (online). 2011 disponible en <http://www.zigbee.org/Specifications.aspx>
- [24] BLUETOOTH (online). 2011 <https://www.bluetooth.org/Technical/Specifications/adopted.htm>
- [25] ZHENG, Jun. JAMALIPOUR Abbas. Wireless Sensor Networks A networking Perspective. Wiley-IEEE Press. 2009. 489 p.
- [26] AKYILDIZ, Ian F. CAN, Mehmet. Wireless Sensor Networks. John Wiley & Sons, Ltd. 2010. 516 p.
- [27] DARGIE, Walteneagus. POELLABAUER, Christian. Fundamentals of Wireless Sensor Networks Theory and practice. Wiley. 2010. primera edición. 330 p.
- [28] LI, Yingshu. THAI, My T. WU, Weili. Wireless Sensor Networks and Applications. Springer. 2008. primera edición. 441 p.
- [29] RUIZ, Erica C. Wireless Sensor and Actors Network (online). (Ensenada Argentina) Agosto 2006. Disponible en <http://usuario.cicese.mx/~cruiz/PWSN.pdf>
- [30] INIESTO ALBA, M.J. y CARBALLO CRUZ, P. Sensor Web Enablement: Todos los sensores conectados a la red. [En línea] Madrid. Topcart 2004. disponible en <http://www.cartesia.org/geodoc/topcart2004/conferencias/60.pdf>
- [31] CISCO Systems. CCNA Discovery 4.0

- [32] Jin, Hay y JIANG Wenbin. Handbook of Research on Developments and Trends in Wireless Sensor Networks: From Principle to Practice (online) New Yor EEUU.(2010) disponible en <http://www.cloudbus.org/papers/SensorWeb2010Chapter20.pdf>
- [33] NAYAK , Amiya, Ivan Stojmenovic, Wireless Sensor an actuator Networks Algorithms and Protocols for Scalable Coordination and Data Communication, Wiley. 2010. 300 p.
- [34] KARL, Holger, Andreas Willig. Protocols and Architectures For Wireless Sensor Networks. John Wiley & Sons, Ltda. 2005
- [35] CENS. Smart Power Management on Cellphones (online) (2012) disponible en <http://research.cens.ucla.edu/programming/2010/pro04.pdf>
- [36] STASCH, Christoph, Krzysztof Janowicz y otros. A Stimulus-Centric Algebraic Approach to Sensors and Observations. (online) 2009. disponible en http://geog.ucsb.edu/~jano/Sensors_and_Observations_GSN2009.pdf
- [37] Sistema de Monitoreo Atmosférico. SIMAT (online) Ciudad de Mexico. Mexico. (2012) disponible en <http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/index.php>
- [38] Sistema Nacional de Información Ambiental Territorial. (online). Santiago de Chile. Chile 2012. disponible en <http://territorial.sinia.cl/portal/inicio.php>
- [39] ESCOLAR DÍAZ, M. Soledad. Wireless sensor networks: estado del arte e investigación. (online) (2011) http://arcos.inf.uc3m.es/~sescolar/index_files/presentacion/wsn.pdf
- [40] ILYAS, Mohammad. MAHGOUB Imad. Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems, .CRC Press LLC. 2005
- [41] CAPRILE, Sergio R. Desarrollo de aplicaciones con comunicación remota basadas en módulos ZigBee y 802.15.4. Buenos Aires: Gran Aldea. Editores – GAE. 2009
- [42] VIVEK, Mhatre and Catherine Rosenberg. Design guidelines for wireless sensor networks: communication, clustering and aggregation. Ad Hoc Networks, pág:45– 63, 2004.
- [43] SENSORES. (online). 2011. disponible en <http://www.isa.cie.uva.es/~maria/sensores.pdf>
- [44] CEMAM, del Ministerio de Medio Ambiente de Brasil. (online). 2011disponible en <http://siscom.ibama.gov.br/index.php?page=inicio>
- [45] S.CHAROENPANYASAK, W. Suntiamorntut, The Next Generation of Sensor Node in Wireless Sensor Networks. Journal of Telecommunications, volume 9, issue 2, july 2011
- [46] Gay, D.. Welsh, M.. Levis, P.. Brewer, E.. Von Behren, R.. Culler, D. The nesC language: A holistic approach to networked embedded systems. In Proceedings of Programming Language Design and Implementation. (online). 2011. disponible en <http://www.tinyos.net/papers/nesc.pdf>
- [47] Levis, P.. Lee, N.. Welsh, M.. Culler, D. TOSSIM: Accurate and scalable simulation of entire tinyos applications, (online) (2011) disponible en <http://www.cs.berkeley.edu/~pal/pubs/tossim-sensys03.pdf>
- [48] CONTIKI. (online). (2011). disponible en <http://www.contiki-os.org/>
- [49] ORACLE. (online). (2011). <http://www.oracle.com/technetwork/java/index.html>
- [50] TINYOS. (online). (2011). disponible en <http://www.tinyos.net/>
- [51] German-Indonesian Tsunami Early Warning System for the Indian Ocean. GITEWS. (online) (2012). disponible en <http://www.gitews.org/>
- [52] Completan la instalación del sistema de alerta temprana de tsunamis del Océano Índico (online) (2012) <http://www.solociencia.com/ingenieria/11013105.htm>