



RECIBE

Revista electrónica
DE COMPUTACIÓN, INFORMÁTICA, BIOMÉDICA Y ELECTRÓNICA

COMPUTACIÓN
INFORMÁTICA
BIOMÉDICA
ELECTRÓNICA

Año 1 No. 1

Índice

Editorial

Presentación	I
Bienvenida	II

Computación e Informática

Collaborative Nonverbal Interaction within Virtual Environments	III
Adriana Peña Pérez Negrón	
Discovering epistemological axes for academic programs in computer science through network analysis	IV
Luis Casillas Santillán	
Alonso Castillo Pérez	

Electrónica

Retos sobre el Modelado del Transistor de Compuerta Flotante de Múltiples Entradas en Circuitos Integrados V

Agustín Santiago Medina Vázquez

María Elena Meda Campaña

Marco Antonio Gurrola Navarro

Edwin Christian Becerra Álvarez

Biomédica

De la ingeniería Biomédica al aula de Matemáticas VI

Avenilde Romo-Vázquez

Rebeca Romo-Vázquez

Hugo Velez-Pérez



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.

Presentación

Fue hace apenas unos meses que la Dra. Adriana Peña Pérez Negrón manifestó su interés por fundar una revista electrónica que, por una parte, estimulara el trabajo académico de los docentes, y por otra, facilitara la publicación de algunos productos que se generan en el proceso de la investigación. Es notable la rapidez con la que el primer número de este proyecto ha visto la luz.

El proyecto ofrece una alternativa para dar a conocer los resultados de la exploración del campo teórico, la síntesis de los antecedentes del problema a estudiar, así como otros elementos del estado del arte inherentes a un trabajo de investigación. No está por demás mencionar que en este propósito subyace el anhelo de que alguno de los investigadores publique resultados novedosos de investigación en esta revista.

Sin embargo, la idea del proyecto de la doctora Peña Pérez Negrón que más llama mi atención es el hecho de promover artículos “sesudos o espontáneos” que critiquen inteligentemente otros trabajos de investigación, la tendencia en los temas, los sesgos de género o de raza, los prejuicios acerca de los métodos, o cualquier otro aspecto involucrado en la investigación científica y tecnológica. Sería, sin duda alguna, el espacio que Jonathan Swift habría tomado para hacer una sátira de las aportaciones de Newton y de lo que él considera una búsqueda ciega de la ciencia que la Royal Society de Londres apoyaba. Similarmente, durante la crisis de los fundamentos, detonada por David Hilbert, surgieron los intuicionistas cuyo papel en la crítica del formalismo fue sin duda un gran motor del desarrollo de la matemática del siglo XX.

La libertad del formato y de los contenidos no transige con la calidad de la publicación. Se ha formado un comité editorial con investigadores muy ReCIBE, Año 1 No. 1, Noviembre 2012 reconocidos en los campos hacia los cuales la revista se orienta. El buen éxito está sostenido en el prestigio que deberá alcanzar por su rigurosidad académica. En consecuencia, no está en duda que los profesores de esta División y de otras universidades nacionales y extranjeras encuentren en esta revista un espacio de difusión para la noble tarea a la que se dedican.

Mtro. Alonso Castillo Pérez
Director de la División de Electrónica y Computación



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons
Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.

Bienvenida

ReCIBE es una revista electrónica que busca la divulgación del conocimiento científico en diversas áreas de la ingeniería como la Computación, la Informática, la Biomédica y la Electrónica.

Consideramos que la divulgación debería ser una obligación para todo aquel que tenga la capacidad de analizar, sintetizar o generar conocimiento en busca del crecimiento de un pueblo. Para ello existen muchas revistas de carácter científico en dónde publicar resultados generados del arduo trabajo de la investigación y con la experiencia en la industria. Sin embargo, ReCIBE tiene un punto más a favor en comparación a otras revistas, y es que en verdad estamos interesados en la divulgación y en la discusión más que en la competencia.

Muchos trabajos valiosos se quedan en el tintero por el hecho de no ser considerados desde su concepción como conocimientos que cambiarían al mundo, nosotros tenemos la filosofía de que una buena idea puede salir prácticamente de cualquier parte. Por lo anterior, cualquier trabajo se convierte en un conocimiento con el potencial para alcanzar metas más grandes.

Aunque ReCIBE da prioridad a los trabajos que a juicio de los evaluadores presentan mayor potencial para revolucionar la ciencia, otro tipo de trabajos como son los de estado de arte, análisis o síntesis, son de relevante valor pues pensamos que este tipo de aportaciones facilitan notoriamente el trabajo del investigador al colocar los conceptos más importante de un tema en un mismo lugar, y por supuesto, esto mejora la visión del interesado. Además, en muchos casos, un texto sencillo puede aclarar las dudas que pudieran impedir el

generar nuevas ideas, las cuales ampliarán posteriormente las fronteras del conocimiento.

Bien se dice que una buena crítica es más constructiva que miles de alabanzas, y es por eso que en esta revista se publicarán los resultados buscando esa crítica de la comunidad participante para mejorar nuestros trabajos con la colaboración multidisciplinaria.

Debido a lo anterior, le damos la bienvenida a toda la comunidad académica e industrial, y los invitamos a presentar sus trabajos con el fin de promover sus temas de interés, los cuales serán validados por evaluadores expertos, principalmente en el área de la Computación, la Informática, la Biomédica y la Electrónica. De esta manera, esperamos que ReCIBE se convierta en un punto de discusión sobre los temas que están cambiando al mundo.

Dr. Santiago Medina Vázquez
Editor de Electrónica de ReCIBE

Agradecimientos

ReCIBE desea hacer manifiesto su agradecimiento al Mtro. Alonso Castillo Pérez, Director de la División de Electrónica y Computación, sin cuyo respaldo no hubiera surgido el presente proyecto.

Así mismo, agradecemos el apoyo que para la gestión de ReCIBE nos está brindando el Mtro. Sergio Fernando Limones Pimentel, Secretario Académico del CUCEI.

De igual forma, extendemos nuestro agradecimiento al Departamento de Difusión del CUCEI que a través de la Lic. Cristina Neri Cortés nos ha auxiliado en diferentes tareas.

Por último, de manera personal, quiero expresar mi reconocimiento a los compañeros del Comité Editorial quienes afortunadamente se han comprometido conmigo en esta faena, mil gracias.

Dra. Adriana Peña Pérez Negrón
Editora General de ReCIBE



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.

Collaborative Nonverbal Interaction within Virtual Environments

Adriana Peña Pérez Negrón
Computer Science Department
CUCEI – Universidad de Guadalajara
adriana.ppn@red.cucei.udg.mx

Abstract: Current virtual environments are predominantly visual-spatial, which allows their 'inhabitants' the display, either in a conscious or unconscious way, of nonverbal cues during interaction, such as gaze direction, deictic gestures or location. This interchange of nonverbal messages enriches interaction while supports mutual comprehension, fundamental for collaborative work and therefore particularly important in a multiuser virtual environment, that is, a Collaborative Virtual Environment. Different techniques, the media involvement, and automatic detection related collaborative nonverbal interaction are here discussed.

Keywords: Collaborative Virtual Environment, nonverbal communication, collaborative interaction

Interacción Colaborativa No-Verbal en Entornos Virtuales

Resumen: Los actuales entornos virtuales son predominantemente visual-espaciales, lo que permite a sus 'habitantes' el despliegue, ya sea de manera consciente o inconsciente, de señales no verbales durante la interacción, como son la dirección de la mirada, la gesticulación deíctica o la localización. Este intercambio de mensajes no verbales enriquece la interacción mientras ayuda a una comprensión mutua, fundamental para el trabajo colaborativo y por lo tanto particularmente importante en un entorno virtual multiusuario, esto es, un Entorno Virtual Colaborativo. Diferentes

técnicas, la participación de los medio de comunicación, y la detección automática relacionada con la interacción colaborativa no verbal son aquí comentados.

Palabras clave: Entornos Virtuales Colaborativos, comunicación no verbal, interacción colaborativa.

1. Introduction

During interaction, our nonverbal behavior may comprise most of what we do, including paralanguages cues like loudness, tempo, pitch or intonation of the speech (Patterson, 1983). Moreover, the use of certain objects like the decided outfit, or the physical environment when used to communicate something, without explicitly saying it, has traditionally being considered as nonverbal communication (Knapp & Hall, 2010). Therefore, a simple way to describe nonverbal interaction could be by emphasizing what it is not: the interaction effected by other means than the words signification or meaning.

Nonverbal behavior enriches interaction while supports mutual comprehension fundamental for collaboration (Bolinger, 1985).The functions people give to their nonverbal messages during interaction are to repeat, substitute, complement, accent, regulate or even contradict the spoken message ((Knapp & Hall, 2010), which expose its complexity and large extent. Kujanpää and Manninen (2003) created a satellite type model based in social sciences and communication literature of the different forms of nonverbal communication (NVC) elements, which they claim is an exhaustive set, some of the areas of study included in the model are olfatics, occulesics and chronemics.

However, as extend as it might be in real life, the nonverbal behavior in a virtual environment (VE) is clearly constrained by the media where the senses involved are usually just vision and audition, and eventually some constrained touch feedback through haptic devices. A VE as defined by Schroeder (2011) is:

“a computer-generated display that allows or compels the user (or users) to have a feeling of being present in an environment other than the one that they are actually in and or interact with that environment, - in short, ‘being there’”.

Where the computer- generated display can represent either a real life or an imaginary scenario, and it also can be based on only text, 2 or 3 dimensional graphical representations, however most current VEs are primarily visual experiences. Because of their spatial feature, proper for the display of nonverbal cues, in this paper only 3D representations are discussed.

In order to interact with the virtual world the user requires a graphical representation within it, that is, his/her avatar. Broadly defined, any form of the user representation in the VE can be considered his/her avatar, such as the mouse pointer, although not any representation supports transmitting nonverbal communication cues, those avatars which do better, Salem (1964), categorized and characterized in three groups:

1. Abstract, represented by cartoon or animated characters with limited or predefined actions;
2. Realistic with high level of realism, which imply high cost in technology and hardware resources; and
3. Naturalistic, those with a low-level details approach and that can be characterized as humanoid-like avatars that can display some basic humans' actions or expressions.

Over time, avatars have become more complex creations with animated movements that aid in the expression of the avatar's personality and supplement various social interactions (Ahn, Fox, & Bailenson, 2012).

The first 3D animations for humanoids were created only by artistic means, sometimes generating a not complete believable effect of the character's nonverbal expressions, getting what is known as the “uncanny valley”. This phenomenon is the hypothesis for robots described by Mori (1970) as the relation between human likeness and perceived familiarity, where familiarity increases with human likeness until a point is reached at which subtle

differences in appearance and behavior create an unnerving effect (MacDorman, 2005). Even though, there has been little direct scientific investigation on this effect (MacDorman, 2005), the term has been extended to 3D virtual humanoids. A common practice nowadays, to obtain realistic facial expressions and body language in the animated movies, is the mocap or motion capture, which consists on the transfer of them directly from the actor to the virtual character through different techniques.

Nevertheless, in a computer animated movie or video, the user does not interact with the VE, when interaction is involved in the VE, it is referred as Virtual Reality (VR). The most common classification for VR is related to the users' degree of immersion as desktop-VR, augmented reality and immersive VR:

- In desktop-VR the user can interact with the real and the virtual world at the same time. This technology is considered relatively cheap and therefore easier to spread.
- Augmented reality incorporates computer-generated information into the real world supplementing it with virtual objects that appear to coexist in the same space; and
- In immersive VR the user can interact exclusively with the virtual world, such as with the use of a HMD (head mounted display) like the one shown in Figure 1.



Figure 1. Head mounted display (HMD)

The user interaction with the virtual world is composed by four virtual behavioral primitives (Mine, Brook, & Sequin, 1997):

1. Navigation, the displacement of the user in the virtual space and the “cognitive map” he/she builds of it.
2. Selection, the action of pointing to an object.
3. Manipulation, the modification of the state of an object; and
4. System control, the dialogue between the user and the application, usually going through menus.

Still, in the virtual world the user will be able to interact not only with objects but with virtual inhabitants represented in the world in the same way than the user, by an avatar. And then again, because the focus in this paper is the display of nonverbal interaction in VEs, only humanoid virtual inhabitants will be considered, that by having physical body representation can be very helpful in aiding interaction (Imai et al., 2000)

1.1 Virtual Humans

The research with virtual humans has taken two leading fields as Ahn et al., (2012) pointed out: 1) the use of virtual humans to study social interaction and 2) the use of people to create avatars and agents.

VEs have been used in social science studies because they present a number of advantages such as to allow the researcher to create more realistic experimental situations compared to a lab; also in VEs a lot of the users' movements can be tracked; and the exact same stimulus can be replicated over and over (Blascovich, Loomis, Beall, Swinth, & Hoyt, 2001). As a result, a wide variety of social psychological phenomena have been examined in them, including nonverbal behavior (Ahn et al., 2012).

An example of the study of people nonverbal behavior in VEs is the well-known conducted by (Bailenson, Blascovich, Beall, & Loomis, 2003) where several trials were carried out to understand Proxemics –the study of how man unconsciously structures microspace (Hall, 1968)–, in VEs. On them, the participants clearly treated virtual humans in a similar way to actual humans by keeping their real life proxemic behavior.

For the field of studying people to create virtual humans, a distinction has to be made of humanoid figures from those with autonomy and that can interact with the user, which are considered as intelligent virtual agents (IVAs). IVAs are interactive characters that can communicate with humans or with each other using natural human modalities, therefore its creation involves a number of fields such as sociology, psychology, computer science, artificial intelligence, linguistics and cognitive science.

The other way around the Bailenson et al. (2003) study aforementioned can be (Jan & Traum, 2007), where the authors based on the understanding of Proxemics (Hall, 1968) and how people position themselves in different

situations (Kendon, 1990), formulated a number of algorithms to simulate people movements and position during conversations in agents.

Because of its complexity, facial expressions and conversation face movements represent a great challenge when it comes to implement them in an IVA, even without considering the interaction agent-human. An animation system called RUTH (stands of Rutgers University Talking Head) represents an example of how intricate is to animate nonverbal signals in synchrony with speech and lip movements for agents, this is a freely-available cross-platform developed by Doug DeCarlo and Matthew Stone (DeCarlo, Stone, Revilla, & Venditti, 2004) for this purpose.

2. Nonverbal Collaborative Interaction

Now then, in a VE the user can interact with virtual objects and virtual agents, but in a multiuser VE, that is a Collaborative Virtual Environment (CVE), the user can interact also with other users. Churchill and Snowdon (Churchill & Snowdon, 1998) described CVEs as

“...a terrain or digital landscape that can be ‘inhabited’ or ‘populated’ by individuals and data, encouraging a sense of shared space or place. Users, in the form of embodiments or avatars, are free to navigate through the space, encountering each other, artifacts and data objects and are free to communicate with each other using verbal and non-verbal communication through visual and auditory channels”.

Here, the user’s graphical representation acquires other functionalities becoming the user embodiment in the VE mandatory.

The user’s avatar in a VE, as mentioned, is its means for interacting and sensing the various attributes of the virtual world (Guye-Vuillème, Capin, Pandzic, Thalmann, & Thalmann, 1998). But in a collaborative situation it performs other important functions such as perception, localization,

identification and visualization of the focus of attention of the other users (Benford, Greenhalgh, Rodden, & Pycock, 2001; Capin, Pandzic, Thalmann, & Thalmann, 1997).

Gerhard and Moore (1998), who defined the user's avatar as "a proxy for the purposes of simplifying and facilitating the process of human communication" attributed to it five potential properties: identity, presence, subordination, authority, and social facilitation, next described:

1. Identity. Avatars provide to the others in the environment to better understand the concept of an underlie person.
2. Presence. They help establishing a feeling of "being there", a form of self-location
3. Subordination. They imply subordination, that is, they are under the direct control of the user, without significant control over their own actions and internal state.
4. Authority. Avatars act with the authority of the user.
5. Social facilitation. By giving a proxy for human communication and by facilitating interaction.

Related to subordination, the control from the user to his/her avatar, that in turn will affect the avatar's display of nonverbal interaction, can be reached by three different approaches (Capin et al., 1997):

1. Directly controlled, with sensors attached to the user;
2. User-guided, when the user guides the avatar defining tasks and movements, usually through a computer peripheral device such as the mouse; and
3. In a semi-autonomous way, where the avatar has an internal state that depends on its goals and its environment, and this state is modified by the user. For example in videogames, the users' avatar animation displaying joy when the user completes a game goal.

As far as nonverbal features are automatically digitized, directly controlled by the user, they should be more revealing and spontaneous; however, even if nonverbal cues are transmitted to the computer by a simple keyboard or a

mouse, they provide significance to communication and resources to understand collaborative interaction.

The rich of nonverbal interaction in a face-to-face situation is not already available in CVEs; succinct metaphors and words are then the means to substitute it when required; although, the users seem to be able to ignore the absence of many nonverbal cues (Schroeder, 2011). From a very broad point of view people will maintain their nonverbal behavior in VEs as similar as in real life, e.g. the study presented in (Steptoe et al., 2008) where two confederates interviewed a participant in an immersive VE and the participants' gazed at the questioner in 66.7% of cases, a frequency comparable to Argyle's time-range of 70-75% that listeners gaze at speakers during dyadic face-to-face conversations (Argyle & Cook, 1976).

The CVE's characteristics make them better suited for a small group of people (two to five) when a spatial task is involved. The task is likely to be one in which people focus their attention on the space and the objects on it, otherwise these systems would not be used in the first place (Schroeder, 2011). In this type of tasks the other person's avatar body will be used for joint orientation and barely on each other's facial expressions, thus they will not need realistic avatars; it will be sufficient to be able to follow the other's movements and gestures (Steed, Spante, Heldal, Axelsson, & Schroeder, 2003). It has been observed that people treat others' avatars very different when they are socializing than when they are working or doing something together in the VE (Heldal, 2007; Roberts, Heldal, Otto, & Wolff, 2006; Schroeder, 2011), same as in real life.

Now well, some nonverbal behavior varies according to social rules and peoples' nationality (Hall, 1952; Watson & Graves, 1966; Watson, 1970) in such a way that people's background might be part of its analysis. But, even if it is truth that NVC changes from one person to another and from one culture to another, it is also truth that it is functional, which means that different functional uses will lead to specific patterns of nonverbal interchange.

Patterson (1983) proposed what he called “nonverbal involvement behaviors” to operationally define the degree of involvement manifested between individuals; and he classified them within specific functions. These functions are:

- to provide information or to regulate interactions –these two are useful to understand isolated behaviors; and
- to express intimacy, to exercise social control, and to facilitate service or task goals –these last three functions useful to understand behavior over the time.

The first two functions are independent of the last three in such a way that a given behavior can be either informational or regulatory and, at the same time, be part of an overall pattern serving to intimacy, social control, or service-task functions.

In particular, the service-task function identifies the bases for impersonal nonverbal involvement with no reflection of anything about a social relationship between the individuals but only a service or task relationship. The most likely type of nonverbal interaction involvement in a collaborative situation where people take care of a task, which will keep to an acceptable extent cultural and personality influence on nonverbal behaviors, although intimacy and social-control functions will also emerge during a collaborative session.

3. Automatic monitor of the User’s Avatar Nonverbal Interaction

Knapp & Hall (2010), differentiated three primary unites in the study of nonverbal communication:

1. The environmental structure and conditions. This category concerns with those elements that impinge on the human relationship but are not directly part of it. Elements of the environment such as the furniture or lighting conditions; and Proxemics (Hall, 1968).
2. The physical characteristics of the communicators, including his/her artifacts such as clothes, hairstyle or jewelry.

3. The various behaviors manifested by the communicators. The body movements and position also known as Kinesics: gestures, posture, touching behavior, facial expressions, eye behavior and vocal behavior.

These same primary units when transferred to a VE bring up some considerations.

The environmental structure and conditions in a computer display are given by the scenario and the virtual objects around. That is what Hall (1968) differentiated as fixed-features, the space organized by unmoving boundaries such as a room, and semi-fixed features, the arrangement of moveable objects such as a chair. When the communication environment is virtual, the objects there are mainly intentionally located in order to enhance the sense of the place and rarely placed by the user, which will mostly carry out simple scenarios. And probably the most significant difference with a VE compared to a real world environment in this regard, is that typically, only the objects that have a purpose for the task or tasks to be carried out within it can be manipulated, and therefore they must be considered as salient during interaction.

In a computerized environment, the physical characteristics of the interactant will be given by the users' avatar, both appearance and body movements. The range in the appearance of the user representation falls in a wide range; some applications allow their users to create their avatars from scratch, others allow building the avatar from a set of them on which the user can select characteristics such as skin color or clothes, and other applications just give to the user an assigned avatar.

When the environment is for social purposes such as Second Life, the most likely is that the avatar can have a wide range of possibilities for the user to personalize it, and it influences how people treat each other (Schroeder, 2011). In a videogame is more probable to find a set of avatars that will go in concurrence with the game purposes. While for a VE with education or training purposes the avatar will probable have a set appearance with maybe a uniform. Typically, in CVEs for research the users' avatars are naturalistic, which means

as aforementioned, they are humanoid-like that display some basic humans' actions or expressions (Salem & Earle, 2000).

The behaviors of communicators relay on the context that in a CVE will be given by its purpose. For example, in a video game, the users' interaction will be controlled by their intention on getting the goals of the game, while in a social VE the participants interaction will be more likely to be directed to those they feel socially attracted. In Table 1 the primary units of study in NVC are related to the constrained factors in VEs.

Nonverbal interaction influential factors	Constrained in a VE by
Environmental conditions	<ul style="list-style-type: none"> • the fixed-features of the scenario • the semi-fixed features of the scenario
Physical characteristics	the users' avatars <ul style="list-style-type: none"> • appearance • body movements
Behaviors of communicators	according to the VE purpose

Table 1. Nonverbal interaction in VEs

The user's avatar body movements and positions, in a VE will probably be adjusted to the software and hardware used to create the virtual environment, and the task at hand. Hitherto, avatars have limited body movements and positions, even when they are tracked directly from the user physical movements, e.g. the most common practice in immersive VEs are the head and one hand movements (Wolff, Roberts, Steed, & Otto, 2005). In, Kujanpää & Manninen (Kujanpää & Manninen, 2003) can be found a considerable set of possible elements an avatar can include for transmitting nonverbal behavior.

As a result, only a limited range of nonverbal interaction can be executed and/or automatically extracted from the VE, and interpreted as part of the collaborative interaction during the session, particularly when there is not vocal content interpretation, this had been discussed somewhere else (Peña, 2011). Based on the criteria of being totally recognizable by a computer system, a list

of nonverbal cues that the users' avatars can display in a VE is presented in Table 2 and next described.

NVC area of study	Cue for automatic monitor in the CVE
Paralinguistics	Amount of talk Patterns of talking turns
Objects	When they are part of the collaborative interaction
Proxemics	The location
Kinesics	Deictic gestures Gaze direction Head movements Facial expressions Body postures
Appearance	Role

Table 2. Nonverbal cues computer recognizable in CVEs.

Amount of talk and patterns of talking-turns. The paralinguistic's features are harder for computer systems to comprehend than human language. However, the branch that studies, not how people talk, but how much they talk and their patterns of talking-turns has been useful for the study of interaction (e.g. Bales, 1970). Talk-silence patterns, frequency, duration and pacing of speech, have provided means for individual differentiations in social interaction, and in relation to collaborating groups, researchers have found for example, that talkative group members seem to be more task dedicated (Knutson, 1960), and more likely to become leaders (Stein & Heller, 1979). If the channel is written text a posted message can be considered as a talking-turn and in oral communication the microphone can be adjusted to detect the user vocalization.

Artifacts manipulation is an object form of NVC –it can be, for instance, the form that takes an answer to a question (Clark & Brennan, 1991; Martínez, 2003). Therefore, within a CVE, participation can also be related to the manipulation of objects in the shared workspace.

Additionally, according to Jermann (2004), a combination of participation in the shared workspace with amount of talk may be used to establish patterns with

regards to division of labor and the strategies to solve the problems, for example, the alternation in dialogue and implementation might reflect a plan-implement-evaluate approach. In consequence, patterns composed of amount of talk and manipulation in the shared workspace could be useful for the analysis of the collaborative interaction within the VE.

Gazes. Gazes usually have a target, which has to be part of the data collection since this target indicates the user's focus of attention. The gaze is an excellent predictor of conversational attention in multiparty conversations (Argyle & Dean, 1965), and the eye direction is a high indicative of a person's focus of attention (Bailenson et al., 2003). Therefore, via the users' avatar gazes it can be inferred if they are paying attention to the current task and/or to which other participants. Through gazes it is possible to oversee if the group maintains the focus on the task; they can be also helpful to measure the degree of participants' involvement in dialogue and implementation.

Deictic Gestures Gestures have narrative –iconic gesture–, and grounding –deictic gesture– functions (Roth & Lawless, 2002); while it can be difficult to automatically distinguish iconic gestures from the very common meaningless gestures people do when they are speaking, deictic gestures can be easily matched to the mouse pointing.

Deictic terms such as: here, there, or that, are interpreted as a result of the communication context, and when the conversation is focused on objects and their identities, they become crucial to identify the objects quickly and securely (Clark & Brennan, 1991). Consequently, deictic gestures, especially those directed to the shared workspace, will be useful to determine whether the users are talking about a particular object.

Proxemics. When people are standing, they tend to form a circle in which they include or exclude other people from the interaction (Schefflen, 1964). Then, when navigation is part of the CVE, the users' proxemic behavior can be easily

retrieved by the computer system indicating peers' inclusion or exclusion of task activities, the creation of subgroups and division of labor.

Head Movements. Head position can provide a very close approximation to eye direction; head position then could be useful to replace gazes retrieval when it is not possible to follow the exact direction of a person's sight (Parkhurst, Law, & Niebur, 2002), in this case they can be treated like gazes.

On the other hand, there are multitudes of head movements during interaction that have to do with the nature, the purpose and the organization of it (Heylen, 2005). The automatic comprehension of head gestures becomes complex because they carry out different functions and/or meaning that depend on the context in which they are produced. Despite this difficulty, there are some semantic head movements that can be distinguished and can be helpful for collaborative interaction analysis accompanied with other nonverbal behaviors, such as the very common nodding to show agreement or comprehension, or the side to side movement to indicate disagreement or incomprehension. Nods and jerks are typical movements involved to provide feedback.

Body Postures. Body postures are movements that spread throughout the body, visibly affecting all parts and usually involving a weight shift (Bartenieff & Davis, 1972), in contrast to gestures that are movements of only a part of the body. This type of nonverbal cues poses a more complex challenge than head movements because there is not yet a clear association between postures and their interpretation (Mota & Picard, 2003). However, for seated people there seems to be some results like: when people are seated around a table, the degree of orientation between the speaker's torso and the listener can show agreement, liking, and loyalty when aligning with him/her (Mehrabian & Friar, 1969) and, a parallel orientation reveals neutral or passive moods (Richmond, McCroskey, & Payne, 1991).

Facial expressions. Through face, people reflect interpersonal attitudes, provide feedback to others' comments, and it is considered the primary source

of information after speech (Knapp & Hall, 2010). As mentioned, in computer-generated environments one of the main issues has been the creation of realistic-looking facial expressions. Most approaches in CVEs for facial expressions use the widely accepted categorization of Ekman (1978) consistent of six universal basic emotions that can accurately be face expressed in all cultures: surprise, anger, fear, happiness, disgust/contempt and sadness.

The most important feature of facial expressions in a task-oriented collaborative interaction might be to convey understanding feedback to the partners, but it represents a complex challenge to transmit them precisely to the VE. In the context of collaboration, it is worth to mention that eye gaze and facial expression are in many cases critical for interpersonal interaction, but bodily movement and gesture are needed for successful instrumental interaction (Schroeder, 2011). As a result, as Schroeder (2011) pointed out, *“perhaps an avatar face with the possibility to express only certain emotions or only certain acknowledgements of the other person’s effort will not only be sufficient in the immersive space but superior –because it will reduce the ‘cognitive load’ in the task”*.

4. Conclusions

Nonverbal cues aid mutual comprehension during collaboration, how people use them or adapt themselves to substitute them in VEs while carrying out a task is still an open issue. In this paper how their display possibilities within the boundaries of a VE were discussed, but only under the assumption of a small group of users doing a spatial task and being represented in the environment by naturalistic avatars. This set shrinks when treated as data for a computer to interpret them. Finally, I have to agree with Knapp & Hall (2010) when they pointed out: *“the nonverbal cues sent in the form of computer-generated visuals will challenge the study of nonverbal communication in ways never envisioned”*.

References

Ahn, S. J., Fox, J., & Bailenson, J. N. (2012). Avatars. In W. S. Bainbridge (Ed.), *Leadership in science and technology: A reference handbook* (). SAGE Publications.

Argyle, M., & Cook, M. (1976). *Gaze and mutual gaze*. Cambridge: Cambridge University Press.

Argyle, M., & Dean, J. (1965). Eye contact, distance, and affiliation. *Sociometry*, 28(1), 289–304.

Bailenson, J. N., Blascovich, J., Beall, A. C., & Loomis, J. (2003). Interpersonal distance in immersive virtual environments. *Personality and Social Psychology*, 29, 819-833.

Bales, R. F. (1970). *Personality and interpersonal behavior*. New York: Holt.

Bartenieff, I., & Davis, M. (1972). Effort-shape analysis of movement. the unity of expression and function. *Body movement: Perspectives in research* (). New York: Arno Press.

Blascovich, J., Loomis, J. M., Beall, A. C., Swinth, K., & Hoyt, C. (2001). Immersive virtual environment technology as a methodological tool for social psychology. *Psychological Inquiry*, 13, 103–124.

Bolinger, D. (1985). *Intonation and its parts: Melody in spoken english*. London: Edward Arnold.

Brdiczka, O., Maisonnasse, J., & Reignier, P. (2005). Automatic detection of interaction groups. ICMI, Trento, Italy.

Capin, T. K., Pandzic, I. S., Thalmann, N. M., & Thalmann, D. (1997). Realistic avatars and autonomous virtual humans in VLNET networked virtual environments. *From Desktop to Webtop: Virtual Environments on the Internet, WWW and Networks*, International Conference, Bradford, UK.

Churchill, E. F., & Snowdon, D. (1998). Collaborative virtual environments: An introductory review of issues and systems. *Virtual Reality: Research, Development and Applications*, 3, 3-15.

Clark, H. H., & Brennan, S. E. (1991). Grounding in communication. In L. B. Resnick, J. M. Levine & S. D. Teasley (Eds.), *Perspectives on socially shared cognition* (pp. 127–149). Hyattsville, MD: American Psychological Association.

DeCarlo, D., Stone, M., Revilla, C., & Venditti, J. J. (2004). Specifying and animating facial signals for discourse in embodied conversational agents. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 15(1), 27–38.

Ekman, P. (1978). *Facial expression*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Ford, C. E. (1999). Collaborative construction of task activity: Coordinating multiple resources in a high school physics lab. *Research on Language and Social Interaction*, 32, 369-408.

Gergle, D., Kraut, R. E., & Fussell, S. R. (2004). Language efficiency and visual technology: Minimizing collaborative effort with visual information. *Journal of Language and Social Psychology*, (23), 491-517.

Gerhard, M., & Moore, D. (1998). User embodiment in educational CVEs: Towards continuous presence. 4th EATA International Conference on Networking Entities, NETIES98: Networking for the Millennium, West Yorkshire, United Kingdom.

Guye-Vuillème, A., Capin, T. K., Pandzic, I. S., Thalmann, N. M., & Thalmann, D. (1998). Nonverbal communication interface for collaborative virtual environments. *Collaborative Virtual Environments*, University of Manchester. pp. 105-112.

Hall, E. (1952). *The silent language*. Garden City, NY: Doubleday.

Hall, E. (1968). Proxemics. *Current Anthropology*, 9, 83-108.

Heldal, I. (2007). The impact of social interaction on usability for distributed virtual environments. *International Journal of Virtual Reality*, 6(3), 45-54.

Heylen, D. (2005). Challenges ahead: Head movements and other social acts in conversations. *ALSB - Social Presence Cues Symposium*,

Imai, T., Qui, Z., Behara, S., Tachi, S., Aoyama, T., Johnson, A., et al. (2000). Overcoming timezone differences and time management problem with tele-immersion. 10th Annual Internet Society Conference (INET), Yokohama, Japan.

Jan, D., & Traum, D. (2007). Dynamic movement and positioning of embodied agents in multiparty conversations. *ACL 2007 Workshop on Embodied Language Processing*, Prague, Czech Republic.

Jermann, P. (2004). Computer support for interaction regulation in collaborative problem-solving. Unpublished University of Genève, Genève, Switzerland.

Kendon, A. (1990). Spatial organization in social encounters: The F-formation system., 209–237.

Knapp, M., & Hall, J. (2010). Nonverbal communication in human interaction (7th ed.). Belmont, CA: Thomson Wadsworth.

Knutson, A. L. (1960). Quiet and vocal groups. *Sociometry*, 23, 36-49.

Kujanpää, T., & Manninen, T. (2003). Supporting visual elements of non-verbal communication in computer game avatars. Level Up - Digital Games Research Conference, Universiteit Utrecht. pp. 220-233.

MacDorman, K. F. (2005). Androids as an experimental apparatus: Why is there an uncanny valley and can we exploit it? *Computers in Human Behavior*, 25, 695-710.

Martínez, A. (2003). A model and a method for computational support for CSCL evaluation (in spanish). Unpublished University of Valladolid,

McCowan, I., Gatica-Perez, D., Bengio, S., Lathoud, G., Barnard, M., & Zhang, D. (2005). Automatic analysis of multimodal group actions in meetings. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 27, 305–317.

Mehrabian, A., & Friar, J. T. (1969). Encoding of attitude by a seated communicator via posture and position cues via posture and position cues. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, (33), 330-336.

Mine, M., Brook, F. P., & Sequin, C. H. (1997). Moving objects in space: Exploiting proprioception in virtual-environment interaction. *Computer Graphics Proceedings, ACM SIGGRAPH 1997*, pp. 19-26.

Mori, M. (1970). Bukimi no tani (the uncanny valley). *Energy*, 7(4), 33-35.

Mota, S., & Picard, R. W. (2003). Automated posture analysis for detecting learner's interest level. Workshop on Computer Vision and Pattern Recognition for Human-Computer Interaction, CVPR, HCI, Madison, WI.

Parkhurst, D., Law, K., & Niebur, E. (2002). Modeling the role of salience in the allocation of overt visual attention. *Vision Research*, 42, 107–123.

Patterson, M. L. (1983). Nonverbal behavior. A functional perspective. New York: Springer-Verlang.

Peña, A. (2011). Monitoring collaboration in virtual environments for learning: A nonverbal communication approach. U.S.A.: Lambert Academic Publishing.

Richmond, V. P., McCroskey, J. C., & Payne, S. K. (1991). *Nonverbal behavior in interpersonal relations* (2nd Ed. ed.). Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.

Roberts, D., Heldal, I., Otto, O., & Wolff, R. (2006). Factors influencing flow of object focussed collaboration in collaborative virtual environments. *Virtual Reality*, 10(2), 119-133.

Roth, W. M., & Lawless, D. (2002). When up is down and down is up: Body orientation, proximity and gestures as resources for listeners. *Language in Society*, 31, 1-28.

Salem, B., & Earle, N. (2000). Designing a non-verbal language for expressive avatars. *Collaborative Virtual Environments*, San Francisco, CA, USA. pp. 93-101.

Schefflen, A. E. (1964). The significance of posture in communication systems. *Psychiatry*, 27, 316-331.

Schroeder, R. (2011). In Kirlik A. (Ed.), *Being there together: Social interaction in shared virtual environments*. New York: Oxford University Press.

Steed, A., Spante, M., Heldal, I., Axelsson, A., & Schroeder, R. (2003). Strangers and friends in caves: An exploratory study of collaboration in networked IPT systems. *Proceedings on Interactive 3D Graphics*, pp. 51-54. New York: ACM Press

Stein, R. T., & Heller, T. (1979). An empirical analysis of the correlations between leadership status and participation rates reported in the literature. *Journal of Personality and Social Psychology*, 37, 1993-2002.

Stephoe, W., Wolff, R., Murgia, A., Guimaraes, E., Rae, J., Sharkey, P., et al. (2008). Eyetracking for avatar eye-gaze and interactional analysis in immersive collaborative virtual environments. *CSCW 2008 (ACM 2008 Conference on Computer Supported Cooperative Work)*, CSCW 2008 (ACM 2008 Conference on Computer Supported Cooperative Work), San Diego, CA, USA.

Watson, O. M. (1970). *Proxemic behavior: A cross-cultural study*. The Hague, Netherlands: Mouton.

Watson, O. M., & Graves, T. D. (1966). Quantitative research in proxemic behavior. *American Anthropologist*, 68, 971-985.

Wolff, R., Roberts, D., Steed, A., & Otto, O. (2005). A review of tele-collaboration technologies with respect to to closely couplemd collaboration. *International Journal of Computer Applications in Technology*,

Biographical notes:



Dra. Peña Pérez Negrón Received her Ph.D. in Computer Science in 2009 from the Universidad Politécnica de Madrid, Spain. Her main research interest is on the user's avatar display of nonverbal communication in Collaborative Virtual Environments. She is a research professor at the Computer Science Department at the CUCEI of the Universidad de Guadalajara, Mexico.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.

Discovering epistemological axes for academic programs in computer science through network analysis

Luis Casillas Santillán
Computer Science Department
University of Guadalajara, Mexico
luis.casillas@red.cucei.udg.mx

Alonso Castillo Pérez
Computer Science and Electronics Division
University of Guadalajara, Mexico
divec@cucei.udg.mx

Abstract: Academic programs in higher education institutions (HEI) are constantly under construction. They are never finished at all. As reader could agree, the current merging of knowledge in present societies is inexorable. The available cyber-infrastructure is able to support new approaches in science development. Hence, academic programs in HEI are clearly under the pressure to be constantly modernized in order to provide valid and up to date knowledge. Every academic program has this challenge in present societies. Our approach is aimed at providing a practical method for discovering the epistemological axes through the use of some notions from complex networks analysis. We worked on “Computer Science” programs in the University Center for Exact Sciences and Engineering from the University of Guadalajara. Nevertheless, the proposed method could be easily extrapolated to different programs in HEI, due to similar nature of knowledge in diverse knowledge branches.

Keywords: Complex networks, knowledge discovery, knowledge management, epistemological axes, clustering coefficient.

Descubriendo ejes epistémicos para programas académicos en Ciencias de la Computación a través del análisis de redes

Resumen: Los programas académicos en las instituciones de educación superior (IES) están constantemente en construcción. Nunca están terminados del todo. Como el lector podrá estar de acuerdo, la actual fusión de conocimiento en las sociedades presentes es inexorable. La ciberinfraestructura disponible es capaz de apoyar los modernos enfoques en el desarrollo de la ciencia. Por lo tanto, los programas académicos en instituciones de educación superior están claramente bajo la presión de ser constantemente modernizados para ofrecer conocimientos válidos y actualizados. En las sociedades actuales, todo programa académico tiene este problema. Nuestro enfoque está dirigido a proporcionar un método práctico para el descubrimiento de los ejes epistemológicos a través de la utilización de algunas nociones propias del análisis de redes complejas. Hemos trabajado en programas de "Ciencia Computacional" en el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara. No obstante, el método propuesto puede ser fácilmente extrapolado a diferentes programas en IES, debido a la naturaleza consistente del conocimiento en las diferentes ramas de éste.

Palabras clave: Redes complejas, descubrimiento de conocimiento, gestión del conocimiento, ejes epistemológicos, coeficiente de agrupamiento.

1. Introduction

Most of the activities developed by humans are based on sets of concepts and the relationships among such knowledge elements. The human's understanding of the environment is defined by the concepts and ideas acquired before. These elements are organized as nets of perceptions in which the relationships are modeled by links of proximity.

Since 1960's, computers had been used formally in the scientific field. The tasks that used to be assigned to computers were mainly connected to calculations in iterative, recurrent and concurrent contexts. More recently, the advances in computers' graphics allowed improved simulations. Nowadays, computers are not the actor using "brute force" anymore. Of course, they will do the calculations needed; however, the main goals have changed. A goal for computers in this context is to support the collaboration among scientists, in the already mentioned fields for e-science (Casillas and Daradoumis, 2012).

The report from Atkins et al. (2003) is highly focused in the exploitation of the available cyber-infrastructure. According to them, there is a revolution in science due to advances in information and communication technologies. This revolution is based in the innovative capabilities to successfully **emulate reality in the digital dimension**. Specifically, these authors argue *"...the classic two approaches to scientific research, theoretical / analytical and experimental / observational, have been extended to in silico simulation and modeling to explore new possibilities and to achieve new precision..."*; with important achievements in Forestry, Ocean Science, Environmental Science and Engineering, Space Weather, Computer Science and Engineering, Information Science and Digital Libraries, Biology / Bioinformatics, Medicine, Physics, Astronomy, Engineering, Materials Science & Engineering, and Social & Behavioral Sciences.

For Jankowski (2007) e-science is strongly supported by key aspects of the information and communication technologies, which are:

1. *"International collaboration among researchers;*
2. *Increasing use of high-speed interconnected computers, applying Grid architecture;*
3. *Visualization of data;*
4. *Development of Internet-based tools and procedures;*
5. *Construction of virtual organizational structures for conducting research;*
6. *Electronic distribution and publication of findings "*

Current scientific context, technological advances, and the socialization of information technologies and communications (social nets, blogs, video repositories, augmented reality, etc.); are the core of new understandings in the development of modern academic programs in current and future HEI. Our proposal is aimed at discovering the knowledge nucleus supporting an academic program, using practical and / or automated steps. These nuclei represent the epistemic axes for the academic programs in HEI. According to the arguments of Popolo (2012) and Martin (2003), an epistemic axe is a specific context and a precise trajectory in a Bayesian approach for reality. This perspective agrees with our approach for academic nuclei.

In an effort to discover the body of knowledge that forms the training core for "Computer Science" programs from the Department of Computer Sciences of the University of Guadalajara, we had made a study aimed to discover the essential branches of education for these programs, as well as their cognitive infrastructure.

Using techniques for discovery and extraction of knowledge stored in humans, a group of professors were invited to collaborate in this study. The results produced at the time, are certainly interesting.

2. Strategy

The first step was to identify professors and specialists who would be collaborators in the study. We agreed that they should be individuals possessing a deep understanding of the syllabus studied, both in the pedagogical dimension as in research or professional areas. Reaching an “elite” of approximately 10% of faculty and researchers of the program studied. See figure 1. Because this study could be conducted through electronic means (email, forums, etc.); collaborators may be in remote locations and continue to participate throughout an internet access.

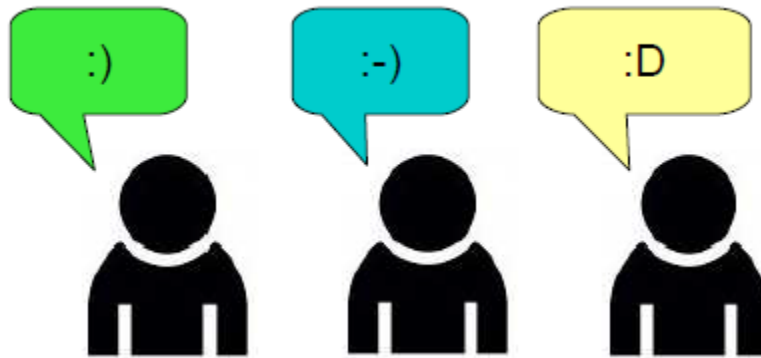


Figure 1. A group of distinguish professors is invite to collaborate in the study. Most of the invited professor gladly accepted. Professor rejecting the invitation excused arguing they had no time.

Collaborators were asked to identify the main areas of knowledge related to the program studied. Preferably a list of 7 ± 2 items (Miller, 1956), containing only the name of each branch. These knowledge branches did not have to be similar to the current subjects in the program. Now they must look at the curriculum as a critical mass of knowledge that would be fragmented. At this point, they were requested the main branches. As shown in figure 2.

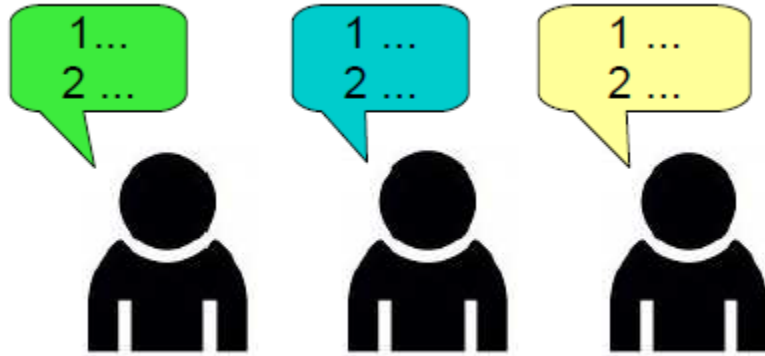


Figure 2. Professor collaborating produced the list of knowledge items for the academic program in which he/she was participating.

The following step was to collect the names of branches defined by each collaborator. These names had some naming difference and they were merged, combined, unified and refined to a common nomenclature that meets all of the collaborators proposals. As sketched in figure 3. The weight assigned to contributions was democratic: the knowledge engineer viewed only the names of the branches without having access to the collaborator's name. The final product of this step is a list of 7 ± 2 elements, which represents a common ideological kernel from collaborators.

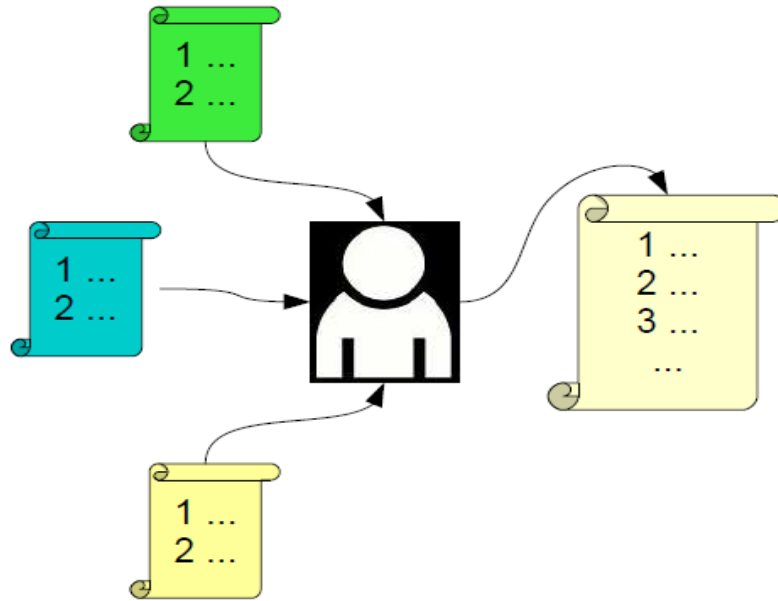


Figure 3. Knowledge engineer proceeds to collect the lists of knowledge items (branches) produced by professors. The challenge for this engineer at this point, is to produce a compact list (7 ± 2 items) which merges the branches proposed. Discovering those are common, similar or opposite each other, without missing the valuable awareness provided by collaborators.

The next activity was to distribute, among collaborators, the consolidated list of branches. As shown in figure 4. Once they were distributed, collaborators had to divide each of branches from unified list into sub-branches or milestones of knowledge. The number of sub-branches should again be around 7 ± 2 elements. So far the collaborators have made a classical decomposition of knowledge: a hierarchical approach. This was sketched in figure 5. Humans make this kind of decomposition almost inherently.

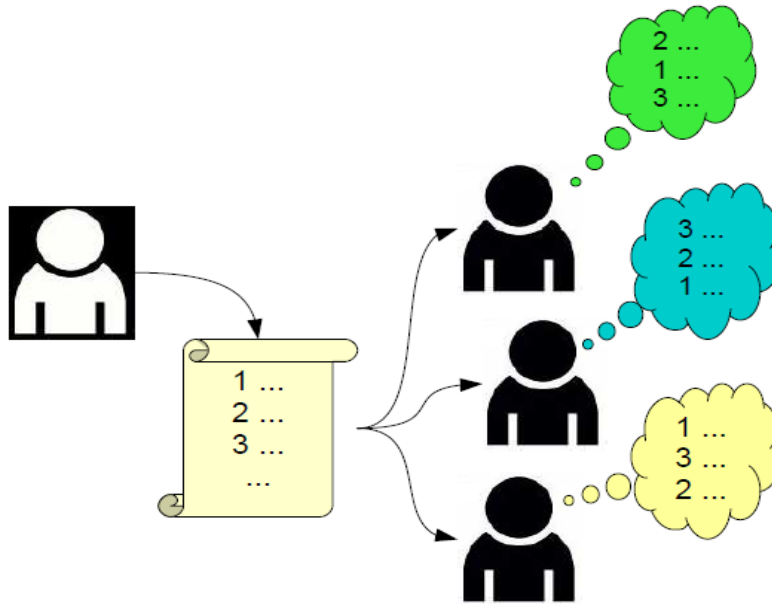


Figure 4. Knowledge engineer transmits the merged list of items (knowledge branches) to collaborating professors. They gather these elements and proceed to the next stage of the study.

The following step is to re-make a major effort to combine, unify and refine the milestones (subbranches) that have been provided by each collaborator. The final product of this effort is a list of 7 ± 2 milestones per branch. Again, this represents an ideological kernel of contributors, but now for the milestones.

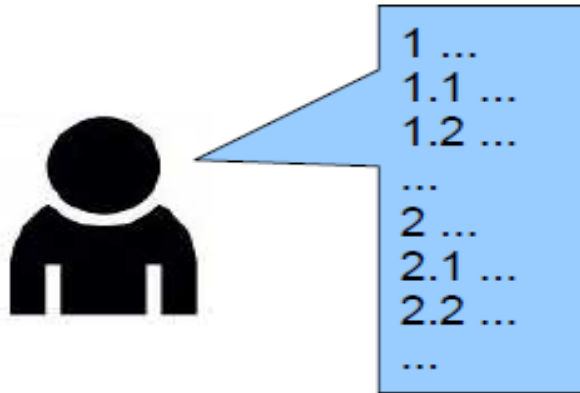


Figure 5. At this point, every collaborating professor produce coherent sub-branches for each branch received. These sub-branches are the milestones he/she considers as the atomic concepts composing every knowledge branch.

The unified list of milestones is sent to collaborators to perform their last task: find dependencies and / or influences among milestones. This whole process is modeled in figure 6. Every collaborator can set all the bounds he/she considers as relevant, regardless of the branch to which milestones belong. As long as they are rational or consistent links, but this should not be cause of concern if collaborators are characters with solid experience. As shown in figure 7.

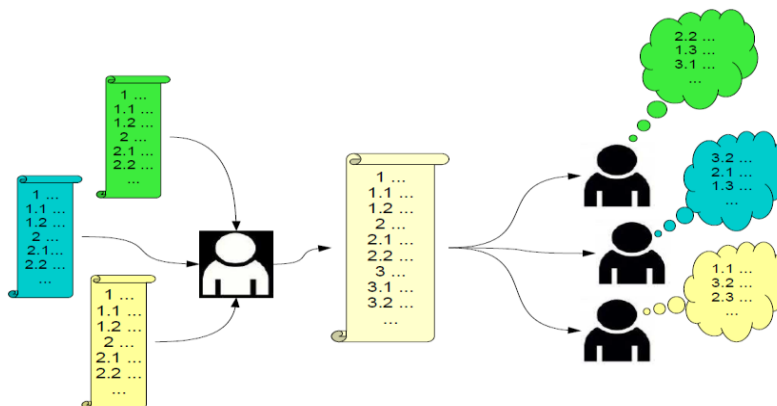


Figure 6. Once again knowledge engineer performs a collection of lists coming from collaborating professors. These lists contain the knowledge milestones they considered as sub-branches. Now, knowledge engineer proceeds to

merge, unify and conjugate all the milestones produced. This challenge was supported by electronic worksheets and their formulae, filters and macros. Resulting merged list is now resend to collaborating professors in order to start their last task.

Once collected the information from relationships, we proceeded to build a directed graph containing all the information. The nodes of this graph are the milestones, and the edges represent the relationships of influence or dependence among them. *The understanding of the problem has ceased to be hierarchical to become a networked approach.*

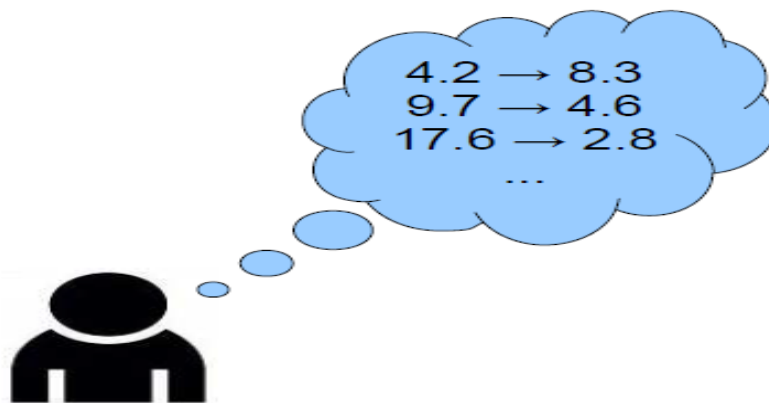


Figure 7. Every collaborating professor establishes influences and dependencies among the knowledge milestones provided in unified list. These binary relations would be combined into a complex network structure. All the asserts provided by collaborators are used in the network.

Networked construction (see figure 8) enables the search of training cores from the academic program studied. The output degrees (the number of arcs leaving each node) indicate the influence of a milestone on others. The input degrees (the number of arcs entering each node) indicate the dependence from other milestones. The most influential milestones, as well as those less dependent

are, on a preliminary review, the main aspects shaping the training core of the program. Figure 8 shows the network built from knowledge pieces discovered in this process, which guided us to find out the training cores for programs in computer science.

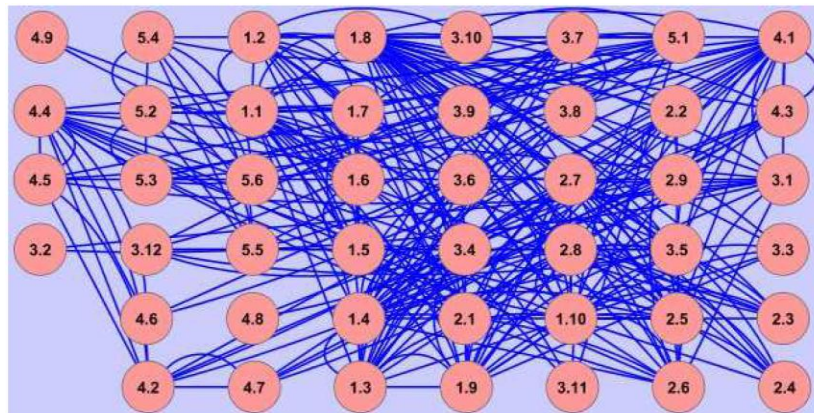


Figure 8. Network built from binding and linking the milestones and relations provided by collaborators.

Input and output degrees may incidentally acquire magnitudes disconnected from the rules that explain the studied reality. In fact, this network tends to match the form of a scale-free network (Barabasi, 2003). Thus, we complemented these results with the discovery of hub nodes in the graph. By discovering hub nodes, we find out relationships among families of nodes in the neighborhood which share access to common nodes. This neighborhood is called cluster. The clustering coefficient (Watts and Strogatz, 1998), is calculated locally (for each node) and globally the average of all the coefficients calculated for each node locally).

Based on the arguments from Watts and Strogatz (1998), the formula for clustering coefficient in directed graphs is: $C_n = \frac{p_n}{(v_n (v_n - 1))}$, and the formula for non directed graphs is $C_n = \frac{p_n}{v_n}$. Where C_n is the clustering coefficient for a node n , p is the number of pairs formed between the node's neighbors

observed, v_n is the number of neighbors of node observed. Figure 9 sketches a simple example for non directed graphs.

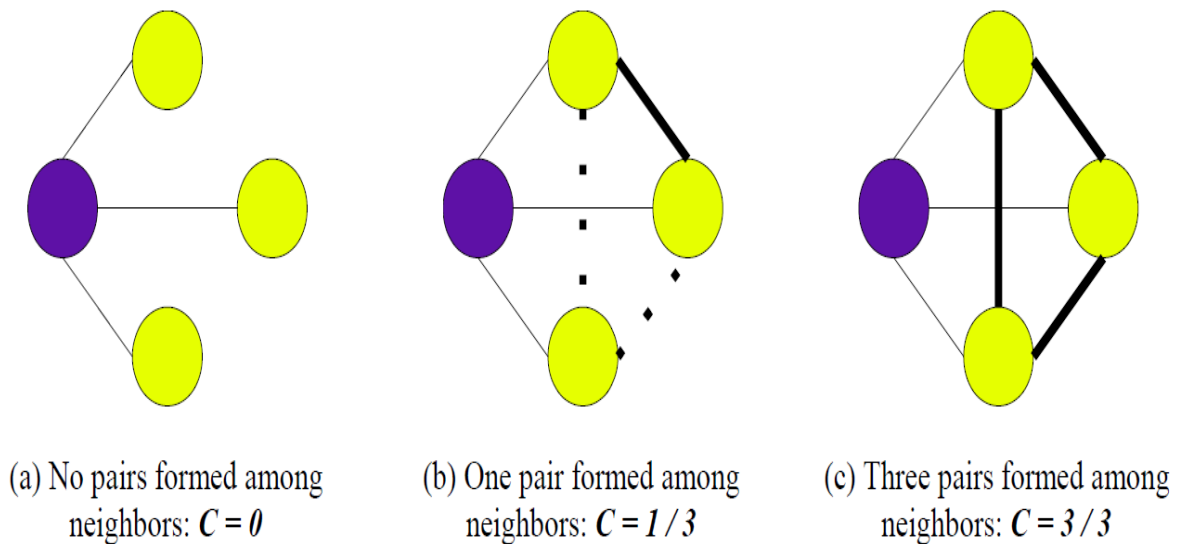


Figure 9. Clustering coefficient for a non directed graph.

The clustering coefficient is measured within the interval $[0, 1] \in \mathbf{R}$ and indicates the strength of the group that maintains a common node at the center. The local coefficient speaks of the capacity of a specific node to be a hub node; the global ratio refers to the cohesion of the entire structure. A good level in the overall coefficient (0.51 to 1) and the discovery of sub-networks involving hub nodes, lead to the threshold of *training cores*.

The networked stages of this strategy were supported by software made by us, specifically for these tasks.

The knowledge engineer must compare the information about the influences and dependencies between milestones and the awareness regarding hub nodes to form groups among them. This process should be carried out among the knowledge engineer and experts.

3. Results

Using this strategy, they were identified the *epistemological axes* for academic programs in computer science from our department:

Computer Sciences

Networks, Communications and Distributed Systems

Intelligent Systems

Information Systems (for bachelor's degree in informatics)

Systems Programming (for bachelor's degree in Computer's Engineering)

Technology Management

These results have enabled the development of new approaches for our academic program in computer science and are the base for developing global examinations for computer science graduates.

Diverse professors specialized in the area have reviewed our results and manifest highly acceptance to this proposal of academic axes.

4. Conclusions and future work

This challenge was undertaken in order to solve specific necessities in our academic context, but we were able to realize that this method could be easily transported to new academic scopes and allow diverse academic programs to undertake the very same strategy. We keep on discovering knowledge elements laying underneath these networks. For instance, the nodes with higher output degrees should be sent to first stages of formation and those with higher input degrees should be sent to last stages in the program.

The results we reached, were highly influential in the development of new proposal for significant content renewal for the bachelor's degrees in the Electronics and Computer Science Division from the University of Guadalajara.

The novel approaches for these academic programs will soon be started in our institution.

We believe that many of the stages could be automated. In order to finish these work, some human supervising and adjustments had to be made. Nevertheless, many tasks are clearly assignable to machines. That would be the following stages in the process we are undertaking.

Acknowledgements

Authors would like to thank professors from Computer Science Department for their participation in this study, as well as the coordinators of the academic programs involved.

References

Atkins, D.; Droegemeier, K.; Feldman, S.; Garcia-Molina, H.; Klein, M. L. and Messina, P.(2003). "Revolutionizing Science and Engineering through Cyberinfrastructure: Report of the National Science Foundation Blue-Ribbon Advisory Panel on Cyberinfrastructure". Washington, DC: National Science Foundation.[on line] Retrieved June 16th 2011, from www.nsf.gov/cise/sci/reports/atkins.pdf

Bales, R. F. (1970). *Personality and interpersonal behavior*. New York: Holt.

Casillas, L. and Daradoumis, T. (2012) "An ontology structure for gathering and sharing knowledge among. scientists" *Collaborative and Distributed-Research: Innovations in Technologies, Strategies and Applications*. IGI Global Publishing, Hershey, Pennsylvania, USA.

Jankowski, N. (2007) "Exploring e-science: An introduction. *Journal of Computer-Mediated Communication*" 12(2), article 10. [on line] Retrieved June 15th 2011, from <http://jcmc.indiana.edu/vol12/issue2/jankowski.html>

Martin, K. (2003) "Epistemic Motion In Quantum Searching". Oxford University Computing Laboratory.

Miller, G. A. (1956) "The Magical Number Seven, Plus or Minus Two. Some Limits on Our Capacity for Processing Information". American Psychological Association. *Psychological Review*, Vol. 101.

Popolo, D. (2012) "A New Science of International Relations". Ashgate Publishing.

Watts, D. and Strogatz, S. (1998) "Collective dynamics of 'small-world' networks". *Nature* 393 (6684) pp 440–442.

Biographical notes:

Luis Casillas Santillán holds a Ph.D. and a master's degree in Information and Knowledge Societies from the Open University of Catalonia, Spain; as well as a master's degree in Information Systems and a B.Sc. in Informatics from the University of Guadalajara (UG), Mexico. He has been working as associate professor for 17 years in the Computer Science Department from the UG and published various papers and scientific chapters in diverse journals and books. He serves as member of the editorial board for the *Journal of Knowledge Engineering: EXSY* and as reviewer for diverse journals and other scientific publications in knowledge engineering, computers science and ICT in education. His research interests are: knowledge gathering and representation, bio-inspired systems, expert systems, complex networks analysis, and soft-computing.

Alonso Castillo Pérez holds a master's degree and a B.Sc. in Electrical Engineering from the University of Guadalajara (UG), Mexico. He has been professor in diverse levels and programs, from basic education up to graduate programs in structures, industrial systems, potency systems and the doctorate program in engineering and technology in the UG. He worked for the Federal Commission for Electricity (CFE). He has held several positions in the UG and the CFE. He authored plenty of books, about mathematics and electrical engineering. Besides, he wrote a novel about the Mexican rural school. He is currently Director for the Electronics and Computer Science Division from the University Campus for Exact Sciences and Engineering of the UG.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.

Retos Sobre el Modelado del Transistor de Compuerta Flotante de Múltiples Entradas en Circuitos Integrados

Agustín Santiago Medina Vázquez
Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías
Universidad de Guadalajara, México
santiago.mediana@cucei.udg.mx

María Elena Meda Campaña
Centro Universitario de Ciencias Económico
Administrativas
Universidad de Guadalajara, México
emedac@cucea.udg.mx

Marco Antonio Gurrola Navarro
Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías
Universidad de Guadalajara, México
marco.gurrola@cucei.udg.mx

Edwin Christian Becerra Álvarez
Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías
Universidad de Guadalajara, México
edwin.becerra@cucei.udg.mx

Resumen: En este artículo se presentan las consideraciones que hay que adoptar para el uso del transistor de compuerta flotante de múltiples entradas para el diseño de circuitos integrados analógicos. Para ello se presentan las principales características de este transistor así como sus principales ventajas con respecto al transistor MOSFET convencional que este dispositivo ofrece. También, se exponen los principales problemas que han frenado el uso de este dispositivo en el ámbito comercial debido a la falta de modelos precisos.

Palabras clave: CMOS, Analógico, Circuitos, Integrados, Compuerta-flotante, muy bajo voltaje

1. Introducción

En la actualidad, los circuitos integrados (CI's) o chips son elementos electrónicos omnipresentes en cualquier sistema electrónico, tales como sistemas de comunicaciones, cómputo, control, bioelectrónica, metrología, navegación y un largo etcétera. Es sabido que hace un par de décadas los CI's contaban con solo una decena de transistores, sin embargo, actualmente éstos pueden estar constituidos por millones de ellos. En la gran mayoría de los casos, el transistor más utilizado en la construcción de CI's es el transistor MOSFET, el cual puede ser de tipo N o de tipo P, lo que da origen a la tecnología de MOSFET Complementado o simplemente tecnología CMOS. La tecnología CMOS permite implementar transistores, capacitores, resistencias, diferentes tipos de diodos, bobinas, y otros interesantes elementos electrónicos con dimensiones inferiores a los micrómetros cuadrados con un mismo proceso de fabricación, lo que permite que todo estos elementos queden integrados en una diminuta pastilla de silicio. Por lo tanto, todo un sistema electrónico puede implementarse sobre esta pastilla de tan sólo un par de milímetros cuadrados de área.

En las últimas dos décadas se dio prioridad a la creación de circuitos integrados digitales, cuyo máximo representante es el microprocesador digital. Sin embargo, en la actualidad se ha generado un gran interés por la creación de circuitos integrados analógicos debido a que éstos otorgan ventajas en el

procesamiento de señales electrónicas que no son posibles en circuitos enteramente digitales. En contraste con el diseño digital, el diseño de CI's analógicos representa un reto interesante debido a que los dispositivos electrónicos involucrados no operan solamente con valores discretos de voltajes y/o corrientes sino que procesan señales continuas que pueden experimentar cambios paulatinos en un intervalo de amplitudes determinadas. Esto ocasiona que el modelado analógico del dispositivo requiera de un enfoque diferente y esto puede ser un proceso más complicado que el modelado digital del mismo. La necesidad de analizar valores continuos conlleva también a la necesidad de modelar dispositivos semiconductores con valores variantes y continuos en un intervalo dado. A pesar de esto, el uso de CI's analógicos ha demostrado ser una alternativa viable para enriquecer el estado del arte de los circuitos integrados en general y particularmente en aquellos circuitos que se requieren estrictamente para el procesamiento de señales continuas.

Por otro lado, otro reto que enfrenta el diseñador de CI's en la actualidad es la creación de circuitos electrónicos operando con voltajes muy pequeños, es decir, inferiores a 1.0 V. Esta es una tendencia vigente dado que el uso de sistemas electrónicos como aquellos que son móviles o que su entorno es de difícil acceso, se encuentra en auge, los cuales son elementos alimentados por baterías o por otras fuentes alternativas de energía que suelen caracterizarse por los bajos niveles de voltajes entregados, como por ejemplo, el caso de las celdas solares. Cuando se trata de sistemas digitales, el bajo voltaje de operación es un problema determinante en circuitos que operan a muy alta velocidad, sin embargo, a bajas velocidades el bajo voltaje de alimentación no es un factor limitante. Sin embargo, en el diseño de circuitos analógicos, el uso de muy bajos voltajes es un reto también interesante debido a que los circuitos generados sufren de la degradación del rango dinámico e indirectamente, en operación a pequeña señal, sufren de la disminución de la frecuencia de operación debido a que las capacitancias involucradas se convierten en un factor determinante. Además, a pesar de que los transistores MOSFET son

cada vez más pequeños, el voltaje de umbral inherente a las uniones metal-semiconductor no disminuyen en la misma proporción y pueden alcanzar valores cercanos a un volt, lo que dificulta la saturación de los transistores con voltajes de compuerta muy pequeños, limitando de nuevo el rango dinámico del transistor operando en forma analógica.

Por otro lado, otro reto que se presenta en el diseño de CI's en general se encuentra en el proceso de simulación por computadora. El comportamiento de todo CI diseñado debe de ser simulado en previamente varias decenas de veces para validar su comportamiento antes de su fabricación real. Esto se debe principalmente a que el prototipado de CI's es un procedimiento muy caro y no se puede seguir una estrategia de prueba y error, sino que el diseñador debe de tener una idea bastante concisa de que su prototipo va a operar de la manera esperada. Esto no era tanto un problema con tecnologías grandes mayores a una micra ya que los modelos de los dispositivos para modelado resultaban ser medianamente sencillos, pero con la llegada de los transistores nanométricos y con la reducción del voltaje de alimentación aparecieron nuevos efectos parásitos los cuales pueden modificar el comportamiento y desempeño de una celda electrónica al grado de obtener resultados completamente indeseados. De esta manera, las ecuaciones que describen el comportamiento de los dispositivos en forma analógica se han vuelto lo bastante complicadas como para requerir el uso de programas de cómputo para su análisis.

Como se ha mencionado ya, el diseño de circuitos integrados analógicos y de muy bajo voltaje de operación es de sumo interés para el desarrollo de una industria basada en el uso de baterías y fuentes de energía alternativas. Existen varias propuestas para obtener circuitos analógicos de bajo voltaje como son el uso técnicas como la denominada auto-cascodo, la técnica de polarización de sustrato, la reducción del voltaje de umbral por procesos químicos, o el uso de nuevas estructuras como los transistores finfets o los transistores de compuerta flotante (Shouli Y. & Sanchez-Sinencio E., 2000;

Prateek Mishra, Anish Muttreja & Niraj K., 2009; E. Sánchez-Sinencio & A. G. Andreau, 1998; S. S. Rajput & S. S. Jamuar, 2002). Cada una de las técnicas propuestas tienen sus propias ventajas y desventajas, por lo que el diseñador debe de elegir la técnica que le proporcionará mejores resultados en cuando a operación en bajo voltaje se refiere. En este artículo abordamos exclusivamente el tema del uso de transistores de compuerta flotante para la creación de circuitos analógicos de muy bajo voltaje de operación

El problema que se discute en este artículo consiste en el uso del transistor de compuerta flotante para el diseño de celdas analógicas de muy bajo voltaje de operación con un modelo confiable para la generación de prototipos de excelente desempeño. Para ello, en las secciones siguientes se muestran las principales características del transistor de compuerta flotante de entrada, se discute el problema principal sobre el modelado del mismo y finalmente se presentan algunas estrategias que se están siguiendo para mejorar el estado del arte sobre el uso de éste interesante dispositivo.

2. El Transistor de compuerta flotante de múltiples entradas.

2.1 Voltaje de compuerta flotante

El transistor de compuerta flotante de múltiples entradas (MIFGMOS) (Shibata, T. and Ohmi, T., 1992; Rodriguez-Villegas, E., 2006), se forma con la modificación de un transistor MOSFET convencional como se muestra en la figura 1 (a) .En este caso la compuerta del transistor MOS se rodea de óxido quedando completamente aislada del exterior. Sin embargo, el control de la corriente de drenador a fuente (I_{DS}) sigue siendo función del potencial en la compuerta de polisilicio (poly1) del transistor convencional y del potencial en las demás terminales. Sin embargo, en el caso del MIFGMOS es necesario implementar algún mecanismo para inducir voltaje en la compuerta flotante. Se

han propuesto un par de técnicas para conseguir este objetivo los cuales son el uso de técnica de inyección y tuneleo de carga rompiendo el óxido que rodea a la compuerta flotante (Hasler, P., 2001) y la consistente en utilizar solamente el acoplamiento de voltaje a través de capacitores de control, como se muestra en la Figura 1 (a) para el caso de dos compuertas de control. Como puede verse, las compuertas de control CG_1 y CG_2 son conectadas a los voltajes V_1 y V_2 , respectivamente. Estas fuentes se conectan a capacitores formados con capas poly2-óxido-poly1, aunque en algunas tecnologías se pueden implementar con capas metal-óxido-metal. Por todo lo anterior este dispositivo se conoce como transistor de compuerta flotante de múltiples entradas para diferenciarlo de su similar que se controla con técnicas de inyección y tuneleo. En la parte (b) de la figura se muestra el equivalente capacitivo que se genera en la compuerta flotante con respecto al sustrato $V_{FG,B}$.

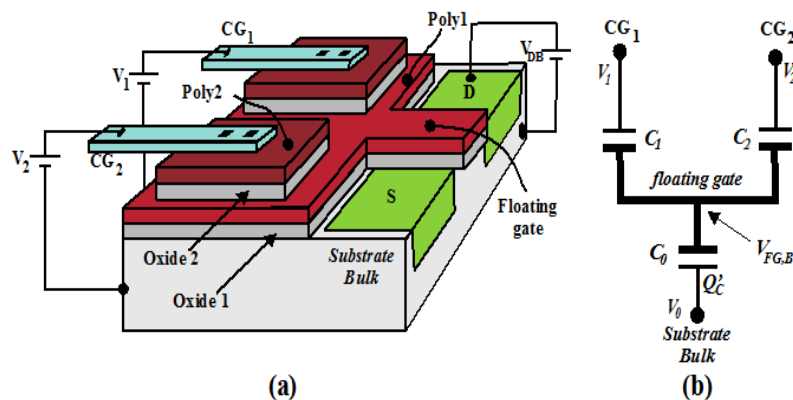


Figure 1. (a) Estructura de un transistor de compuerta flotante de dos compuertas de control y (b) divisor capacitivo equivalente de entrada

Así, los voltajes V_1 y V_2 controlarán la cantidad de corriente I_{DS} que fluye por el transistor desde la fuente hasta el drenador. Cabe mencionar que el MIFGMOS puede tener más de dos compuertas de control, lo que permite que este dispositivo sea más versátil que el MOSFET convencional. En resumen, cuando se aplican N voltajes de control en N compuertas de control, en la superficie del sustrato del MOSFET se genera un potencial de superficie como resultado de la suma ponderada de voltajes de entrada que se obtiene de un

divisor capacitivo similar al que se señala en la figura 1 (b). Este potencial de superficie controlará la corriente I_{DS} de manera idéntica al caso de un transistor MOSFET.

Por otro lado, obedeciendo la ley de conservación de carga se obtiene como resultado que el voltaje en la compuerta flotante se puede calcular con la siguiente ecuación [6]:

$$V_{FG,B} = \frac{\sum_{i=1}^N V_i C_i}{C_0 + \sum_{i=1}^N V_i C_i}$$

En donde V_i son los voltajes de control en las compuertas de control CG_i , respectivamente y C_i son los capacitores de acoplamiento. C_0 es la capacitancia entre compuerta y sustrato el cual es de carácter variable y se puede aproximar como el valor de la capacitancia compuerta-sustrato C_{GB} . En este caso, las demás capacitancias parásitas relacionadas con el sustrato serán desestimadas al considerarse mucho más pequeñas que C_{GB} .

2.2 El problema de la carga inicial

Un problema que se presenta con la construcción del MIFGMOS es la presencia de una carga que permanece almacenada involuntariamente en la compuerta flotante desde el proceso de fabricación. Sin embargo, este problema se reduce drásticamente si se utiliza la técnica reportada en (Rodríguez-Villegas, E., 2003). En este caso, se utilizan contactos entre metales para generar un camino de escape a la carga que pretenda quedar atrapada en la compuerta. Como se ve en la Figura 2, por cada capa de metal que se utilice en el diseño, se debe construir un contacto que permita un puente momentáneo entre la compuerta flotante y tierra. La idea principal es

que cuando se haga la deposición de cada metal, se forme un camino a tierra desde la compuerta flotante. Sin embargo, este puente no debe de permanecer, por lo que hay que eliminarlo. Afortunadamente es posible eliminar esta capa de metal manipulando correctamente las máscaras de layout. Este proceso se debe hacer por cada nivel de metal que se utilice, por ejemplo en una tecnología de tres metales se debe de hacer un contacto que haga el puente en cada una de las tres deposiciones de metal.

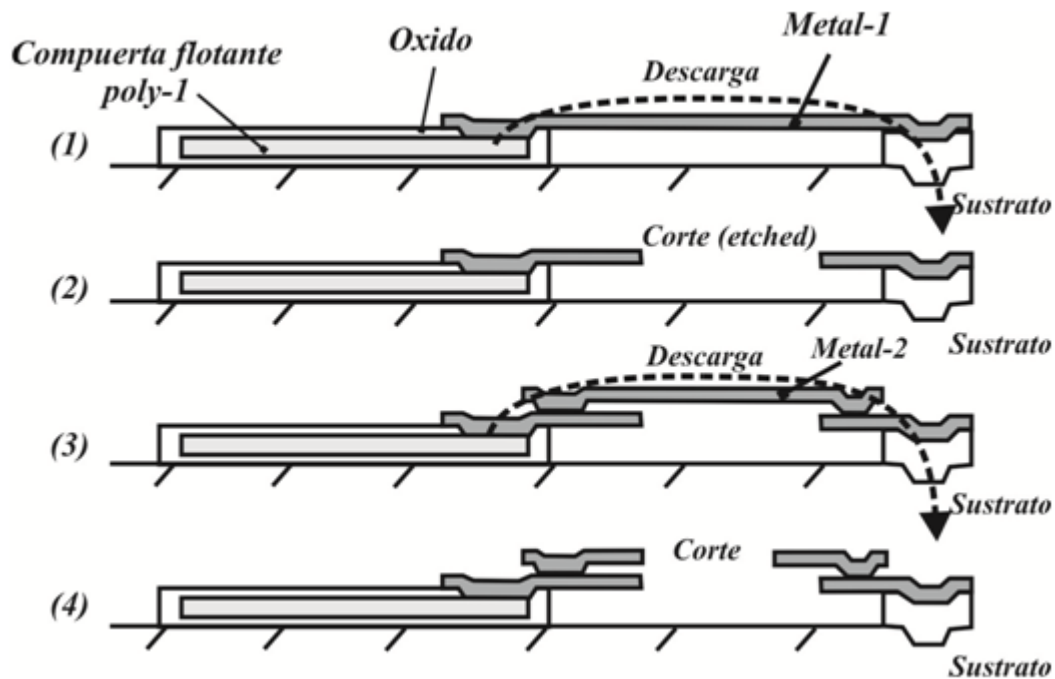


Figure 3. Método de descarga de la compuerta flotante para dos capas de metal por medio de puentes en el proceso de fabricación.

La Figura 3 muestra la implementación de dos transistores MIFGMOS con tres entradas de control, uno de canal N (a la izquierda de la figura) y otro de canal P (a la derecha). Como se indica, se pueden ver los contactos de descarga que permiten eliminar gran parte de la carga en la compuerta flotante durante el proceso de fabricación. Estos dispositivos fueron construidos en una tecnología

de 1.2 micrómetros SCN15 como prototipos de prueba. Se utilizaron anillos de guarda para aislar los dispositivos de prueba del resto de los elementos trazados en el sustrato.

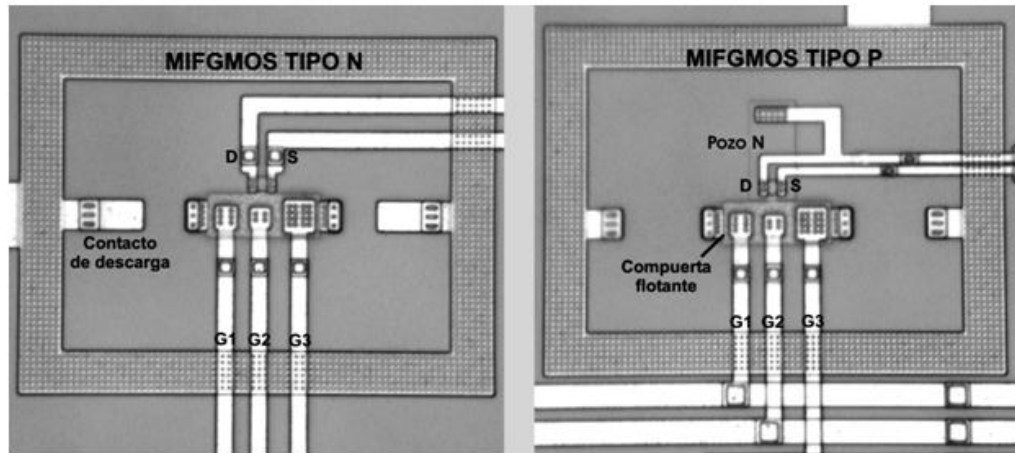


Figure 3. Implementación real del MIFGMOS de tres compuertas de control de canal N y de canal P. Se incluye el contacto de descarga

Los parámetros para los transistores MIFGMOS de la Figura 3 se resumen en la Tabla 1.

Dato	Valor	Descripción
C_1	50.1984 fF	Capacitor de acoplamiento 1
C_2	40.99536 fF	Capacitor de acoplamiento 2
C_3	96.63192 fF	Capacitor de acoplamiento 3
W_n	6.0 μm	Ancho del canal
L_n	3.6 μm	Largo del canal

Tabla 1. Parámetros de los transistores mostrados en la Figura 3.

2.3 El MIFGMOS para bajo voltaje de operación

El hecho de que el MIFGMOS sea un dispositivo de N entradas de control permite tener algunas ventajas adicionales ante el MOS convencional: (1) Se pueden generar nuevas alternativas y arquitecturas de diseño por el mayor número de grados de libertad y (2) se permite manipular el dispositivo para su utilización con muy bajos voltajes de operación, aun inferiores al voltaje de umbral del MOS convencional. La segunda propiedad es la que nos interesa en este artículo. Existen varios documentos en donde se exponen las ventajas del MIFGMOS en este sentido, sin embargo, en este documento se muestran dos sencillos ejemplos en donde se puede ver la utilidad del MIFGMOS para bajo voltaje (Medina-Vázquez, A., Cruz-Alejo, Gómez-Castañeda, F. & Moreno-Cadenas, J., 2009).

Primero se discute el caso de la manipulación del voltaje de umbral aparente del dispositivo (inicio de conducción del transistor). En realidad, el voltaje de umbral de un MOSFET depende del proceso de fabricación y suele ser un valor fijo que se encuentra cercano a un volt. Sin embargo, si polarizamos el MIFGMOS tipo N de la Figura 3 con la configuración mostrada en la Figura 4 (a) el voltaje de umbral se puede alterar de manera aparente.

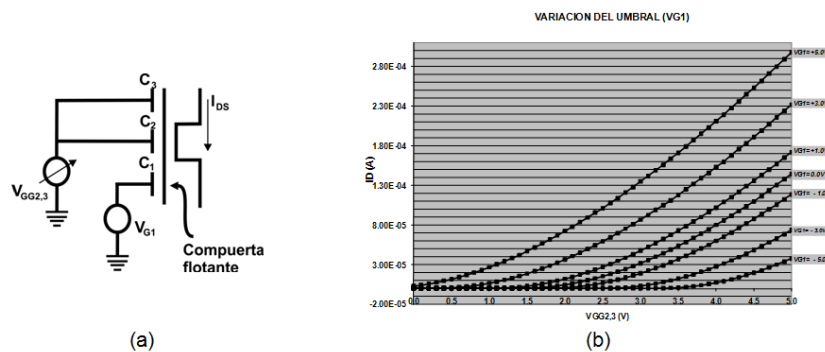


Figure 4. (a) Circuito de prueba implementado con un MIFGMOS en el laboratorio para observar el fenómeno de voltaje de umbral aparente variable y (b) resultados de las mediciones en donde se muestra la manipulación del voltaje de umbral.

En este caso V_{G1} se mantiene en un valor fijo de voltaje mientras que la conexión de las entradas de control C_{G2} y C_{G3} se unen para que una fuente de voltaje $V_{GG2,3}$ sea barrida desde 0 a 5 V. La Figura 4 (b) muestra el comportamiento de la corriente I_{DS} para diferentes valores de V_{G1} . Como puede verse, el MIFGMOS conduce corrientes con menores voltajes de $V_{GG2,3}$ conforme V_{G1} es más grande (también se muestran ejemplos para V_{G1} negativo). En conclusión, al manipularse el voltaje de umbral del MIFGMOS se pueden obtener valores de corriente I_{DS} con menores voltajes en las demás compuertas, lo que significa procesamiento con menor voltaje de operación.

Otra característica del MIFGMOS es que en algunas ocasiones permite mejorar el desempeño de una celda analógica en comparación con el MIFGMOS convencional. Por ejemplo, en la Figura 5 se muestra la implementación de un convertidor de voltaje a corriente (transconductor) utilizando un MIFGMOS M1. Como se indica en la figura, este transistor podría ser un MOSFET convencional MM. Sin embargo, la retroalimentación de drenador hacia una de las compuertas de control de M1 por medio del capacitor C_f permiten mejorar la linealidad del voltaje de salida, como se muestra en la parte (b) de la figura en donde se hace la comparación entre la respuesta que se obtiene si el transductor se construye con un MOSFET convencional o un MIFGMOS.

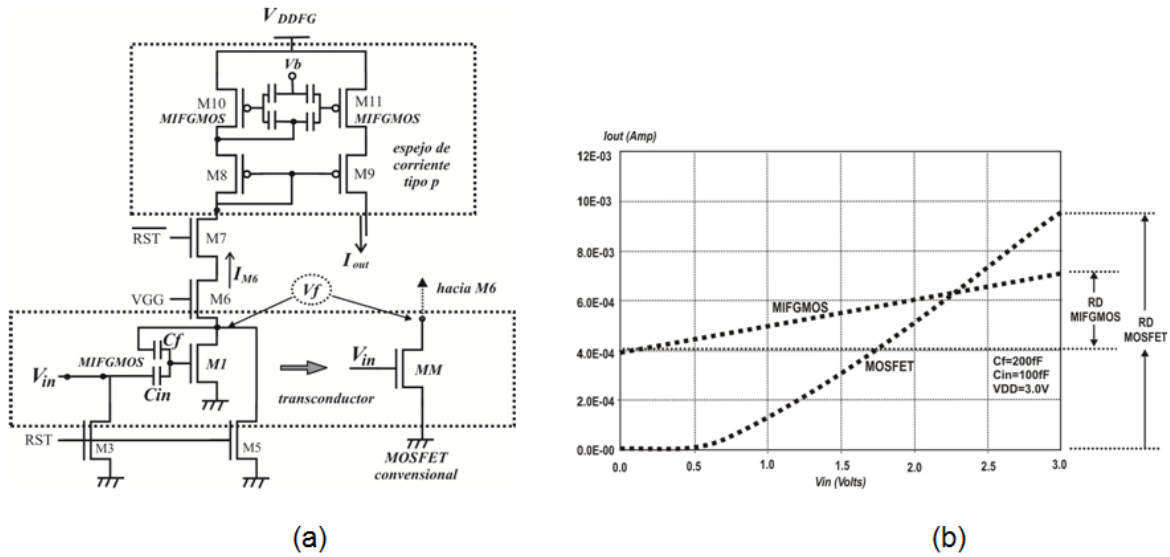


Figure 5. (a) Transconductor implementado con MIFGMOS, (b) Comparación de la respuesta de voltaje entre un transductor con MIFGMOS y otro con MOSFET.

3. Modelando el MIFGMOS

A pesar de las ventajas que el MIFGMOS puede presentar para el diseño de celdas analógicas de muy bajo voltaje de operación, existen algunos inconvenientes con lo relacionado a la simulación de circuitos que han frenado su uso en forma amplia. Como se ha mencionado previamente, la simulación es una parte fundamental del flujo de diseño y si no se tienen los modelos adecuados, los resultados esperados en los circuitos fabricados pueden llegar a ser inciertos.

Existen varias formas de modelar matemáticamente un transistor MOSFET convencional. Entre los modelos más utilizados se encuentran los siguientes: (1) el modelo de ley cuadrada, (2) el modelo de carga superficial, (c) el modelo EKV y (d) el modelo BSIM. El modelo de ley cuadrada ha sido el más difundido por su sencillez. En este modelo, el comportamiento de la corriente I_{DS} se

modela con dos ecuaciones sencillas, una para la zona de triodo y otra para la zona de saturación y aparece en cualquier libro de texto de diseño de circuitos CMOS (Allen, P., Holberg, D., 2002).

$$I_{DS,triado} = \frac{K_p W}{2 L} (V_{GS} - V_{th})^2$$

$$I_{DS,saturación} = \frac{K_p W}{2 L} \left[(V_{GS} - V_{th}) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

El modelo de carga superficial (CSM, Charge Sheet Model) es complejo y su característica principal es que modela el comportamiento del MOSFET en todas las zonas de operación (empobrecimiento, inversión débil, moderada y fuerte) por lo que es conocido como modelo toda-región (Yannis Tsvividis, 2010). El CSM se forma con un conjunto de ecuaciones basadas en el comportamiento de la distribución de carga en la interface Metal-Oxido-Semiconductor. Este modelo está formado por un conjunto de ecuaciones que describen el comportamiento de la carga superficial y el potencial de superficie ψ_S que se genera en la zona en donde se forma el canal. Con este modelo se tienen ecuaciones de corriente como las que se muestran a continuación:

$$I_{DS1} = \frac{W}{L} \mu C'_{ox} \left[(V_{GB} - V_{FB})(\psi_{SL} - \psi_{S0}) - \frac{1}{2}(\psi_{SL}^2 - \psi_{S0}^2) - \frac{2}{3}\gamma(\psi_{SL}^{3/2} - \psi_{S0}^{3/2}) \right]$$

$$I_{DS2} = \frac{W}{L} \mu C'_{ox} [\phi_t(\psi_{SL} - \psi_{S0}) + \gamma(\psi_{SL}^{1/2} - \psi_{S0}^{1/2})]$$

$$I_{DS} = I_{DS1} + I_{DS2}$$

Donde:

$$\psi_{S0} = V_{GB} - V_{FB} - \gamma \sqrt{\psi_{S0} + \phi_t e^{(\psi_{S0} - 2\phi_F - V_{SB})/\phi_t}}$$

$$\psi_{SL} = V_{GB} - V_{FB} - \gamma \sqrt{\psi_{SL} + \phi_t e^{(\psi_{SL} - 2\phi_F - V_{DB})/\phi_t}}$$

Por cuestiones de espacio el significado de estos parámetros no son incluidos en este documento, sin embargo, cada uno de ellos es explicado con profundidad en (Yannis Tsvividis, 2010).

Como puede verse, las ecuaciones involucradas suelen ser algo complejas. El sistema de ecuaciones señalado con las ecuaciones (4) - (8) tiene el inconveniente de que para obtener la corriente I_{DS} primero hay que determinar los valores de los potenciales de superficie ψ_{S0} y ψ_{SL} en ambos extremos del canal. Para ello hay que resolver primero las ecuaciones (7) y (8), las cuales deben de ser resueltas por métodos numéricos debido a que son ecuaciones implícitas (la variable no se puede despejar algebraicamente), situación que se ha demostrado que no es del todo fácil, aunque existen muchas soluciones propuestas a este problema.

Otro modelo a considerar para modelar el MOS convencional y al MIFGMOS es el modelo EKV. Este modelo matemático se propuso en principio para su uso en diseño de muy bajo voltaje de operación, situación que con el paso del tiempo se hizo un tópico importante. Este modelo se basa en el uso de un parámetro conocido como voltaje de estrangulamiento o V_P . Este es un modelo más compacto que el modelo de carga superficial dado que solo cuenta con unas cuantas ecuaciones, unos cuantos parámetros eléctricos y unos cuantos físicos. Por ejemplo, para obtener la corriente I_{DS} en un transistor con el modelo EKV requerimos de las siguientes ecuaciones:

$$I_{DS} = I_F - I_R$$

donde

$$I_{F(R)} = K\beta\phi_t^2 \exp\left[\frac{V_P - V_{S(D)}}{\phi_t}\right]$$

donde

$$V_P = V_{GS} - V_{TO} - PHI - \gamma' \sqrt{V_{GS} + \left(\frac{\gamma'}{2}\right)^2} - \frac{\gamma'}{2}$$

De nuevo, el significado de los parámetros se explica con detalle en la referencia correspondiente (C. Enz, F. Krummenacher & E. Vittoz, 1995).

Otro modelo que se ha propuesto para el modelado del MOS es el modelo BSIM (William Liu, 2001). En este caso, los resultados se obtienen con ecuaciones basadas de leyes físicas pero también de la experimentación. Muchas de sus ecuaciones son obtenidas por métodos de interpolación y se requieren de algunos parámetros eléctricos y físicos tomados directamente del fabricante.

Todos los modelos presentados previamente son muy importantes para el diseño profesional de circuitos integrados analógicos, pues a partir de ellos se pueden obtener los parámetros físicos y eléctricos que el ingeniero requiere para el diseño de celdas de alto desempeño. Cada modelo tiene sus características propias que lo hacen interesante para una u otra aplicación. Cabe señalar que un modelo no se dirige sólo al cálculo de la corriente I_{DS} del transistor, sino también a calcular otros fenómenos de segundo orden como son las capacitancias parásitas, la modulación de canal, los fenómenos de segundo orden de canal pequeño, modelo a pequeña señal, etc. Este no es un

tutorial sobre modelos del transistor por lo que se recomienda acudir a los textos señalados en las referencias.

En realidad, para un diseño de alto desempeño existen muchos factores que el diseñador debe de tomar en cuenta y cada modelo de los mencionados aquí permiten modelar estos fenómenos, sin embargo en todos los casos el número de ecuaciones que hay que considerar para obtener un resultado es proceso tedioso y propenso a errores humanos. Por este motivo, se hace necesario el uso de software especializado que resuelva los sistemas de ecuaciones por nosotros. Como es de esperarse, mientras mejor sea el modelo matemáticos utilizados para cada dispositivo que interviene en el circuito, es decir, mientras mejor se apegue el modelo al comportamiento real del dispositivo, se obtendrán mejores resultado en el proceso de simulación.

Para el diseño de circuitos eléctricos en general se utiliza un programa especializado llamado SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) (William Liu, 2001). Algunas empresas producen sus propios simuladores basados en el núcleo de SPICE. Las herramientas más socorridas actualmente para el diseño de circuitos eléctricos y de circuitos integrados en particular son las que contiene el ambiente de diseño Cadence, (Virtuoso, Spectre, Allegro, etc.). Este tipo de herramientas de simulación se han refinado para el diseño de circuitos integrados CMOS basados en el modelo de BSIM (aunque hay disponible la posibilidad de utilizar el modelo EKV), al grado que para obtener simulaciones óptimas, la fundidora, el equipo de modelado (por ejemplo la Universidad de Berkeley creadora del modelo BSIM) y la empresa CADENCE trabajan en conjunto en forma continua para procurar los mejores resultados en el proceso de simulación. Se puede considerar que un resultado óptimo en la simulación es aquel que se asemeja notablemente a los resultados que en un futuro se obtendrán en la realidad al hacer mediciones en el laboratorio sobre el objeto físico.

Ahora, cuando se crean circuitos que hacen uso del MIFGMOS se observa una problemática particular, principalmente porque la compuerta flotante del dispositivo es precisamente un punto flotante, es decir, un punto sin referencia. El programa SPICE se encarga de resolver el sistema de ecuaciones matemáticas que resuelven las mallas eléctricas que forman el circuito. Estas ecuaciones a su vez se forman sustituyendo cada dispositivo por el modelo matemático que describe su comportamiento real. Esto genera sistemas de ecuaciones con una gran cantidad de parámetros el cual se debe resolver para una o más variables. Esta es una tarea sencilla para las capacidades de cómputo actuales. Sin embargo el núcleo de programación de SPICE tiene reglas a seguir. Una de ellas es que todos los nodos (interconexión entre dos o más dispositivos) que forman la malla eléctrica deben de estar referenciados a un punto común o tierra, lo que significa que siempre debe de existir algún camino directo o indirecto a través de otros dispositivos para llegar al punto de referencia o tierra. Como es de suponerse, la compuerta flotante queda como un punto o nodo aislado, por lo que esta regla de referencia no se cumple. Como consecuencia, al intentar realizar una simulación con SPICE se obtiene un mensaje de error si se utilizan transistores MIFGMOS. Así, si regresamos a la Figura 4 (a), se puede ver que el nodo de compuerta flotante no tiene ninguna salida al exterior, situación que genera el problema mencionado y por lo tanto no se puede realizar un proceso de simulación para obtener el comportamiento en DC de circuitos con MIFGMOS incluidos. Además, los parámetros en AC del transistor requieren de parámetros obtenidos del análisis DC, por lo que es de suponer que tampoco se podrán obtener resultados de simulación a menos que se apliquen algunos trucos.

Por lo anterior, la simulación de circuitos con MIFGMOS es un problema a resolver. Este problema ha estado presente desde que se propuso el uso de transistores de compuerta flotante un par de décadas atrás, sin embargo, aun hoy no se ha resuelto el problema de manera óptima. De hecho, este transistor sigue siendo utilizado en muchos diseños analógicos pero por lo general no se puede realizar una comprobación del todo confiable con los resultados de

simulación antes de generar el prototipo físico. Esta situación no es muy recomendable dado que la creación de prototipos físicos es muy costoso y el diseñador no debe de exponerse a equivocaciones mayúsculas.

Los primeros intentos para resolver el problema del nodo flotante consistieron en el uso de macro-modelos (Ochiai, T. and Hatano, H., 1999; T. Inoue, H. Nakae, Y. Fukuju & E. Sánchez-Sinencio, 2002). En (Ochiai, T. and Hatano, H., 1999) se propone un macro-modelo en donde el voltaje de compuerta flotante se consigue con la suma de fuentes de voltajes ponderadas por algún valor y con el uso de resistores muy grandes. Esto se muestra en la Figura 6 (a). El problema de este esquema es que estas fuentes de voltaje sólo son un artilugio para implementar la ecuación (1) pero no representan las características reales del dispositivo. Además, algunos parámetros deben de obtenerse manualmente, lo que se aleja de las técnicas modernas de simulación de circuitos. El macromodelo mostrado en la Figura 6 (b) es otra alternativa. Sin embargo, los inconvenientes son similares al macromodelo de la parte (a) de la figura, ya que las capacitancias parásitas deben ser calculadas a mano. Además, las resistencias muy grandes que se utilizan en los macromodelos no están presentes en el circuito real, lo que arroja resultados de simulación basados en dispositivos que ni siquiera existirán en realidad.

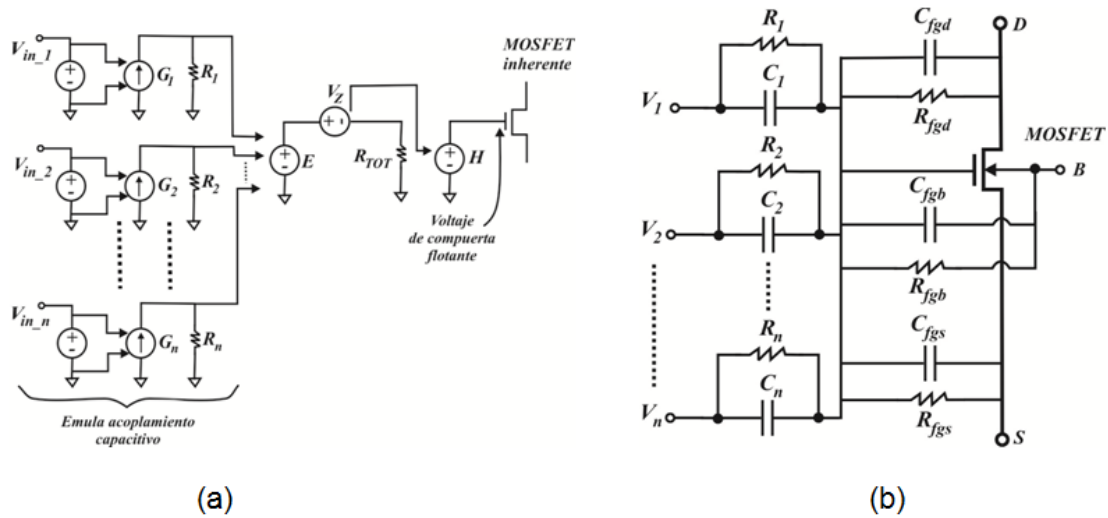


Figure 6. Ejemplos de dos macromodelos utilizador para modelar el comportamiento del MIFGMOS

Adicionalmente, estos macro-modelos son completamente inútiles para el análisis en AC de celdas analógicas. Así, las incertidumbres que se tienen en el modelado del transistor MIFGMOS han contribuido a que éste no sea utilizado ampliamente, a pesar del potencial que tiene este dispositivo, como se mencionó en secciones previas.

4. Nuevas propuestas para el modelado del MIFGMOS

El Laboratorio de Diseño de Circuitos Electrónicos del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara está retomando el tema del modelado del transistor MIFGMOS para obtener modelos eficientes de simulación con el objeto de predecir mejor los resultados que se obtendrán en los prototipos reales. Dado que se tienen varios modelos para el MOSFET en general, se ha optado por trabajar inicialmente con el

modelo de carga superficial y con el modelo EKV. El primero de ellos se ha considerado porque es un modelo con muy buenas bases físicas aunque este modelo adolece de ser complejo y de resultados no muy similares a la realidad, sin embargo, proporciona excelentes explicaciones sobre los fenómenos que se están observando en el laboratorio. Por otro lado, el modelo EKV se está utilizando debido a que está en un nivel medio de complejidad y es más fácil de manipular, sobre todo en programas alternativos al SPICE como es el caso de MATLAB.

Las técnicas de simulación que se están explorando se basan en separar el transistor MIFGMOS en dos partes: un transistor MOSFET convencional y una interface capacitiva de entrada (Figura 1 (a)). Dado que la etapa del MOSFET es la misma que un MOSFET convencional los modelos matemáticos permanecen sin cambio sustanciales, pero al añadir la interface capacitiva de entrada, las ecuaciones deben de replantearse. El método radica en sustituir el voltaje de compuerta VGS del MOSFET inherente con valores que se obtienen por separado con ecuaciones que predicen el valor del voltaje con ecuaciones como (1).

El principal problema aparece con las capacitancias parásitas que ahora se deben de considerar en (a) pues estas suelen ser variables conforme varía el voltaje en la compuerta flotante. Por ejemplo, si el voltaje en la compuerta flotante está en función de las capacitancias parásitas ya su vez algunas de estas capacitancias parásitas depende del mismo voltaje en la compuerta flotante, se generarán ecuaciones implícitas que deben resolverse con métodos numéricos. Esto conlleva a buscar el método adecuado para converger a valores correctos, a plantear los valores de las condiciones iniciales de los métodos, entre otros inconvenientes.

Como ejemplo de los avances que se han realizado ya en el Laboratorio de Diseño de Circuitos, en la Figura 7 se muestra el resultado de utilizar el CSM en una ecuación toda-región. En este caso se tienen dos entradas de control

en donde una de ellas se mantiene fija y la otra experimenta un barrido. Esta gráfica es obtenida en MATLAB resolviendo el sistema de ecuaciones por Newton-Raphson con todos los valores iniciales a cero. Sin embargo, este primer intento adolece de que es necesario mantener fijo el valor de la capacitancia entre la compuerta y el sustrato para no complicar demasiado los métodos a resolver. En la parte (b) se observa otra gráfica de IDS con respecto al voltaje en una de las compuertas de control. De nuevo, una de las compuertas de control se mantiene fija y la otra experimenta un barrido de voltaje. En este ejemplo en particular se ha graficado solamente el comportamiento del MIFGMOS para inversión débil.

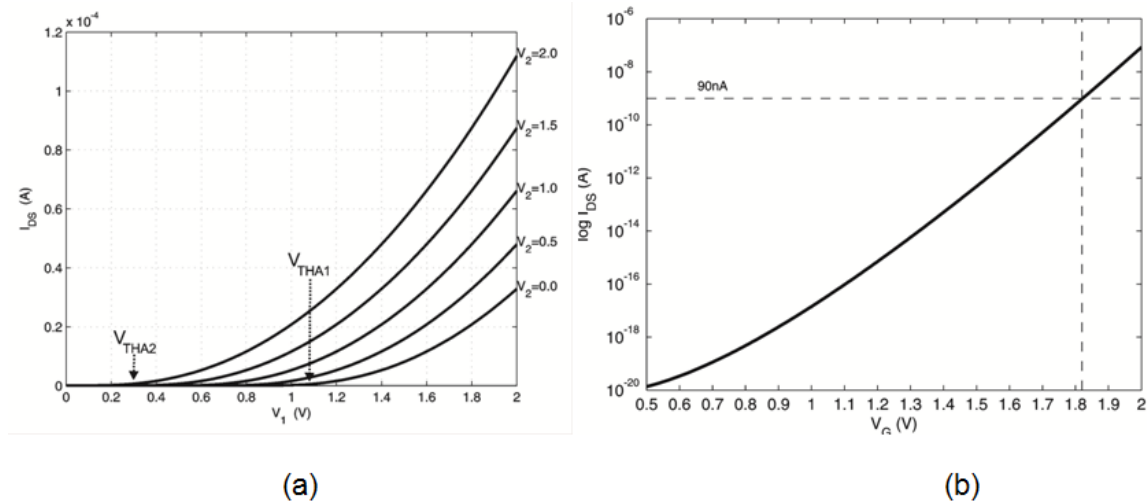


Figure 7. Algunos resultados obtenidos con el modelaje del MIFGMOS (a) utilizando el CSM y (b) utilizando el modelo EKV en la región de subumbral.

Ambos estudios se están desarrollando en paralelo en donde se ha optado por la estrategia de trazar las curvas en MATLAB para realizar una extracción de parámetro a partir de una familia de gráficas. Estos parámetros permitirán polarizar un MOSFET convencional pero considerando que los potenciales en las compuertas equivalen a los valores deseados en la compuerta flotante.

Junto con el proceso de modelado matemáticos, los resultados deben de ser validados con resultados reales, por lo que parte del proyecto es construir dispositivos FGMOS y celdas basadas en el MIFGMOS para tener mediciones reales y comparar resultados con nuestros métodos. Actualmente estamos entrando a esa segunda etapa.

5. Conclusiones

El transistor MIFGMOS tiene un gran potencial para el diseño de celdas de muy bajo voltaje de operación, además de que permite nuevas topologías y estrategias de diseño debido a sus múltiples entradas y a la posibilidad de variar de manera aparente su voltaje de umbral. Sin embargo, es necesario refinar el modelo del dispositivo para obtener resultados de simulación óptimos apegados a la realidad. Para ello se están redefiniendo los modelos utilizando el CSM y el modelo EKV. Cuando se tengan estos modelos, será posible incluirlos en herramientas de simulación basadas en SPICE para obtener resultados confiables.

References

Allen, P., Holberg, D. (2002). CMOS Analog Circuit Design. Second Edition. Oxford University Press. Oxford Series in Electrical and Computer Engineering.

C. Enz, F. Krummenacher and E. Vittoz. (1995). An Analytical MOS Transistor Model Valid in All Regions of Operation and Dedicated to Low-Voltage and Low-Current Applications. Analog Integrated Circuit and Signal Processing. Vol 8. No. 1. pp. 83-114. (2010). Operation and Modeling of the MOS Transistor. Oxford Third Edition. University Press.

E. Sánchez-Sinencio, A. G. Andreau. (1998). Low-Voltage/Low-Power Integrated Circuits and Systems: Low-Voltage Mixed Signal Circuits. IEEE Solid-State Circuits Society. IEEE Press. ISBN: 0780334469, 9780780334465.

Hasler, P. (2001). Continuous-Time Feedback in Floating-Gate MOS Circuits, IEEE Systems-II: Analog and Digital Signal Processing, Vol. 48, No. 1, pp. 56 – 64.

Medina-Vázquez, A., Cruz-Alejo, Gómez-Castañeda, F., Moreno-Cadenas, J. (2009). Low-voltage linear transconductor and a memory current using the MIFGMOS Transistor. Vol. 96, No. 9, September 2009, 895 - 914.

Ochiai, T. and Hatano, H. (1999). A Proposition on Floating Gate Neuron MOS Macromodeling for Device Fabrications. IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E82-A, No. 11, pp. 2485 – 2491.

Prateek Mishra, Anish Muttreja and Niraj K. (2009). Low-power FinFET circuit synthesis using multiple supply and threshold voltages. ACM Journal on Emerging Technologies in Computing Systems (JETC). Vol. 5. Issue 2. Article 7.

Rodriguez-Villegas, E. (2003). Solution to trapped Charge in FGMOS Transistors, Electronics Letters, Volume 39, Issue 19, pp. 1416 – 1417.

Rodriguez-Villegas, E. (2006). Low Power and Low-Voltage Circuit Design with the FGMOS Transistor, London, United Kingdom. The Institution of Engineering and Technology.

Shibata, T. and Ohmi, T. (1992). "A Functional MOS Transistor Featuring Gate-Level Weighted Sum and Threshold Operations". IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 39, Issue 6, pp. 1444-1455.

Shouli Y. and Sanchez-Sinencio E. (2000), Low Voltage Analog Circuit Design Techniques: A tutorial. IEICE Transactions on Analog Integrated Circuits and Systems, Vol. E00-A. No 2.

S. S. Rajput, S. S. Jamuar. (2002). Low Voltage Analog Circuit Design Techniques. IEEE Systems and Circuits Magazine. Vol. 2, issue 1, pp. 24 – 42.

T. Inoue, H. Nakae, Y. Fukuju y E. Sánchez-Sinencio. (2002). A Design of a Low-Voltage Current-Mode Fully-Differential Analog CMOS integrator Using FG-MOSFET and Its Implementation. Analog Integrated Circuits and Signal Processing. Vol. 32. Issue 3. Pp. 249 – 256.

William Liu (2001). MOSFET Models for SPICE Simulation Including BSIM3v3 and BSIM4. John Wiley and Sons Inc. ISBN: 0-471-39697-4

Yannis Tsididis (2010). Operation and Modeling of the MOS Transistor. Oxford Third Edition. University Press. Allen, P., Holberg, D. (2002). CMOS Analog Circuit Design. Second Edition. Oxford University Press. Oxford Series in Electrical and Computer Engineering.

Biographical notes:



Dr. Austin Santiago Medina Vazquez received the Bachelor degree on Communications and Electronics Engineering from the University of Campeche, Mexico in 1999, the Master degree on Telecommunications in 2003 in CINVESTAV Guadalajara, and the Doctoral degree on Science, with speciality on Integrated Circuit Design, from the CINVESTAV Zacatenco in 2009. Since 2009 he is working in the University of Guadalajara and his current research interests are mixed signal integrated circuit design. Nowadays, his main project is based in modelling and implementation of very low power integrated circuit based on the floating gate transistor.



Dr. María Elena Meda has received her PhD in electronic engineering in 2002 at the Research Center and Advanced Studies of the National Polytechnic Institute, Mexico. Since 2003 she works at the University of Guadalajara as a full time professor at the Information System Department. Her main research area is the modeling and applications of discrete event systems (DES) based on interpreted Petri nets (IPN).



Dr. Marco A. Gurrola-Navarro received the Bachelor degree on Communications and Electronics Engineering from the University of Guadalajara, Mexico in 1997, the Master degree on Earth Sciences from the University of Guadalajara, 2003, and the Doctoral degree on Science, with speciality on Integrated Circuit Design, from the National Institute of Astrophysics Optics and Electronics, at Tonantzintla, Mexico in 2009. Since 2009 he is working in the University of Guadalajara and his current research interests are mixed signal integrated circuit design, and SoC.



Dr. Edwin Christian Becerra Alvarez received the B.S. degree on Communications and Electronic Engineering from the University of Guadalajara, Mexico in 2004, the M.S. degree on Electric Engineering from CINVESTAV, Mexico in 2006 and the Ph.D. degree on Microelectronics from the University of Seville, Spain in 2010. Since 2010 he is working in the University of Guadalajara and his current research interests are on CMOS RF circuits.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.

De la ingeniería Biomédica al aula de Matemáticas

Avenilde Romo-Vázquez
Centro de investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología
Avanzada
Instituto Politécnico Nacional
avenilderv@yahoo.com.mx

Rebeca Romo-Vázquez
Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías
Universidad de Guadalajara, México
rebeca.romo@cucei.udg.mx

Hugo Velez-Pérez
Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías
Universidad de Guadalajara, México
hugo.velez@cucei.udg.mx,

Resumen: Con el objetivo de diseñar actividades didácticas de modelación lo más cercanas a un contexto “real”, se realizó un trabajo colaborativo entre matemáticos educativos e ingenieros biomédicos. Este trabajo permitió conocer y analizar un contexto real de modelación matemática, el método de Separación Ciega de Fuentes (Blind Source Separation - BSS). La descripción del método de la BSS, que presentamos en la primera parte de esta comunicación, fue mostrada a profesores de matemáticas que cursaban la maestría en Matemática Educativa del CICATA-IPN y se les pidió generar actividades didácticas inspiradas en este contexto. En la segunda parte de

esta comunicación, presentamos algunas de las actividades que ellos generaron y consideramos que son una buena base para el diseño de secuencias didácticas que puedan figurar en la formación matemática de futuros ingenieros.

Palabras clave: modelación matemática, contexto real, método BSS

1. Introducción

La modelización matemática se ha reconocido como una herramienta fundamental en la práctica de los ingenieros. En 1988 se publicó el estudio ICMI 3 realizado en el seno de la Comisión Internacional de la Enseñanza de las Matemáticas. El tema del estudio fue Matemáticas como disciplina de servicio, matemáticos, matemáticos educativos, investigadores y educadores, contribuyeron a este estudio. En su contribución, Pollak matemático que trabajó durante 35 años en los Laboratorios Bell y formó ingenieros en esta empresa, señala que en niveles técnicos avanzados los ingenieros necesitan en su práctica:

Antes que todo, necesitamos tener conocimiento del hecho que el pensamiento matemático, el pensamiento analítico, estructural, cuantitativo, sistemático, puede ser aplicado al mundo real y generar observaciones de gran valor; en otros términos que la modelización matemática es posible y puede ser eficaz. (Pollak, 1988, p.31)

La modelización es vista como el paradigma educativo que la formación matemática puede adoptar en lugar del clásico, teoría aplicaciones. Investigaciones que se han desarrollado para reconocer las matemáticas que figuran en las prácticas profesionales (Noss, Hoyles y Pozzi 2000; Kent y Noss 2001; Bissell y Dillon 2000; Bissell 2002 y 2004) analizados en detalle en (Romo-Vázquez, 2009) permiten caracterizar las matemáticas en las prácticas profesionales como:

- Estas matemáticas se construyen en una relación estrecha con la práctica, **en una comprensión a través del uso**
- Sus dimensiones las más avanzadas tienden, cada vez más, a estar a cargo de **especialistas o de programas computacionales**
- Las necesidades de los no especialistas parecen desplazarse hacia la capacidad de manipular estas matemáticas como una herramienta de comunicación a través de los **lenguajes específicos**, esto contribuye a explicar por qué su rol es tan **poco reconocido**

Consideramos que para que la formación de futuros ingenieros pueda adaptarse a las necesidades matemáticas de la práctica, es necesario generar dispositivos didácticos donde la modelización matemática –construcción, adaptación y refinamiento de modelos- tenga un lugar central. Es por ello, que hemos desarrollado un proyecto conjunto, matemáticos educativos e ingenieros biomédicos para que el uso de modelos matemáticos en la práctica ingenieril sea base de actividades didácticas. En esta comunicación presentamos dos fases de este proyecto:

1. Análisis de modelos matemáticos en ingeniería biomédica y particularmente en el método de la BSS
2. Diseño de actividades didácticas por profesores de matemáticas considerando el contexto de la BSS

Presentamos primeramente el método de la BSS y posteriormente las actividades diseñadas por los profesores de matemáticas.

2. Contexto de la ingeniería biomédica: Separación Ciega de Fuentes

El método de Separación Ciega de Fuentes es utilizado en ingeniería biomédica en diferentes aplicaciones. Nosotros analizamos el uso del método para mejorar el diagnóstico de la epilepsia.

2.1 Descripción del Contexto que motiva el uso del método Separación Ciega de Fuentes

En el área de la ingeniería biomédica, ingeniería al servicio de la salud, en el dominio de procesamiento de señales, más específicamente, se estudia la actividad eléctrica del organismo a través del registro de señales electrofisiológicas. Las señales registradas permiten, en un trabajo de clínica, determinar el estado de salud de las personas y diagnosticar la presencia de una posible patología. Por lo que es muy importante que este registro sea lo más fiel posible a la actividad eléctrica de los órganos. Es decir, durante el registro existen diferentes interferencias y/o perturbaciones que alteran el registro de las señales y por consecuencia su interpretación. Algunos ejemplos de señales electrofisiológicas son: el electrocardiograma (ECG), el electroencefalograma (EEG), el electromiograma (EMG), etc. Por ejemplo, el electroencefalograma (EEG) es el método más usado para registrar la actividad eléctrica del cerebro, mediante electrodos que se colocan sobre el cuero cabelludo. Estos electrodos se colocan siguiendo estándares internacionales, por ejemplo el sistema 10 – 20 (ver figura 1). Si bien, estos electrodos registran la actividad eléctrica cerebral, también registran otro tipo de actividad, como puede ser actividad electrofisiológica que no sea de origen cerebral (i.e. actividad ocular, actividad muscular, actividad cardiaca), así como ruido. Tanto al ruido como a la actividad no cerebral que se registra se les conoce como perturbaciones.

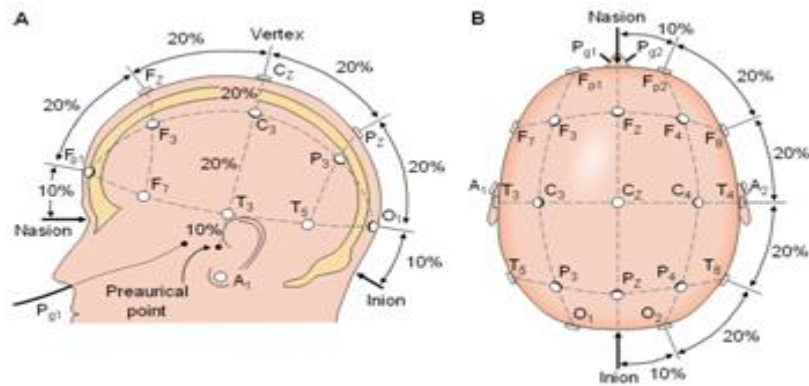


Figura 1. Sistema internacional 10 – 20 para la colocación de electrodos

Con la finalidad de tener registros exentos de perturbaciones se han creado métodos de tratamiento de señal como la separación ciega de fuentes (BSS), el cual consiste en separar a partir de los registros de EEG las fuentes (señales) que tienen un origen cerebral y las fuentes que no tienen un origen cerebral. Una vez que las señales de EEG son separadas en sus fuentes de origen se procede a identificar las de origen cerebral y las de origen no cerebral (extra - cerebrales). Posteriormente las fuentes clasificadas como extra cerebrales son eliminadas y se conservan únicamente las fuentes cerebrales.

Esta descripción fue hecha por ingenieros biomédicos en respuesta a nuestra demanda, la cual nos permite conocer el contexto que motiva/requiere el uso del método BSS. Del trabajo colaborativo entre ingenieros biomédicos y matemáticos educativos resulta una descripción más detallada del método. Lo anterior es realizado para transponer/adecuar dicho contexto en un contexto extra-matemático para el diseño de actividades didácticas.

2.2 Método de la BSS y su viabilidad como contexto de actividades didácticas de modelación

Como se mencionó anteriormente, la idea de la BSS consiste en encontrar las fuentes de origen a partir únicamente del conocimiento de una mezcla de señales desconocidas (las observaciones). Esta mezcla es el resultado de la combinación de diversas fuentes de origen a través de una matriz de mezcla también desconocida. Teniendo únicamente como conocimiento el resultado de la mezcla (observaciones). A fin de encontrar las fuentes, el objetivo de la BSS es encontrar la matriz inversa (a la matriz de mezcla), esto sin tener ningún conocimiento previo, ni de las fuentes ni del sistema de mezcla. En el caso de un registro de EEG, consideramos el EEG como el resultado de una mezcla de fuentes cerebrales y de fuentes extra cerebrales . Los registros de EEG son el resultado de la combinación de diversas fuentes s (cerebrales y extra cerebrales), esta combinación es registrada por los electrodos colocados sobre el cuero cabelludo (las observaciones) x (Figura, 2).

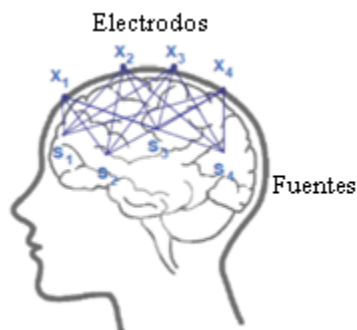
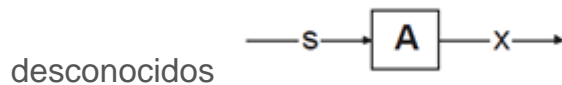


Figura 2. Combinación entre electrodos y fuentes.

El principio de la solución de la BSS está basado en el álgebra lineal, en el uso de matrices y operaciones sobre éstas como la multiplicación que nos permite resolver el problema inverso presentado. Es decir que a partir de una matriz de

señales desconocidas \mathbf{x} debemos resolver el problema inverso y encontrar las matrices que multiplicadas (\mathbf{s} y \mathbf{A}) dieron como resultado la mezcla \mathbf{x} .

Desde el punto de vista formal, la separación ciega de fuentes consiste en estimar P señales desconocidas \mathbf{s} (las fuentes) a partir del conocimiento únicamente de Q mezclas de las señales \mathbf{x} (las observaciones). El término ciego significa que tanto las fuentes \mathbf{s} como el sistema de mezcla \mathbf{A} son



2.2.1 Modelo de la BSS

El modelo espacial de la mezcla al instante k está definido por (caso ideal, sin ruido):

$$\mathbf{x}(k) = \mathbf{A}\mathbf{s}(k)$$

donde:

$$\mathbf{x}(k) = [x_1(k), \dots, x_Q(k)]^T$$

es el vector de señales observadas (electrodos)

$$\mathbf{s}(k) = [s_1(k), \dots, s_p(k)]^T$$

es el vector de las fuentes de origen (desconocido)

$\mathbf{A}(Q \times P)$ la matriz de mezcla (desconocida).

El objetivo de la BSS es la estimación de una matriz de separación B , que permita la estimación de las fuentes de origen s a partir de las señales medidas x :



Figura 3. Principio del método de la BSS

Aquí vemos aparecer la motivación del método y ésta no es matemática sino contextual, se desea conocer las fuentes s a partir de las observaciones x obtenidas. La explicación hecha del método BSS, muestra que este método es el óptimo para poder lograr este objetivo.

Para fines clínicos el interés está en conocer las fuentes de origen cerebral, sin embargo el registro sólo muestra la mezcla de las diversas fuentes. Sin ningún conocimiento a *priori* de las fuentes cerebrales, solucionar este problema resulta una tarea muy complicada a resolver. Los resultados obtenidos con el uso de la BSS en clínica son prometedores.

3. Actividades didácticas propuestas por profesores de matemáticas

La descripción del método de la BSS fue propuesto en un curso de maestría de Matemática Educativa en el Programa de Matemática Educativa de Cicata-IPN, en la modalidad en línea y a distancia. Los estudiantes del curso eran profesores de matemáticas de diferentes partes de Latinoamérica.

En el curso, además del método se les propuso una metodología para el diseño de actividades didácticas basadas en modelación (Macias, 2012). Con estos dos documentos los profesores del curso fueron solicitados a generar actividades didácticas de modelación considerando el método de la BSS como una aplicación real de la ingeniería, que podía convertirse/transformarse en una actividad didáctica de modelación. Para realizar esta actividad, los profesores participaron en un foro de dudas que era atendido tanto por matemáticos educativos e ingenieros biomédicos. A partir del foro pudimos observar que antes del diseño de la actividad didáctica, los profesores requieren comprender el método de la BSS y en efecto lo transponen (lo modifican para volverlo comprensible).

Para ilustrar lo anterior consideramos la siguiente imagen puesta en el foro por uno de los participantes que llamaremos el profesor Luis:

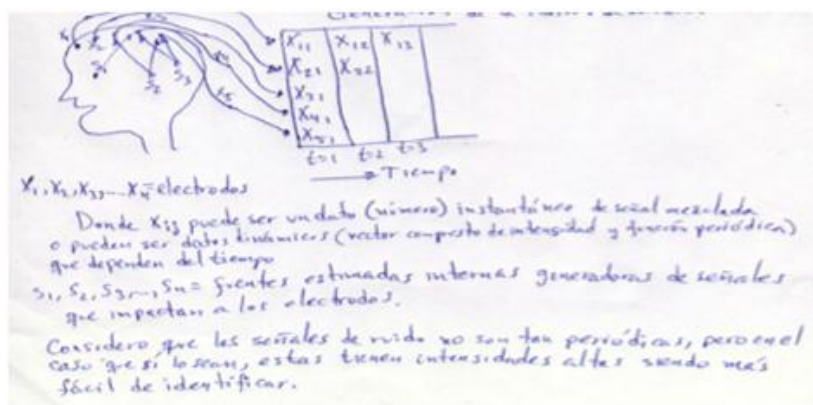


Figura 4. Documento expuesto en el foro por el profesor Luis

En este documento producido por el profesor Luis se muestra un dibujo en el que se ilustran los electrodos como generadores de datos, $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ en relación al tiempo. Es interesante notar como en este dibujo los datos van de los electrodos hacia una tabla, las columnas aparecen valores distintos para t (tiempo). El profesor especifica que las x_{ij} pueden ser datos numéricos producidos al instante de una señal mezclada (lenguaje del contexto) en relación a un tiempo, o bien “pueden ser datos dinámicos (vector de intensidad y función periódica) que dependen del tiempo”. Aquí reconoce al vector como el elemento matemático que permite modelar la información obtenida por los electrodos. Al final de su documento escribe: “Considero que las señales de ruido no son tan periódicas, pero en el caso que lo sean, éstas tienen intensidades altas siendo más fácil de identificar.” Lo anterior nos hace suponer que el profesor Luis intenta reconocer la naturaleza matemática (a través de la periodicidad) de las señales de ruido. El lenguaje privilegiado es el del contexto, no habla de funciones sino de señales y asocia la intensidad al elemento que permite identificar el tipo de señal, asociándolo a lo periódico.

En este mismo foro otro de los profesores que llamaremos profesor Diego, reconoce, a partir de un análisis sobre el documento dado (descripción de la BSS) y otros artículos producto de su propia investigación, el principio de la BSS y lo considera para el caso de ecuaciones polinómicas:

De acuerdo a lo leído y analizado, en el escrito, y en otros artículos, puedo formular lo siguiente: No conocemos las fuentes (s) ni la matriz de mezcla (A), sólo se conoce (x). $x = A \cdot s$ De acuerdo a lo anterior podría decir lo siguiente: $x^3 + x^2 - 3x + 1$, es una ecuación polinómica, que ha sido, perturbada por otra, con características lineales. Cuál será la función original polinómica, y cuál la perturbadora. ¿Podría ser este un contexto, que hace relación a la separación ciega de fuentes? (Participación del profesor Diego en el foro del curso)

La profesora Adriana al igual que el profesor Diego señala que ha investigado sobre la BSS encontrando que existen algoritmos muy complejos para encontrar las fuentes originales:

El objetivo de esta actividad es diseñar una actividad de modelación donde podamos aplicar la teoría BSS. Yo estoy pensando en adaptar esta teoría de señales, simplificándola para poder trabajar con estudiantes de secundaria (bachillerato), he podido constatar que existen algoritmos bastante complejos para resolver la ecuación matricial original sin conocer las señales de origen ni la matriz mezcla. Por lo tanto voy a intentar diseñar una actividad dónde a partir de determinados datos los alumnos puedan construir la matriz mezcla además de contar con los datos de las señales que se reciben. Estuve leyendo el problema de la "fiesta de cóctel", se me complica en pensar ¿cómo medir las señales originales? para darle sentido a una actividad de clase. Es difícil encontrar actividades que expliquen cómo se aplica esta teoría en un nivel básico. (Participación de la profesora Adriana en el foro del curso)

La profesora Adriana explicita primeramente la consigna de la actividad que les fue pedida e inmediatamente señala la necesidad de adaptar la BSS (vista como teoría) al nivel en el que ella labora, el bachillerato. Manifiesta que ha investigado sobre la BSS al confirmar que existen algoritmos “bastante complejos para resolver la ecuación matricial original sin conocer las señales de origen ni la matriz mezcla”. En este extracto Adriana enuncia el principio del método, lo que permite hacer y es éste el que debe considerar para el aula, para lo cual señala deberá tener datos de las señales que se captan. Asimismo, Adriana menciona que en sus investigaciones ha encontrado problemas basados en el método como este de la “fiesta de cóctel” pero parece todavía no serle útil para diseñar su propia actividad.

Lo anterior, nos permite ilustrar esta primera etapa en el diseño que consiste en apropiarse del contexto para luego adaptarlo al aula. Y más precisamente a tareas que evocan el contexto real de aplicación pero que puedan ser realizadas en una clase de matemáticas. Analizamos a continuación la actividad propuesta por Adriana por la cual considera y presenta la siguiente tabla:

Algo sobre escalas musicales:

Tabla de frecuencias de las notas musicales de la escala cromática:

<u>Primera octava:</u>	Sol 3: 391,995	Re# 6: 2489,016
Do 1: 65,406	Sol#3: 415,305	Mi 6: 2637,02
Do# 1: 69,296	La 3: 440	Fa 6: 2793,826
Re 1: 73,416	La# 3: 466,164	Fa# 6: 2959,955
Re# 1: 77,782	Si 3: 493,883	Sol 6: 3135,963
Mi 1: 82,407		Sol#6: 3322,438
Fa 1: 87,307	<u>Cuarta octava:</u>	La 6: 3520
Fa# 1: 92,499	Do 4: 523,251	La# 6: 3729,31
Sol 1: 97,999	Do# 4: 554,365	Si 6: 3951,066
Sol#1: 103,826	Re 4: 587,33	
La 1: 110	Re# 4: 622,254	<u>Séptima octava:</u>
La# 1: 116,541	Mi 4: 659,255	Do 7: 4186,009
Si 1: 123,471	Fa 4: 698,456	Do# 7: 4434,922
	Fa# 4: 739,989	Re 7: 4698,636
<u>Segunda octava:</u>	Sol 4: 783,991	Re# 7: 4978,032
Do 2: 130,813	Sol#4: 830,609	Mi 7: 5274,041
Do# 2: 138,591	La 4: 880	Fa 7: 5587,652
Re 2: 146,832	La# 4: 932,328	Fa# 7: 5919,911
Re# 2: 155,563	Si 4: 987,767	Sol 7: 6271,927
Mi 2: 164,814		Sol#7: 6644,875
Fa 2: 174,614	<u>Quinta octava:</u>	La 7: 7040
Fa# 2: 184,997	Do 5: 1046,502	La# 7: 7458,62
(tono del piano, primera nota)	Do# 5: 1108,731	Si 7: 7902,133
Sol 2: 195,998	Re 5: 1174,659	
Sol#2: 207,652	Re# 5: 1244,508	<u>Octava octava:</u>
La 2: 220	Mi 5: 1318,51	Do 8: 8372,018
La# 2: 233,082	Fa 5: 1396,913	Do# 8: 8869,844
Si 2: 246,942	Fa# 5: 1479,978	Re 8: 9397,273
	Sol 5: 1567,982	Re# 8: 9956,063
<u>Tercera octava:</u>	Sol#5: 1661,219	Mi 8: 10548,082
Do 3: 261,626	La 5: 1760	Fa 8: 11175,303
Do# 3: 277,183	La# 5: 1864,655	Fa# 8: 11839,822
Re 3: 293,665	Si 5: 1975,533	Sol 8: 12543,854
Re# 3: 311,127		Sol#8: 13289,75
Mi 3: 329,628	<u>Sexta octava:</u>	La 8: 14080
Fa 3: 349,228	Do 6: 2093,005	La# 8: 14917,24
Fa# 3: 369,994	Do# 6: 2217,461	Si 8: 15804,266
	Re 6: 2349,318	

Figura 5. Tabla de frecuencias de las notas musicales de la escala cromática

La tabla de frecuencias aparece acompañada de la siguiente explicación que muestra cómo leer la tabla:

El tono del piano (primera nota) corresponde a un Fa# 3 (tercera octava) cuya frecuencia corresponde a 184,997 HZ, un piano normalmente tiene unas 72 teclas, por lo tanto tiene 6 octavas. El tono del violín corresponde a un Si 4 (nota Si de la cuarta octava) cuya frecuencia corresponde a 987,767 HZ y tiene 3 octavas.

A pesar de que ella escribe 184,997 HZ que corresponde al valor de la segunda escala y no al de la tercera que es: 369,994 HZ.

El problema

En un estudio de grabación se realizan pruebas de audio de un dúo musical formado por un piano y un violín. Se ubican en la sala de grabación dos micrófonos para grabar la ejecución de la pieza instrumental, estos micrófonos están conectados a una consola que graba el tema que ambos instrumentos están ejecutando, el ingeniero de sonido se percata que la consola está distorsionando el sonido original, las frecuencias de las notas ejecutadas por los instrumentos musicales no son las que quedan registradas en la grabación. El ingeniero registra las mediciones de frecuencias en un instante dado que obtiene con el micrófono 1 (M1) y con el micrófono 2 (M2) y descubre que las distorsiones generadas en la grabación están dadas según los datos de la matriz

$$A = \begin{pmatrix} -4 & 2 \\ 5 & 3 \end{pmatrix}$$

(dónde los datos de la fila 1 corresponden a las distorsiones de los registros captados en el M1 y los de la fila 2 a las distorsiones de las frecuencias captadas por M2, la columna 1 son las distorsiones que sufre la frecuencia del piano y los datos de la columna 2 las que sufre la frecuencia del violín). Los registros de frecuencia obtenidos de la grabación en ese instante dado (seg.)

son: 10760 Hz (en el M1) y 25270 Hz (con el M2). En ese instante de registro, ¿cuáles son las notas reales ejecutadas por los instrumentos y en qué octava?

Podemos ver cómo Adriana a partir de la consideración de la tabla de frecuencias de las notas musicales de la escala cromática logra generar un problema que puede ser llevado al aula. Notemos que este problema está en una etapa intermedia de diseño, pues faltan datos, por ejemplo del tiempo; no se explicitan las tareas que deberá resolver el estudiante o la forma en que le será presentado; en qué tema del programa será presentado, etc. Sin embargo el contexto de la BSS ha sido adaptado a través de este de las frecuencias de la escala cromática y el primer desglose en términos de praxeologías mixtas (tarea no matemática, técnica matemática, tecnologías matemáticas y no matemáticas, teoría) es presentado como se muestra a continuación:

Tareas no matemáticas:

T1: Determinar nota y octava que ejecuta el piano en el instante registrado.

T2: Determinar nota y octava que ejecuta el violín en el instante registrado.

Técnica matemática:

Ô1: Resolución de la ecuación matricial:

$$\begin{pmatrix} 10760 \\ 25270 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -4 & 2 \\ 5 & 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P \\ V \end{pmatrix}$$

Tecnologías matemáticas:

Existencia y unicidad de la inversa de una matriz cuadrado no singular (determinante no nulo).

Definición y propiedades de la multiplicación de matrices.

Notemos que esta idea de praxeología mixta propuesta en la metodología para el diseño incluye este componente de tecnología no matemática, validaciones, explicaciones y justificaciones que provienen del contexto no matemático considerado. Como mencionamos en la introducción de esta comunicación las actividades propuestas por los profesores e ilustradas aquí a partir de la

propuesta por Adriana, constituyen una base para el desarrollo de secuencia didácticas que puedan ser llevadas al aula.

4. Conclusión

El diseño de actividades didácticas basadas en modelación solicita un trabajo arduo para elegir y adaptar contextos extra-matemáticos o modelos matemáticos en uso. La elección del contexto extra-matemático y sobre todo su adaptación requiere un trabajo colaborativo con los expertos en dicho contexto. En este caso los ingenieros biomédicos colaboraron tanto en la fase de descripción de los modelos matemáticos utilizados en su contexto y en el curso de Matemática Educativa, particularmente en el foro. El trabajo con profesores de matemáticas es una fase fundamental y solicita:

- una primera transposición del contexto (descripción hecha del contexto)
- un marco institucional propicio
- una metodología para el diseño

El trabajo realizado por los profesores muestra que una segunda trasposición se ejerce antes del diseño de las actividades, ésta resulta necesaria para apropiarse del contexto extra-matemático y poderlo adaptar al aula. El diseño de las actividades está dado en términos de praxeologías mixtas (tareas, técnicas, tecnologías y teoría), lo cual es sugerido por la metodología propuesta y permite generar un “primer diseño didáctico”

Todas las actividades propuestas requieren de un segundo y hasta tercer diseño para poder ser probadas con estudiantes. Lo anterior es desarrollado en el marco de tesis de maestría y ha mostrado que las actividades propuestas por los profesores son una base para poder diseñar secuencias más elaboradas. El trabajo aquí presentado, a pesar de estar en una primera fase, nos parece ser una vía para acercar la modelación matemática que tiene lugar

en escenarios reales a la formación matemática, particularmente de futuros ingenieros.

¹ El registro de la actividad cerebral y no cerebral de manera conjunta es inevitable, debido a que los pelectodos se colocan sobre el cureo cabelludo y registral a la vez otro tipo de actividad electrofisiológica como la actividad cardiaca, la actividad muscular y la actividad ocular, entre las más comunes.

Referencias

Bissell, C.C. (2000). Telling tales: models, stories and meanings. For the learning of mathematics, 20(3), 3-11.

Bissell, C.C. (2002). Histoires, héritages et herméneutique : la vie quotidienne des mathématiques de l'ingénieur. Annales des Ponts et Chaussées, 107-8, 4-9.

Chevallard, Y. (1999). La recherche en didactique et la formation des professeurs : problématiques, electroencephalogram by approximate joint diagonalization of second order statistics. Clinical Neurophysiology, 119(12). 2677-2686.

Jung, T., Makeig, S., Humphries, C., Lee, T., Mckeown, M., Iragui, V. & Sejnowski, T. (2000). Removing e lectroencephalographic artifacts by blind source separation. Psychophysiology, 37(02). 163-178.

Howson, G., Kahane, J. P., Lauginie, P., Turckheim E. (1988). Mathematics as a Service Subjec. Cambridge: Cambridge University Press (ICMI Study Series).

Kachenoura, A. (2006). Traitement Aveugle de Signaux Biomédicaux. Traitement du signal et telecommunications, L'Universite de Rennes 1, France.

Kent, P. & Noss, R. (2002). The mathematical components of engineering expertise: The relationship between doing and understanding mathematics. Proceedings of the IEE Second Annual Symposium on Engineering Education: Professional Engineering Scenarios 2, 39/1-39/7, London UK.

Macias (2012). Uso de las nuevas tecnologías en la formación matemática de ingenieros. Tesis de maestria. CICATA, unidad Legaria -IPN

Noss, R; Hoyles, C; Pozzi, S. (2000). Working Knowledge: Mathematics in use, In A. Bessot & J. Ridgway (Eds.), Education for Mathematics in the workplace, (pp.17-35). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Romo Vázquez, A. (2009). Les mathématiques dans la formation d'ingénieurs. Paris: Irem de Paris.

R. Romo-Vazquez, H. Velez-Perez, R. Ranta, V. Louis-Dorr, D. Maquin, L. Maillard. (2012). Blind source separation, wavelet denoising and discriminant analysis for EEG artefacts and noise cancelling, Biomedical Signal Processing and Control, 7(4). 389-400.

Notas biográficas



Dr. Avenilde Romo Vázquez Recibió el grado de Doctora en Ciencias en Didáctica de las Disciplinas, en la especialidad de Matemáticas, en la Universidad Paris 7 en París, Francia. Desarrolla su investigación en la formación matemática de futuros ingenieros y en el rol de la modelación matemática.



Dra. Rebeca del Carmen Romo Vázquez Recibió el grado de Doctora en Ciencias con la especialidad en Ingeniería por la Salud, en el Institut National Polytechnique de Lorraine en Nancy, Francia. Sus intereses son en tratamiento de señales de origen biológico.



Dr. Hugo Abraham Vélez Pérez Recibió el grado de Doctor en Ciencias con la especialidad en Ingeniería por la Salud, en el Institut National Polytechnique de Lorraine en Nancy, Francia. Sus intereses son en tratamiento de señales de origen biológico.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.