

Redes Neuronales

Gonzalo V. Castiglione, Alan E. Karpovsky, Martín Sturla
Estudiantes Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA)

3 de Mayo de 2012

Entrega Final - Informe

Resumen—El presente informe busca analizar redes neuronales multicapa utilizando funciones de activación exponencial y tangente hiperbólica, para la resolución del problema dado.

Palabras clave—Perceptrón, función de transferencia, red neuronal, aprendizaje supervisado, conjunto de entrenamiento, conjunto de testeo

I. INTRODUCCIÓN

Se analizó el comportamiento de distintas redes neuronales multicapa para el problema de la generalización de una función matemática a partir de un conjunto de datos (puntos de la función).

Con este fin se implementó un algoritmo que permite definir la arquitectura y las propiedades de la red neuronal a generar de manera de hacer más simple y práctico su estudio.

II. DESARROLLO

A. Modelado del problema

Se representó la red neuronal como una **matriz de pesos**. Cada neurona es una columna de pesos, cada capa de neuronas es una matriz de pesos, la red neuronal, por consiguiente, es un vector de matrices. Lo interesante es que hallar la salida de la red neuronal con una cierta entrada se reduce a multiplicar el vector entrada por cada una de estas matrices. Cabe destacar que al vector y a todos los pasos intermedios se les agrega siempre un -1 como último valor para el sesgo.

Además de la matriz de pesos se mantiene una matriz paralela representando bajas lógicas a la matriz de pesos. Esto permite modelar también redes neuronales no completas (es decir, no todas las neuronas de una capa están conectadas con todas las de la anterior).

B. Elección de puntos

Se optó por escribir funciones que permitan tomar subconjuntos de forma aleatoria del conjunto de muestras de entrada, dado un determinado porcentaje. Esto es verdaderamente útil si se quiere probar el poder de generalización de la red: Se toma, por ejemplo, un conjunto de entrenamiento con el 30% de los valores de entrada y el

70% restante de los puntos se asignan al conjunto de testeo (siempre se toman disjuntos).

Se decidió tomar una muestra al azar dado que es más leal a situaciones reales en las cuales uno debe entrenar la red con los puntos que posee, y no con los que desea. Uno podría, por ejemplo, estimar las derivadas parciales de los puntos dados, y utilizar como muestra más representativa un conjunto de puntos en los cuales se toma más puntos en donde la norma del gradiente sea mayor, sin embargo se decidió no hacerlo por lo ya mencionado.

C. Función de costo

Como función de costo se decidió implementar únicamente la diferencia cuadrática.

D. Funciones de activación

Para todos los casos de prueba se entrenó a la red utilizando la función de activación la función tangente hiperbólica

$$f(x) = \tanh(\beta x) \quad (1)$$

y la función exponencial

$$g(x) = \frac{1}{1 + e^{-2\beta x}} \quad (2)$$

El programa permite elegir entre ambas para las pruebas. Sin embargo se prefirió utilizar la tangente hiperbólica, dado que :

$$g(x) = \frac{f(x) + 1}{2} \quad (3)$$

En otras palabras el comportamiento de las funciones es muy similar, simplemente su imagen es distinta. Nótese que las expresiones de los cambios en los pesos de las neuronas tienen como factor el valor obtenido por la función de activación. Dado que la función exponencial satura en 0 para valores negativos grandes, se hace que sea muy difícil cambiar los pesos una vez que comienza la saturación.

E. Normalización de datos

En este problema en particular, los valores de las muestras de entrada $f(x, y) = z$ tenían las siguientes características: Aproximadamente $x \in [-3, 3]$, $y \in [-3, 3]$ y $z \in [0, 1]$. Como se comentó anteriormente, la red neuronal puede funcionar con la función de activación tangente

hiperbólica en todas sus capas o con la función exponencial. En el caso de optar por utilizar la primera de ellas, la imagen de la función tangente hiperbólica es $(-1, 1)$ y debido a esto se debieron normalizar los valores de x e y y llevarlos al $(-1, 1)$. Para hacer esto se dividió al vector \vec{x} por el máximo número en valor absoluto y se realizó el procedimiento análogo para el vector \vec{y} (\vec{x} contiene todos los puntos x de las muestras de entrada e \vec{y} los puntos y).

Asimismo, teniendo en cuenta que z toma valores entre 0 y 1, se decidió utilizar la función de activación exponencial en la capa de salida. Como cada capa es independiente de las demás, pueden utilizarse distintas funciones de activación en cada capa (lógicamente utilizando la misma función para todas las neuronas de una misma capa). Realizando esta pequeña modificación subsanamos el problema de comparar valores que están entre $(-1, 1)$ (salida de la red neuronal con función de activación tangente hiperbólica en la última capa) con valores de z que están entre $(0, 1)$.

F. Procesamiento por lotes

Se decidió procesar las entradas por lotes. Esto significa que una vez mezclados los patrones de entrada, en cada época, se procesan n patrones, se calculan los cambios en pesos que se debe hacer para cada uno, y una vez terminado el lote, se aplican todos los cambios. Lotes más grandes implican menores costos de procesamiento, pero también implica un mayor riesgo de que se cancelen los cambios en los pesos y no se aprenda nada.

G. Mejoras

G.1 Tasa de aprendizaje

Se implementaron tres tipos de funciones para modificar la variable η (*learn rate*): La primera de ellas es a valor **constante**. La segunda es **annealed** que reduce η exponencialmente. Por último se tiene un **learning rate adaptive** que modifica η en función de los últimos errores obtenidos. El crecimiento es aritmético, con cota en $\eta = 0,5$, la reducción es exponencial. La idea de dicha regla es la siguiente: si el error se disminuye consistentemente, es posible que la tasa sea demasiado chica, ya que se está siendo muy conservador y se podría disminuir el error a mayor velocidad. Si el error incrementa, la tasa es demasiado grande, por lo cual se reduce.

G.2 Cambios con momento

Se decidió implementar que los cambios de pesos de la red sean con momento. Esto significa que los cambios de los pesos está dado por:

$$w_{ij}(t+1) = -\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} + \alpha w(t)$$

Lo cual significa que al cambio normal (primer término) se le suma una parte de los cambios anterior. Esto hace que los cambios tomen una cierta inercia y pesen aún en los próximos cambios. Nótese que hay un olvido exponencial de los cambios anteriores.

G.3 Escape de mínimos locales

En iteraciones anteriores, debido a la existencia de mínimos locales se desarrolló un algoritmo **persistent search** que intentaba escapar de dichos mínimos utilizando reinicios luego de cierta cantidad de épocas (se tiran los pesos, se toman otros).

Se decidió descartar dicho algoritmo en favor de agregar ruido a los pesos de la red. Debido a la robustez de las redes neuronales, a largo plazo dicho peso no debería tener un impacto en el error. Por otra parte, dicho ruido podría ser lo necesario para que la red escape de un mínimo local. Teniendo en cuenta ambas cosas, se decidió agregar ruido estocásticamente al finalizar el procesamiento de cada lote. Al finalizar cada lote, con una cierta probabilidad, para cada capa de conexiones, se elige una conexión al azar y se le agrega un ruido proporcional a su valor.

H. Arquitecturas

La elección de arquitecturas es crucial para el aprendizaje de la red. Las arquitecturas inadecuadas podrían quizás no alcanzar una cierta cota de error en el conjunto de entrenamiento, incluso para una cantidad arbitrarias de épocas. Otras arquitecturas podrían, por ejemplo, memorizar bien (reducir el error en el conjunto de entrenamiento) pero generalizar mal (reducir el error en el conjunto de testeo).

H.1 Arquitecturas sin capa oculta

También denominadas perceptrones simples, dichas arquitecturas están atadas a la naturaleza de los conjuntos de entrada y salida. En el caso particular de dos entradas y una salida, la red se reduce a computar:

$$O(x, y) = \tanh(\beta(ax + by - k)) \quad (4)$$

La red intentará hallar valores a, b, k (siendo a, b pesos de conexiones, k el sesgo) tal que la función de costo esté minimizada en los puntos dados. Si la función tiene un comportamiento muy distinto al de la función de activación, poco podrán reducir el error dichas redes. Debido a esta gran limitación, se decidió no usar perceptrones simples.

H.2 Arquitecturas con pocas neuronas y capas

Estas redes sufren un problema similar al de los perceptrones simples. Debido a la baja cantidad de neuronas en comparación con la complejidad de la función, es posible que incluso en una cantidad arbitraria de épocas el error pueda no disminuir por debajo de ciertos valores. En el ejemplo anterior, al tener una expresión muy clara de la salida de la red, este fenómeno era más obvio. A pesar de que analíticamente no sea tan trivial en este caso, en los gráficos producidos por estas redes se puede apreciar como el error nunca alcanza valores por debajo de ciertas cotas.

Sin embargo, debido a las limitaciones ya dichas, estas redes son comparativamente buenas generalizando. Esto se puede apreciar gráficamente con curvas del error de entrenamiento y posterior testeo muy similares.

Ejemplos particulares de dichas redes incluyen arquitecturas con, por ejemplo, 4 neuronas en la primera capa ocul-

ta y 4 en la segunda (para el problema en cuestión). Ver **Anexo a** figura 1.

H.3 Arquitecturas con muchas neuronas y muchas capas

Estas redes tienen capacidades expresivas mucho mayores que las ya mencionadas anteriormente. Esto hace que se puedan alcanzar cotas de errores mucho menores, incluso casi nulas. El problema con dichas redes es que tienden a memorizar. Si se intenta reducir el error a valores crecientemente bajos, es posible que los errores en los patrones de testeo comiencen a crecer. El fenómeno que ocurre es análogo a querer aproximar ocho puntos sobre una línea recta utilizando un polinomio de grado 7; se puede interpolar perfectamente, el error de los puntos sería 0, pero al tomar otros puntos sobre la línea recta el error sería particularmente alto.

Cabe destacar que dichas redes demoran considerablemente más en entrenarse en una cierta cantidad de épocas debido a la complejidad de efectuar un algoritmo *back-propagation* en redes grandes.

H.4 Arquitecturas intermedias

En vista de las dos secciones anteriores, existe un compromiso entre la capacidad de reducir el error arbitrariamente y la capacidad de generalización. Por lo tanto, se prefirió escoger un punto medio en el cual la generalización sea buena y el error sea relativamente bajo (es decir, la precisión dado un cierto error razonable es alta y similar en tanto el conjunto de aprendizaje o entrenamiento y testeo). También se observó que redes más pequeñas son más veloces (no solo en término de tiempo, sino de épocas) en reducir el error.

Los fenómenos mencionados pueden ser observados en el **Anexo A**, figuras 1 y 2. El primero muestra como el error de entrenamiento y testeo se separan considerablemente de por momentos (peor generalización) y por otro lado la tendencia a reducir el error es más lenta.

H.5 Arquitecturas no simétricas

La teoría detrás de las redes neuronales no exige que las redes sean completas (es decir, que todas las neuronas entre dos capas están conectadas todas entre sí). Las redes deberían incluso, debido a su robustez, poder soportar que se rompa una conexión durante el entrenamiento y adaptarse. Debido a esto, se decidió a manera experimental probar con arquitecturas no simétricas, es decir, arquitecturas en las cuales la primer capa no es completa (existen conexiones muertas), con condiciones razonables (que la salida sea alcanzable desde toda entrada, por ejemplo).

Dicha implementación no generó mejoras consistentes como para preferirla sobre redes simétricas, pero tampoco obtuvieron resultados consistentemente peores como para descartarlas por completo.

III. CÁLCULO DEL ERROR

Para los gráficos se optó por mostrar la **diferencia cuadrática media** calculada como sigue:

$$\sum_i \frac{(S_i - O_i)^2}{N} \quad (5)$$

En cuanto al error, se calcula el **error promedio** de la siguiente forma:

$$e = \sum_i \frac{|S_i - O_i|}{N} \quad (6)$$

Entonces, esto está diciendo, por ejemplo que, si la sumatoria es igual a 0.01, cada valor tiene un error promedio de 0.01.

Por ultimo se calculó la **desviación del valor absoluto error**:

$$\sqrt{\sum_i \frac{((\|S_i - O_i\| - e))^2}{N}} \quad (7)$$

Si, por ejemplo, el desvío es igual a 0, significaría que todos los valores tienen un error de 0.01. Es decir el error es fijo. Si es alto significa que hay algunos valores muy precisos (error casi 0) y otros con errores grandes. Es decir el error es variado.

IV. RESULTADOS

En las pruebas realizadas con el factor de momentum activado se observó que la red no se estanca tan fácilmente en mínimos locales. Sin embargo, en algunos casos, puede demorar la convergencia de la red hacia los valores deseados, debido a la memorización de cambios quizás no deseados.

Las arquitecturas con una cantidad moderada de neuronas en dos capas fueron las que dieron los mejores resultados. Con una arquitectura con 50 neuronas en la primer capa oculta y 30 en la segunda, se logró alcanzar un error medio de 0,046 y desviación de 0,018 en tan solo 200 épocas. Esto se tradujo a un coeficiente superior a 0,8 tanto para el conjunto de entrenamiento y el de testeo para un error de 0,05.

Asimismo se observó que la función de activación tangente hiperbólica resultó obtener una mejor performance en comparación con la función sigmoidea exponencial.

Por su parte es notoria la diferencia en cantidad de épocas de la red funcionando con un η adaptativo versus la red funcionando sin este. Mejor aún, la reducción en el número de épocas utilizando η adaptativo es superior al 25%.

De todas formas, los resultados obtenidos no pueden ser descartados y/o tomados como óptimos o absolutos. Esto se debe a que el problema presenta numerosas variables que pueden incidir en el resultado del aprendizaje de una red neuronal: los distintos valores que pueden tomar β y η , la arquitectura utilizada, la cantidad de épocas, la presencia de ruido aleatorio, las conexiones muertas para

romper simetría, etc.

Además, debido a la aleatoriedad de la elección de los puntos a utilizar en el conjunto de entrenamiento y la inicialización de los pesos de la red al azar, no podemos dar por descartados malos resultados ya que es posible que, por ejemplo, se hayan seleccionado puntos poco representativos de la función o que los pesos no se hayan inicializado de la forma óptima.

Una forma de subsanar esta problemática sería correr numerosas veces cada caso de testeo antes de poder sacar una conclusión con la tendencia, pero debido a la complejidad temporal del problema (sobre todo para redes grandes), realizar esto requeriría más tiempo que el disponible.

V. CONCLUSIÓN

Luego de realizadas las pruebas y analizado los resultados, se pudo observar lo siguiente:

- Para la resolución de problemas no siempre es necesaria una mayor cantidad de neuronas para lograr una precisión aceptable (puede llevar a malas generalizaciones y tiempo de más hasta alcanzar el error deseado). Esto puede observarse en la figura 1 del **Anexo A**.
- El aprendizaje de las redes y la velocidad de convergencia dependen exclusivamente de la naturaleza del problema y de los parámetros adecuados para dicho problema en particular.
- Las mejoras al algoritmo de back propagation, no garantizan mejoras en la velocidad de convergencia para todos los problemas.
- Momentum no siempre puede acelerar la convergencia.
- La función de activación *exponencial* es más propensa a atascarse en mínimos.
- Tomar demasiados patrones de entrenamiento pueden perjudicar la capacidad de la red de generalizar, sin embargo muy pocos pueden provocarlo también (muestra no representativa).

ANEXO A: GRÁFICOS

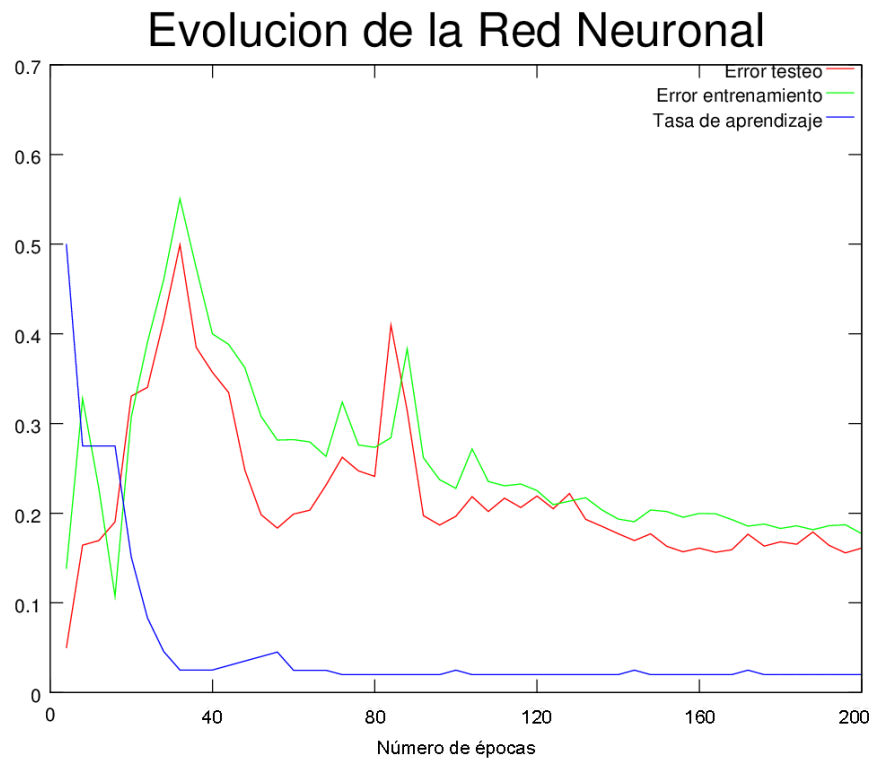


Figura 1: Ejemplo red neuronal con una arquitectura de [200 100] entrenada 200 épocas con learning rate adaptativo y función de activación tangente hiperbólica. La tendencia muestra que el error baja, pero lentamente.

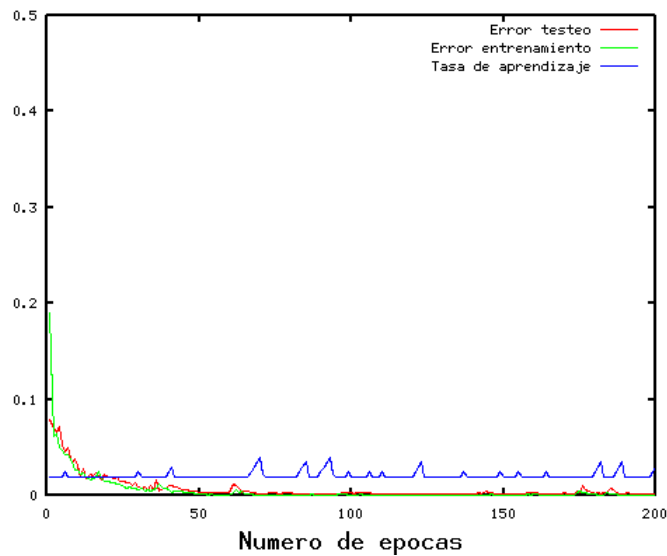


Figura 2: Ejemplo red neuronal con una arquitectura de [50 30] entrenada 200 épocas con learning rate adaptativo y función de activación tangente hiperbólica. Se alcanzó un error medio de aproximadamente 0.05 y desviación 0.018.

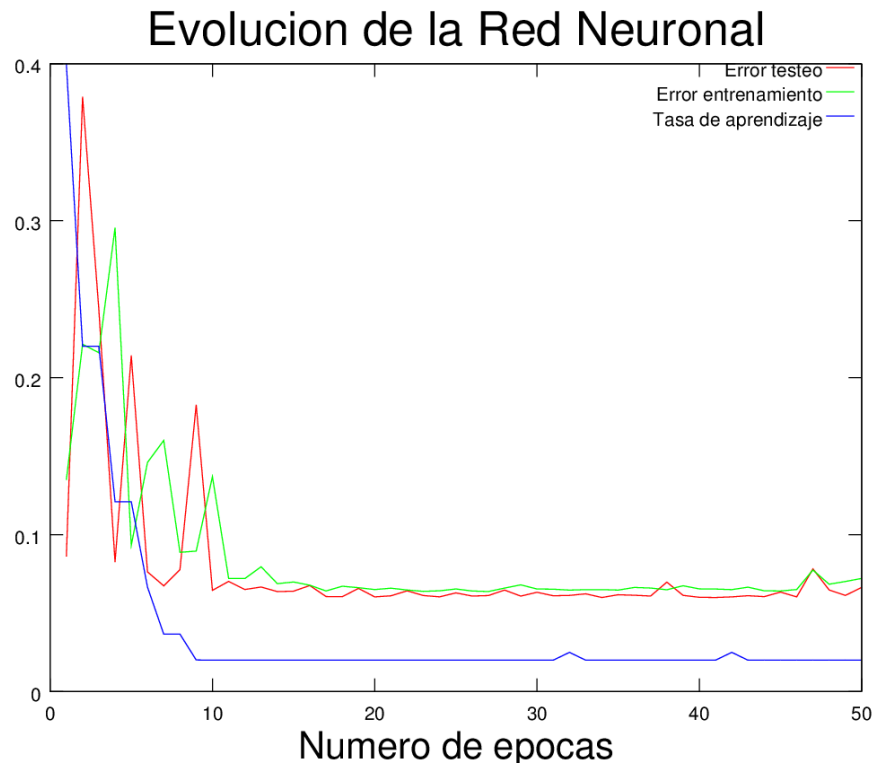


Figura 3: Ejemplo red neuronal con una arquitectura de [4 4] entrenada 200 épocas con learning rate adaptativo y función de activación tangente hiperbólica. El error no baja de más de 0.08 sin importar cuántas épocas itere.