

lleva a una computadora central que controla tales señales, el sistema se convierte en sistema de lazo cerrado.

El movimiento de tráfico en redes es muy complejo porque la variación en el volumen de tráfico depende mucho de la hora y día de la semana, así como de muchos otros factores. En algunos casos se puede suponer una distribución de Poisson de llegadas a las intersecciones, pero esto no es necesariamente válido para todos los problemas de tráfico. De hecho, minimizar el tiempo medio de espera es un problema de control muy complejo.

**Sistemas biológicos.** Sea el caso de dos especies de bacterias competidoras, cuyas respectivas poblaciones son  $x_1$  y  $x_2$ . Son competidoras en el sentido de que consumen alimentos de la misma fuente. Bajo ciertas condiciones, las poblaciones  $x_1$  y  $x_2$  varían en el tiempo de acuerdo con

$$\dot{x}_1 = a_{11}x_1 - a_{12}x_1x_2$$

$$\dot{x}_2 = a_{21}x_2 - a_{22}x_1x_2$$

donde  $a_{11}$ ,  $a_{12}$ ,  $a_{21}$ , y  $a_{22}$  son constantes positivas y  $x_1$  y  $x_2$  son no negativas. Estas ecuaciones se denominan ecuaciones de competencia de Volterra.

Si se suministra cierto componente químico a las especies, las poblaciones varían de acuerdo con las siguientes expresiones

$$\dot{x}_1 = a_{11}x_1 - a_{12}x_1x_2 - b_1u$$

$$\dot{x}_2 = a_{21}x_2 - a_{22}x_1x_2 - b_2u$$

donde  $b_1$  y  $b_2$  son constantes positivas y  $u$  es la entrada de control (en este ejemplo, la cantidad de componente químico). Un problema interesante se produce cuando se requiere minimizar la población  $x_2$  en el máximo posible. Este es un ejemplo de sistema biológico al que se puede aplicar la teoría de control.

**Sistemas de control de inventario.** Otro ejemplo de sistemas de control de lazo cerrado, lo constituye la programación industrial del ritmo de producción y nivel de inventario. El nivel del inventario real, que es la salida del sistema, se compara con el nivel de inventario deseado, que puede variar ocasionalmente según el mercado. Si aparece cualquier diferencia entre el nivel de inventario real y el deseado, el ritmo de producción se ajusta de manera que la salida siempre iguale o esté cercana al valor deseado, que se elige para maximizar las utilidades.

**Sistemas empresariales.** Un sistema empresarial puede consistir de varios grupos. Cada tarea asignada a un grupo, representa un elemento dinámico del sistema. Para el funcionamiento correcto de tales sistemas, hay que establecer métodos retroalimentados para el control de los logros de cada grupo. El acoplamiento mutuo entre grupos funcionales debe ser mínimo para reducir atrasos inútiles en el sistema. Cuanto menor sea ese acoplamiento, más suave será el flujo de señales y de materiales.