

## 18.2 Mehrantennen-Konzepte zur Verbesserung der Übertragungssicherheit

### 18.2.1 SIMO-Systeme: Maximum Ratio Combining am Empfänger

Wir betrachten ein System, das am Empfänger mehrere Antennen einsetzt, während der Sender mit nur einer Antenne arbeitet. Am Sender ist für diesen Fall keine Kanalkennntnis erforderlich. Zur Dimensionierung des Empfängersystems wenden wir die im letzten Abschnitt hergeleiteten Ergebnisse an. An die Stelle der Kanalmatrix  $\mathbf{H}$  tritt nun der Spaltenvektor  $\mathbf{h} = [h_1, \dots, h_{N_E}]^T$ ; die Singulärwertzerlegung liefert damit  $\mathbf{u} = e^{j\psi} \frac{\mathbf{h}}{\|\mathbf{h}\|}$ , also die normierten, mit einem unbestimmten Phasenfaktor versehenen Kanalkoeffizienten. Für die Matrix  $\mathbf{B}$  in Bild 18.1.1 ist also gemäß (18.1.9) nach der Entnormierung und Phasenkorrektur der hermitesche Koeffizientenvektor  $\mathbf{h}^H$  zu setzen. Das Ergebnis ist dann identisch mit dem im Abschnitt 15.3.1 hergeleiteten *Maximum Ratio Combining*, das zum maximalen S/N-Verhältnis führt (siehe (15.3.4), Seite 571). Das am Combiner-Ausgang erhaltene Signal lautet mit der modifizierten Rauschgröße  $\tilde{n}(i) = \mathbf{h}^H \mathbf{n}(i)$

$$y(i) = d(i) \sum_{\mu=1}^{N_E} |h_{\mu}|^2 + \tilde{n}(i). \quad (18.2.1)$$

Sind die Kanalkoeffizienten nicht vollständig korreliert, so ergibt sich hiermit ein Diversitätsgewinn – in Bild 15.3.2, Seite 574, sind die zugehörigen theoretischen Bitfehlerkurven für BPSK dargestellt. Unkorrelierte Kanalkoeffizienten erhält man in Empfangsszenarien *ohne Direktkomponenten*, indem die Antennenelemente in genügend großem Abstand angeordnet werden; als Richtwert gilt ein Abstand von  $a \geq \lambda/2$ , wobei  $\lambda = c/f_0$  die Wellenlänge bezeichnet ( $c = 3 \cdot 10^8$  m/s ist die Lichtgeschwindigkeit).

Zur Demonstration der Verbesserung durch mehrere Empfangsantennen werden Messergebnisse wiedergegeben, die mit einem Echtzeit-Demonstrator erstellt wurden [RSB<sup>+</sup>04]. Zwischen zwei Büroräumen wurde eine 54 Mbit/s-Übertragung nach dem HIPERLAN/2-Standard durchgeführt<sup>5</sup>. Am Empfänger wurden vier Antennen eingesetzt, deren Abstand  $\lambda/2 = 12,5$  cm betrug. **Bild 18.2.2** zeigt die 64-QAM-Signalsräume der Einzelantennen sowie zwei verschiedene Kombinationen von Antennensignalen nach dem Maximum-Ratio-Konzept. In den Titeln der Bilder werden jeweils die nach der Kanaldecodierung (halbratiger Faltungscodes nach dem HIPERLAN-Standard) erhaltenen Bitfehlerraten angegeben. Mit der Kombination der beiden schlechtesten Antennensignale (1 und 4) reduziert sich die (codierte) Bitfehlerrate auch dann noch, wenn eines der Signale auf eine Bitfehlerrate von 0,5 führt; das linke der beiden unteren Bilder demonstriert dies. Die Kombination aller vier Antennensignale ergibt ein relativ klares Signalraummuster mit einer Bitfehlerrate von 0 (Bild rechts unten).

<sup>5</sup>Die Trägerfrequenz wurde abweichend von HIPERLAN/2 auf  $f_0 = 2,4$  GHz festgelegt.